

# Физиология сердечно-сосудистой системы



Дагестанский государственный медицинский  
университет

Кафедра нормальной физиологии

доц. А.Х. Измайлова

**РАЗДЕЛ:** «Физиология сердечно-сосудистой системы»

**Тема 1.** Свойства сердечной мышцы.  
ЭКГ, тоны сердца;

**Тема 2.** Клинико-физиологические  
методы исследования сердца.

Регуляция сердечной деятельности.

## Тема лекции:

«Свойства сердечной мышцы. ЭКГ, тоны сердца»;

## План лекции:

1. Основные физиологические свойства и особенности сердечной мышцы;
2. Сердечный цикл и его фазы;
3. Электрические и звуковые проявления деятельности сердца (ЭКГ, ФКГ, аускультация тонов сердца).

# Физиология сердца

- ▣ **Сердце** - это полый орган, основную массу которого составляет средняя мышечная оболочка - **миокард**.
- ▣ **Функцией** сердца является ритмическое нагнетание притекающей к нему из вен крови в аорту и легочную артерию, являющихся началом большого (системного) и малого (легочного) кругов кровообращения.
- ▣ Эта функция выполняется благодаря попеременным ритмическим сокращениям и расслаблениям мышечных волокон, образующих стенку предсердий и желудочков.
- ▣ Сокращение миокарда называется **систолой**, а расслабление - **диастолой**.
- ▣ **Сердце** имеет 4 камеры: два предсердия и два желудочка. Левая (артериальная) половина сердца отделена от правой (венозной) - сплошной перегородкой. Кровь по камерам сердца движется в одном направлении: из предсердий в желудочки, из желудочков в аорту и легочную артерию.

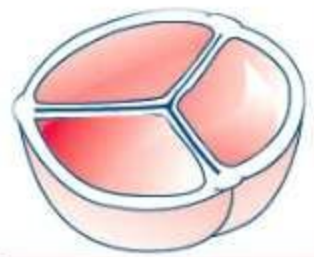
# Клапаны сердца

- **В** естественных условиях кровь по камерам сердца и дальше по сосудам движется только в одном направлении.
- **Э**то обусловлено наличием 4-х клапанов сердца: предсердно-желудочковых (створчатых) и сосудистых (полулунных).
- **М**ежду левым предсердием и левым желудочком расположен **двустворчатый** (митральный) клапан, между правым предсердием и правым желудочком - **трёхстворчатый** (трикуспидальный) клапан.
- **В**ход в аорту из левого желудочка прикрывает клапан аорты, а из правого желудочка в легочную артерию - клапан легочной артерии (пульмональный).
- **Н**евозможность возврата крови из предсердий в полые и лёгочные вены обусловлена тем, что при **систоле предсердий** первыми сокращаются мышечные пучки предсердий, которые кольцеобразно сжимают отверстия вен.

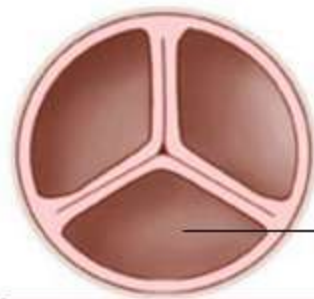
# Клапаны сердца

образованы складками эндокарда (внутренняя оболочка сердца).

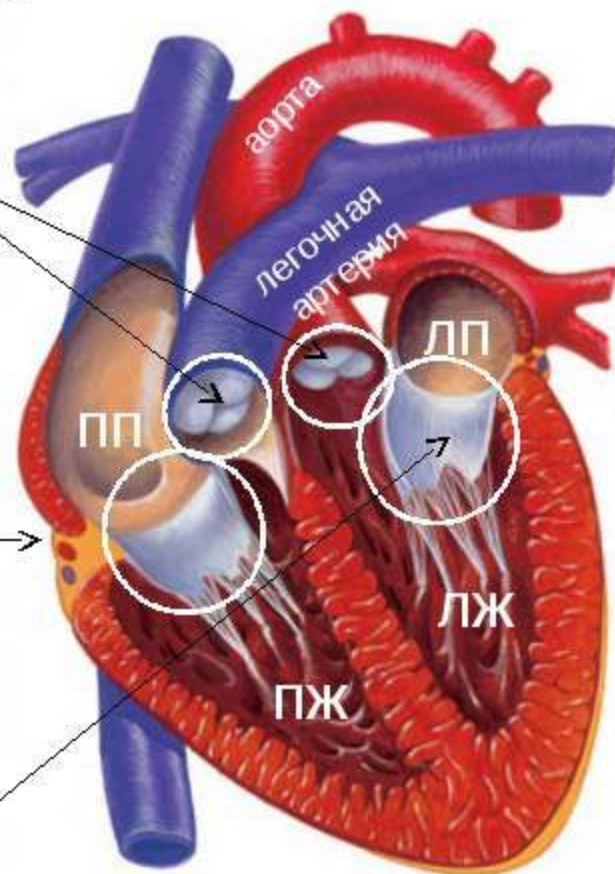
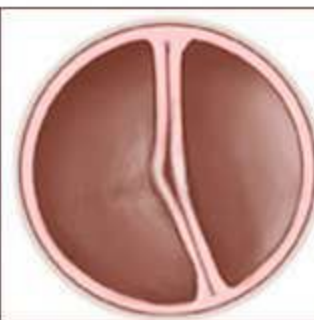
**полулунные  
клапана** –  
между  
желудочками  
и артериями



**трехстворчатый  
клапан** –  
между ПП и ПЖ



**двухстворчатый  
клапан  
(митральный)** –  
между ЛП и ЛЖ



# Свойства сердечной мышцы

- ✓ **К** физическим свойствам сердечной мышцы относят:
  - растяжимость - способность увеличивать длину под действием растягивающей силы, и
  - эластичность - способность восстанавливать исходную длину после прекращения действия растягивающей силы
- ✓ **К** основным физиологическим свойствам миокарда относят:
  - а) возбудимость (способность миокарда приходить в состояние возбуждения под действием раздражителя);
  - б) проводимость (способность проводить возбуждение);
  - в) сократимость (способность сердечной мышцы изменять свою форму и величину под действием раздражителя);
  - г) автоматия - способность сердца ритмически сокращаться под действием импульсов, возникающих в нем самом.

# «Типический» и «атипический» миокард

1. **М**иокард представлен поперечно-полосатой мышечной тканью, состоящей из отдельных клеток - кардиомиоцитов, соединенных с помощью нексусов и образующих мышечное волокно;
2. **П**о особенностям функционирования выделяют рабочий миокард и атипические мышечные волокна.
3. **О**сновная масса мышечного слоя представлена рабочим или сократительным миокардом, выполняющим «насосную» функцию сердца.
4. **И**з атипических мышечных волокон построена проводящая система сердца (ПСС), состоящая из скопления узлов и пучков, организованных особым образом.
5. **К**летки атипического миокарда обладают автоматией, способностью генерировать потенциал действия (ПД) и проводить его к волокнам сократительного миокарда.



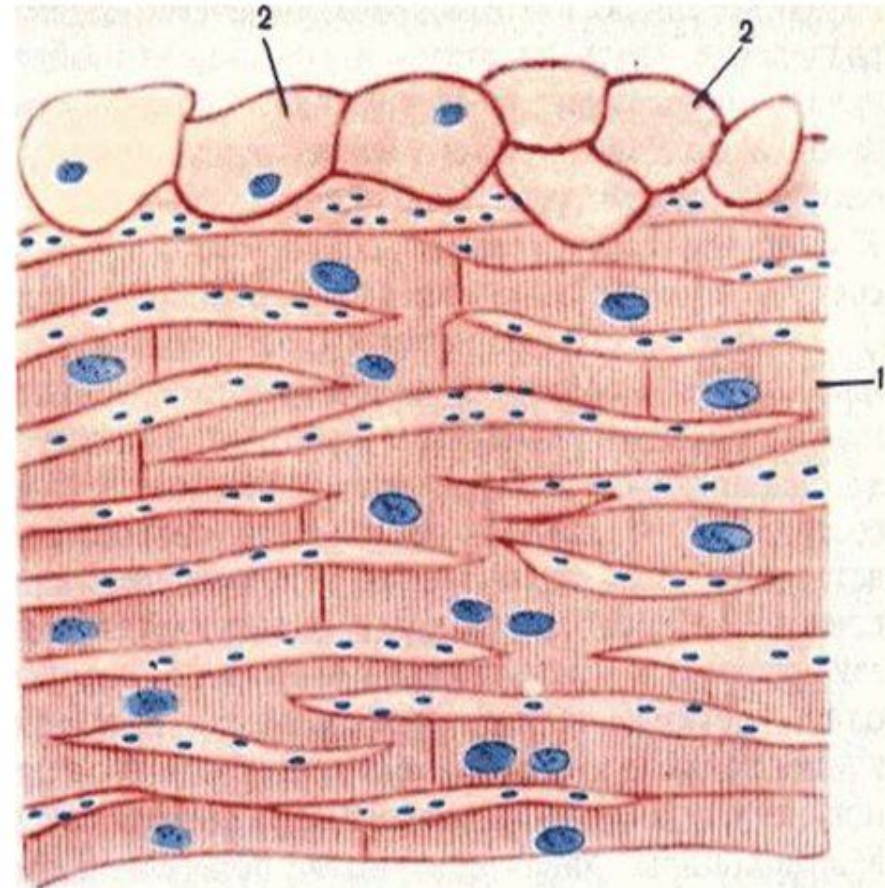
# Особенности атипического миокарда

1. **Атипические** мышечные клетки отличаются структурно и функционально от обычных типических кардиомицитов.
2. **По** структуре они близки к эмбриональным мышечным клеткам, имеют более крупные размеры, более крупные ядра; в них меньше миофибрилл и больше саркоплазмы.
3. **В отличие** от типических кардиомицитов - атипические способны к самовозбуждению (автоматии).
4. **Атипические** миоциты характеризуются низким потенциалом покоя ( $-60$  мВ) и низким критическим уровнем деполяризации ( $-40$  мВ).
5. **В** период расслабления миокарда (диастолы) в них происходит снижение мембранного потенциала (медленная диастолическая деполяризация) и возникает ПД. Это и лежит в основе автоматии сердца.

# Кардиомиоциты

## Типы кардиомиоцитов:

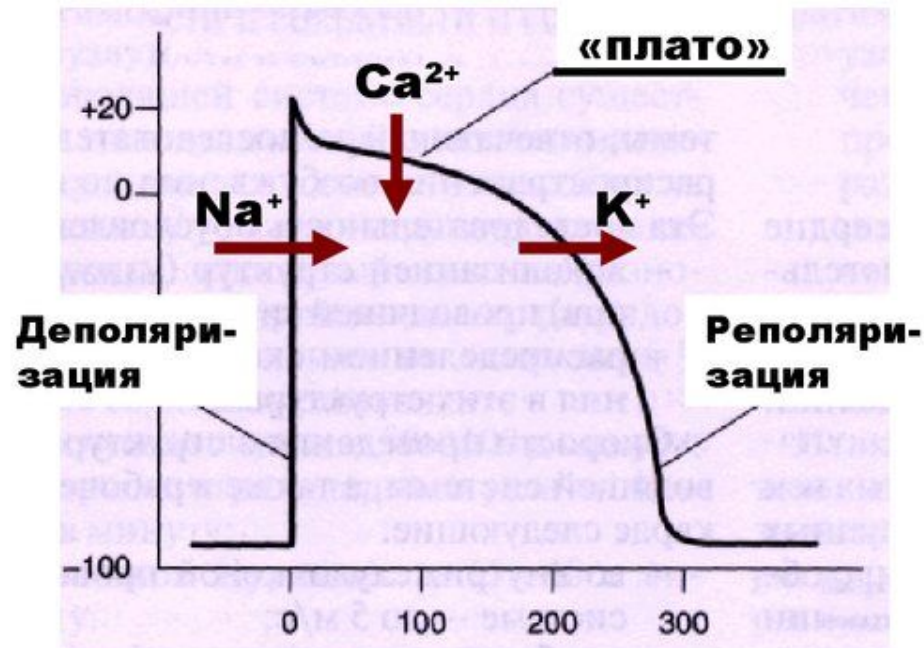
- Типичные сократительные или рабочие (обеспечивают сокращение);
- Атипичные или проводящие (составляют проводящую систему сердца)



# Свойство возбудимости миокарда

- В состоянии покоя поверхностная мембрана мышечной клетки поляризована - ПП в клетках рабочего миокарда составляет 80-90 мВ.
- При возбуждении вследствие перехода катионов Na и Ca через мембрану внутрь волокна возникает потенциал действия (ПД), равный 100-120 мВ.
- **Различают следующие фазы ПД:**
  - 1) быстрая деполяризация (активация быстрых натриевых и медленных кальциевых каналов);
  - 2) начальная быстрая реполяризация (кратковременное повышение проницаемости мембраны для ионов K<sup>+</sup>);
  - 3) медленная реполяризация (плато), связана с продолжающимся входом в клетку ионов Ca<sup>++</sup>.
  - 4) конечная быстрая реполяризация (закрытие кальциевых каналов и увеличение выхода K<sup>+</sup> из клетки через калиевые каналы).

# МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛЕТКИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА



- **Потенциал покоя = - 90 мВ**  
В покое мембрана имеет высокую проницаемость для ионов калия и низкую проницаемость для ионов натрия.

- **Потенциал действия:**
  1. **Деполаризация за счёт входа  $\text{Na}^+$  в клетку**  
(активированы быстрые натриевые каналы)
  2. **Фаза «плато» за счёт входа  $\text{Ca}^{2+}$  в клетку**  
(активированы медленные кальциевые каналы)
  3. **Реполаризация за счёт выхода  $\text{K}^+$  из клетки**  
(активированы медленные калиевые каналы)

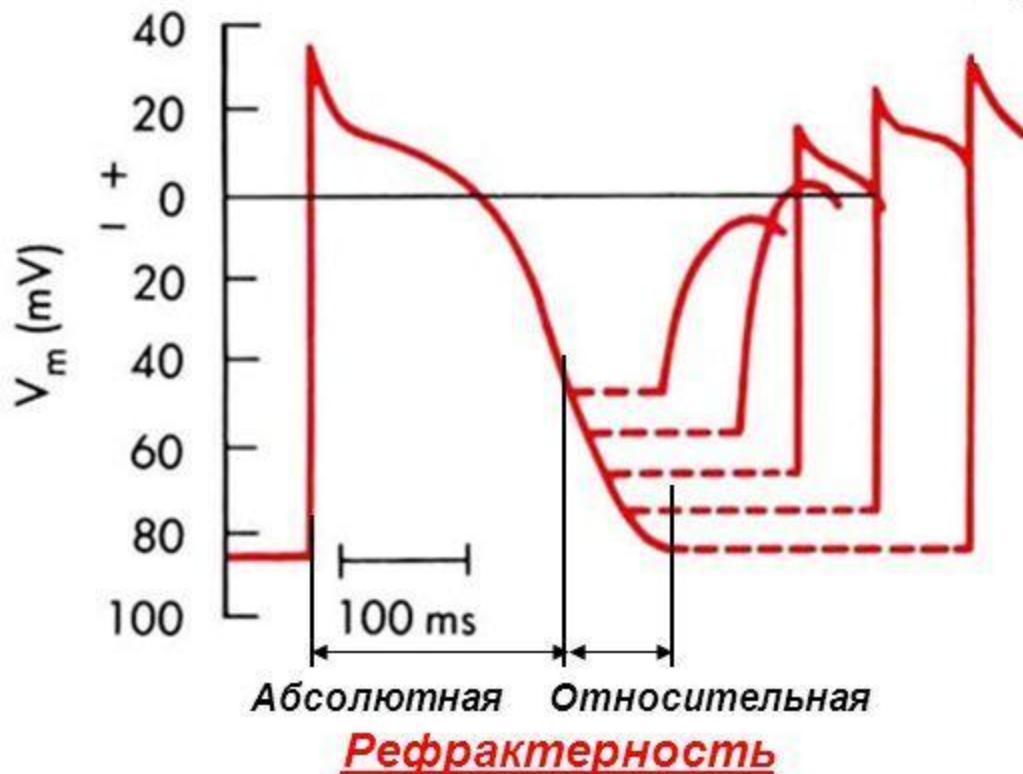
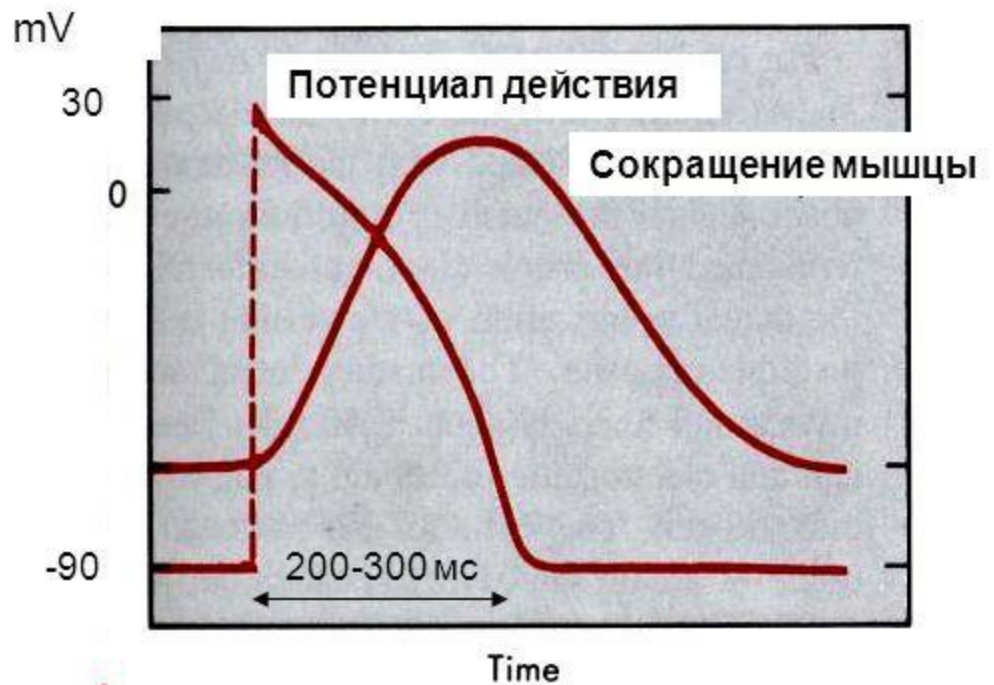
# Свойство возбудимости миокарда

- **Отличительная особенность ПД** кардиомиоцитов - его большая продолжительность (т.к. за счет активации медленных кальциевых каналов добавилась фаза «плато»). В миоцитах желудочков он составляет 300 мсек.
- Это объясняет причину другой особенности сердечной мышцы - длительного периода её рефрактерности («невозбудимости»). Пока клетка возбуждена, она не реагирует на повторное раздражение.
- **Период абсолютной** рефрактерности продолжается 270 мсек (практически соответствует длительности ПД), а период **относительной** рефрактерности - 30 мсек.
- Таким образом, пока миокард возбуждён и сокращен, он не даст повторного ответа на новый раздражитель (даже свехпороговый). А это исключает возможность суммации мышечных сокращений (тетануса).
- За фазой относительной рефрактерности следует фаза **супернормальной** возбудимости (экзальтации).

# СВОЙСТВА МИОКАРДА



**Длительность ПД клеток  
миокарда сопоставима  
с длительностью  
сокращения!!!**



**Длительная фаза рефрактерности:**

- 1) препятствует образованию тетануса;
- 2) предотвращает циркуляцию возбуждения по миокарду

# Что такое экстрасистолия?

- **Н**ормальный ритм сердца иногда нарушается вклинившимся внеочередным сокращением сердца - **экстрасистолой**.
- **Д**ополнительный (эктопический) импульс, возникший вне синусно-предсердного узла (водителя ритма сердца) может вызвать сокращение лишь после завершения периода рефрактерности, когда возбудимость миокарда восстановилась (во время диастолы).
- **О**чаг **повышенной возбудимости** может возникнуть в разных участках миокарда. В зависимости от этого различают: синусовую, предсердную, предсердно-желудочковую и желудочковую экстрасистолы.
- **Ж**елудочковая экстрасистола отличается тем, что за ней следует более продолжительная, чем обычно, пауза - т.н. **компенсаторная пауза**.

При других видах экстрасистолии её не бывает.



# Закон «всё или ничего»

- Ещё одна отличительная особенность миокарда - это то, что величина его сокращения не зависит от силы раздражения.
- Помните закон «всё или ничего», открытый американским физиологом Генри Боудичем в 1871 году при исследовании сердца?
- Согласно этому закону, подпороговые раздражения не вызывают возбуждения ("ничего"), при пороговых и сверхпороговых раздражениях ответ - максимальный ("все"), его величина не зависит от силы раздражения.
- По закону «Боудича» функционируют структурные единицы - мышечное волокно, нервное волокно.
- Но, правда, следует заметить, что не всегда сердце реагирует одинаково. Величина "всё" может меняться в зависимости от температуры, растяжения мышцы, степени ее утомления, состава протекающей крови и т.д.

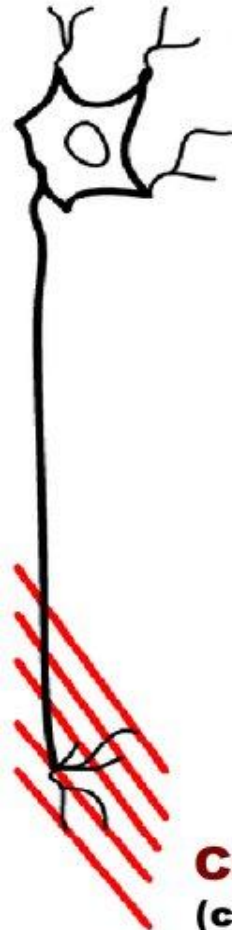
# Миокард - «функциональный синцитий»

- Для «насосной» функции сердца очень важна её способность реагировать максимальным сокращением даже на пороговый (минимальный) по силе раздражитель.
- Объясняет природу этого явления морфологическая особенность миокарда - наличие между отдельными кардиомицитами участков плотного контакта - **нексусов**, в которых много ионных каналов и низкое электрическое сопротивление.
- Поэтому возбуждение возникшее в одном участке сердечной мышцы быстро, практически беспрепятственно, по нексусам, передается на все мышечные волокна.
- А их синхронное возбуждение и сокращение дает **максимальный** сократительный ответ («всё»).
- Именно поэтому сердечную мышцу называют «функциональным синцитием» (структурно клетки отделены друг от друга, но функционально объединены).

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА

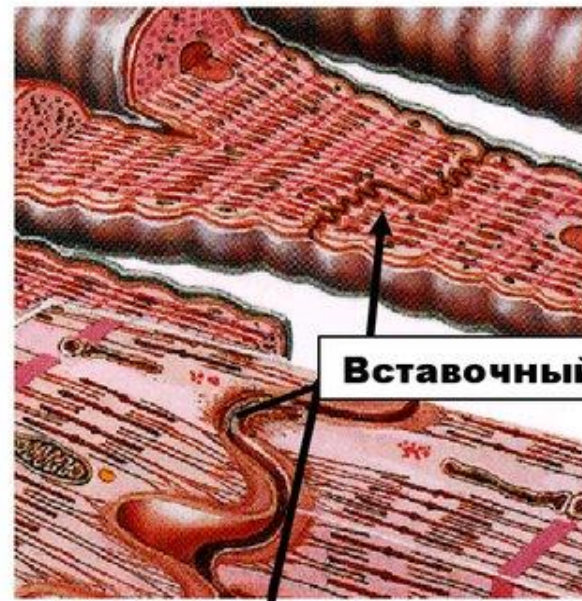
## 4. МИОКАРД – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИНЦИТИЙ

Состоящий из отдельных клеток, миокард функционирует как единое целое. Импульс передаётся от одной клетки к другой через электрические синапсы (**нексусы**). Все клетки возбуждаются и сокращаются одновременно.



### Скелетная мышца

(сокращаются только те волокна, которые получили нервный импульс)



### Сердечная мышца

(сокращаются все волокна, т.к. импульс передаётся от одной мышечной клетки к другой)

# Роль катионов $Ca^{++}$

- Выше было сказано, что в генерации ПД в кардиомиоцитах важную роль играют ионы  $Ca^{++}$ .
- Также без катионов кальция нарушается переход возбуждения в сокращение (электромеханическое сопряжение).
- Причем, около 20% ионов кальция к сократительным белкам (актину и миозину) поступает из **межклеточного пространства**, а 80% - из саркоплазматического ретикулума.
- При снижении  $Ca^{++}$  в межклеточном пространстве происходит **полное разобщение** процессов возбуждения и сокращения: клетки возбуждаются, но сокращения при этом не возникают.
- Поставщиком энергии для сокращения сердца являются АТФ и КФ. Только 15% энергии сердце получает за счет окисления **глюкозы**, остальное - за счет молочной кислоты, жирных кислот, т.е. продуктов метаболизма.

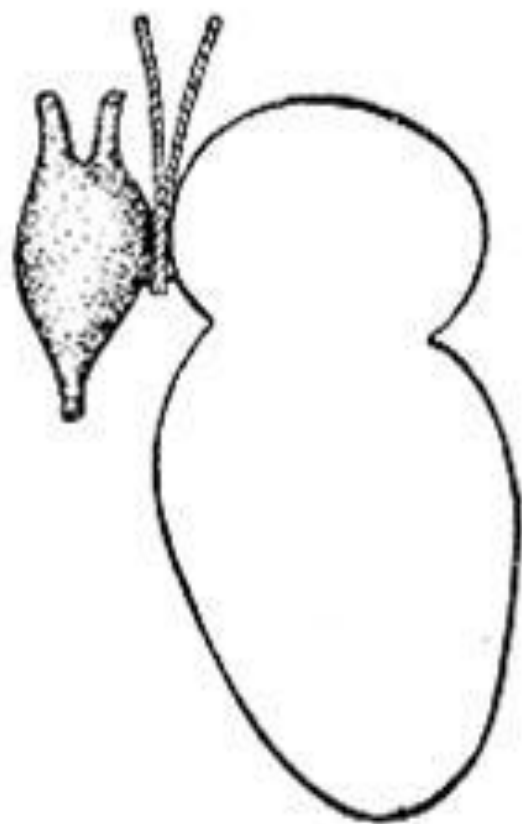
# Проводящая система сердца

1. **В**ернемся к свойству автоматии сердца. Выше было сказано, что это свойство характерно только для атипических мышечных волокон, из которых построена проводящая система сердца (ПСС).
2. **ПСС** состоит из узлов (скопление атипических клеток), пучков и волокон, с помощью которых возбуждение передаётся на клетки рабочего миокарда.
3. **Н**а практических занятиях у вас будет возможность выполнить опыт Г. Станниуса (1880) на изолированном сердце лягушки, помещённом в раствор Рингера.
4. **С**ердце при этом ритмически сокращается под действием импульсов, которые возникают в нём самом, без внешних воздействий.
5. **В** опыте Станниуса с наложением лигатур на разные отделы сердца можно доказать локализацию «водителя сердечного ритма» и убывание степени автоматии от предсердий к верхушке («градиент автоматии»).

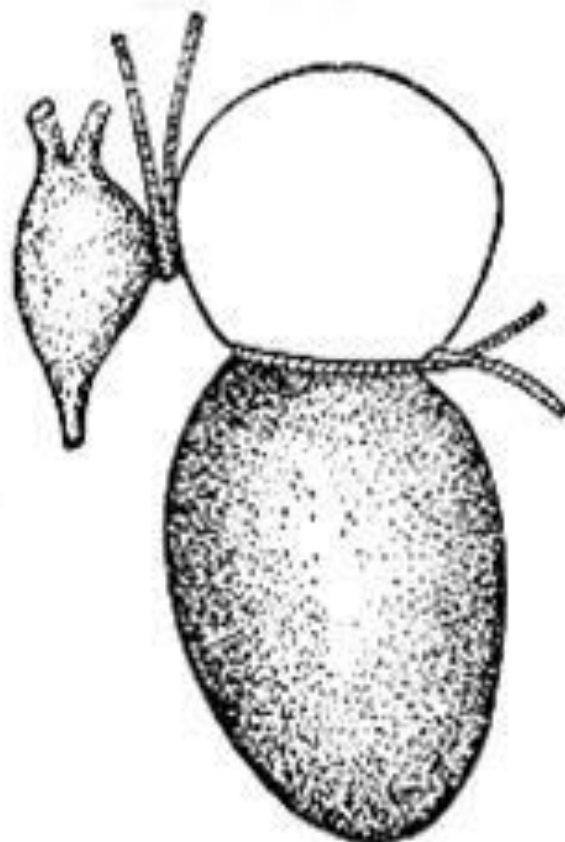
Синус  
Предсердие  
Желудочек

Синус  
Предсердие  
Желудочек

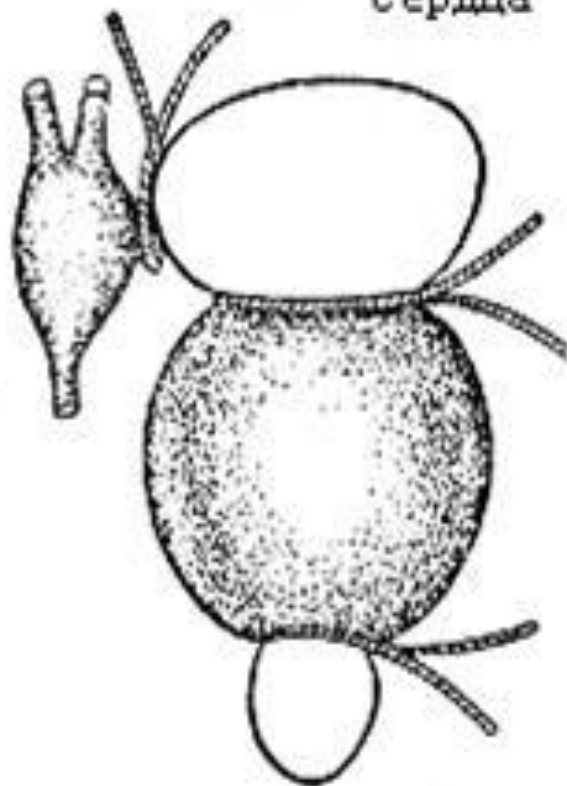
Синус  
Предсердие  
Желудочек  
Верхушка сердца



1



2



3

# Отделы ПСС

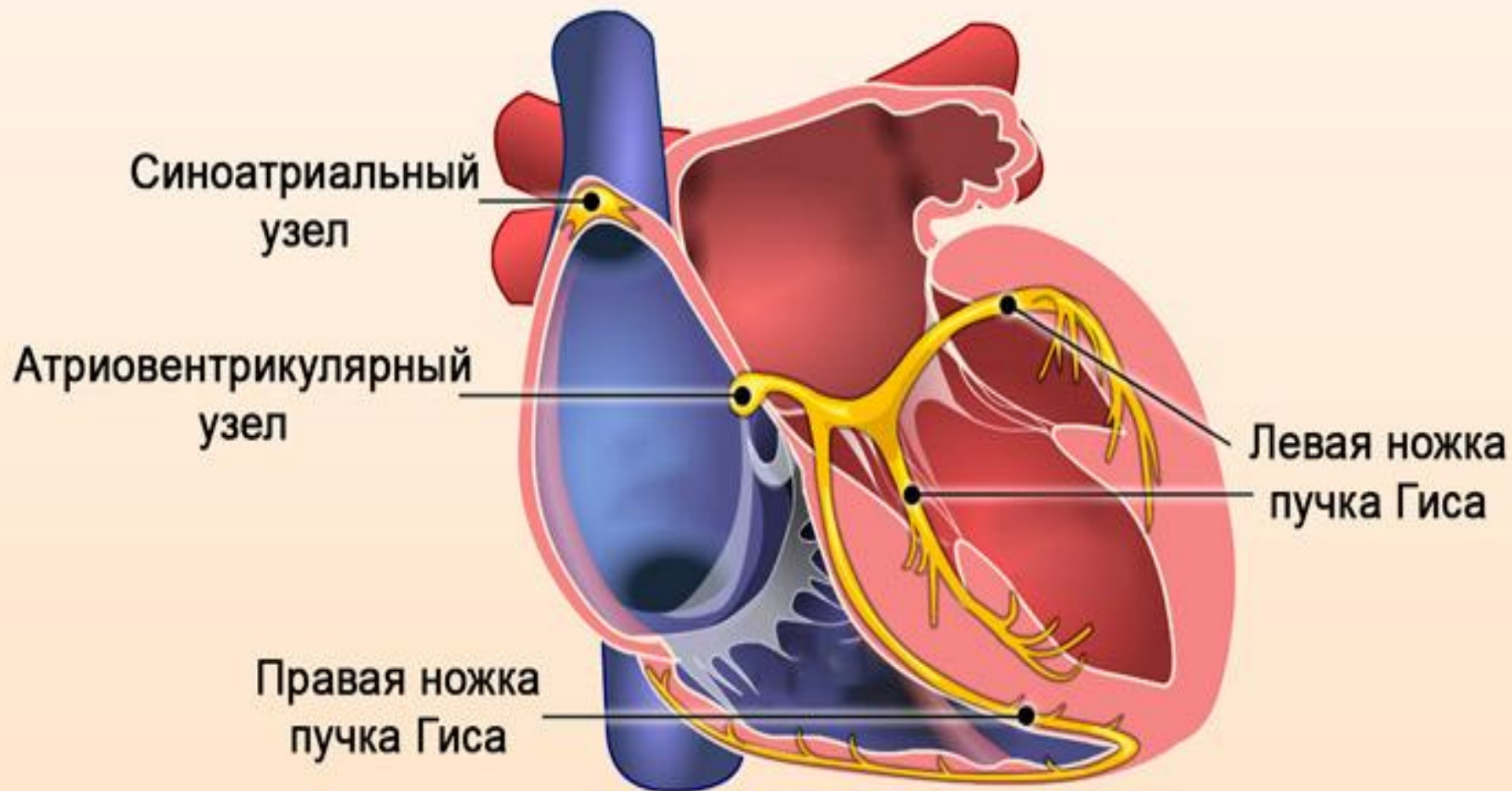
- 1.** Водитель ритма сердца синоатриальный узел (узел Кис-Флека) расположен в стенке правого предсердия, в месте впадения в него верхней полой вены. Клетки-пейсмекеры этого узла обладают наибольшей степенью автоматии и определяют частоту сокращений сердца (60-80 в 1 мин.).
- 2.** Атриовентрикулярный узел (Ашоф-Товара) расположен в межпредсердной перегородке на границе предсердий и желудочков. Степень автоматии клеток этого узла 40-50 в 1 мин. Это водитель ритма сердца второго порядка, т.к. генерирует импульсы лишь после повреждения синоатриального узла.
- 3.** От АВ-узла начинается пучок Гиса (в нем возникает 30-40 ПД/мин), который по межжелудочковой перегородке делится на 2 ножки (правую и левую).
- 4.** Заканчивается ПСС волокнами Пуркинье (20 в 1 мин.), передающими ПД на сократительные миоциты.

# ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА





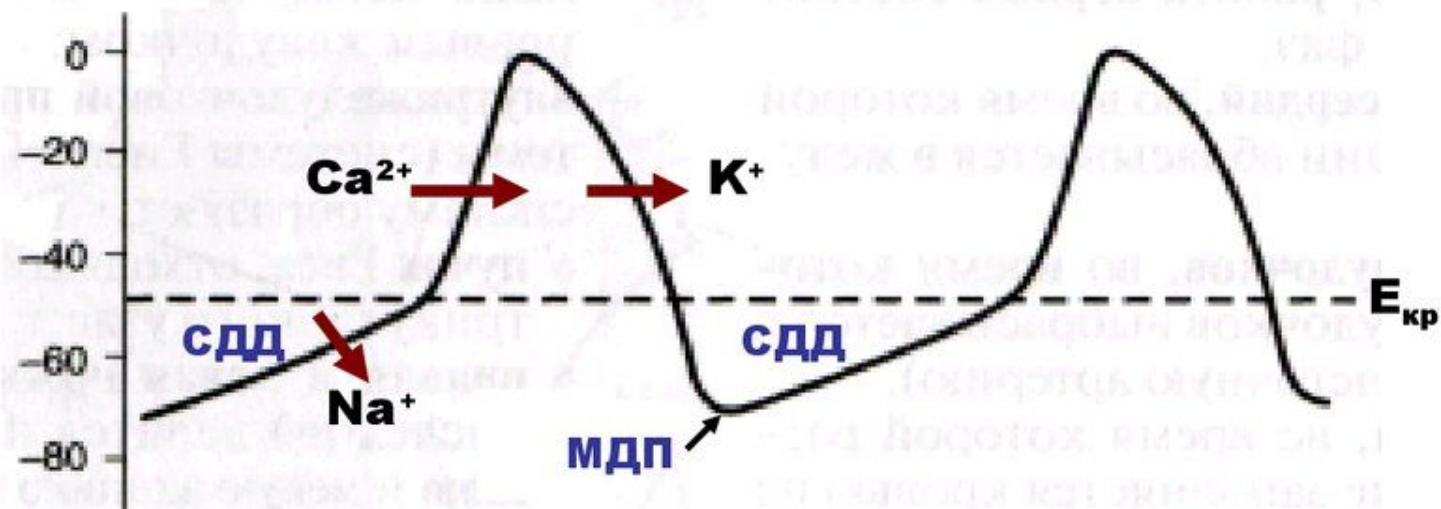
# ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА



# Природа автоматии

1. **И**зучение природы автоматии показало, что в пейсмекерных клетках синоатриального узла мембранный потенциал покоя (МППП) низкий по величине (около 60 мВ) и нестабильный.
2. **В**о время диастолы происходит постепенное **снижение** разности зарядов на мембране - медленная диастолическая деполяризация (МДД). Когда МДД достигает критического уровня (- 40 мВ) в клетках-пейсмекерах возникает ПД, который распространяется по всей ПСС.
3. **С**понтанная МДД обусловлена изменениями проницаемости мембраны клеток-пейсмекеров для ионов. Ведущую роль играют медленное уменьшение калиевой и повышение натриевой и кальциевой проводимости мембраны во время диастолы.

# МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕЙСМЕКЕРНОЙ КЛЕТКИ



- Мембрана клетки имеет высокую проницаемость для ионов  $\text{Na}^+$  и низкую проницаемость для ионов  $\text{K}^+$ .  
Поэтому **МДП** (максимальный диастолический потенциал) =  $-70$  мВ.
- За счёт диффузии  $\text{Na}^+$  в клетку начинается **СДД** (спонтанная диастолическая деполяризация), которая является электрофизиологическим признаком автоматии.
- Когда деполяризация достигает до критического уровня ( $E_{\text{кр}}$ ), возникает **ПД** за счёт входа в клетку ионов  $\text{Ca}^{2+}$  через медленные потенциал-чувствительные **Ca**-каналы.
- Реполяризацию вызывает выходящий калиевый ток.

# Какую роль играет ПСС?

1. **Обеспечивает** автоматию сердца;
2. **Нормальную** последовательность сокращений и расслаблений отделов сердца (сердечный цикл); Способствует этому также атриовентрикулярная задержка возбуждения (в верхней части АВ узла скорость проведения возбуждения составляет 0,05 м/с). Тогда как по остальным отделам ПСС - 2-4 м/с.
3. **Надёжность** в работе сердца: в случае повреждения синоатриального узла в какой-то степени функцию «генератора» ПД может взять на себя водитель ритма 2-го порядка - АВ узел.
4. **Благодаря** ПСС возбуждение быстро достигает клеток рабочего миокарда, обеспечивая их синхронное возбуждение и сокращение, что значительно увеличивает мощность сокращения миокарда желудочков.

# Сердечный цикл

1. **О**пределённая последовательность сокращений (систола) и расслаблений (диастола) сердца называется **сердечным циклом** или **кардиоциклом**;
2. **У** человека в состоянии покоя сердце обычно сокращается и расслабляется 60-70 раз в минуту.
3. **К**аждый отдельный цикл деятельности сердца начинается с **сistolы предсердий**, которая продолжается 0,1 сек. и сменяется их диастолой (0,7 сек).
4. **С**разу после окончания систолы предсердий начинается **систола желудочков** (0,33 сек.), сменяясь диастолой желудочков (0,47 сек.).
5. **Т**аким образом, **общая пауза**, в течение которой расслаблены и предсердия, и желудочки, продолжается 0,37 сек.

# Сердечный цикл, его фазы

I. Систола предсердия - 0,1 с.

II. Диастола предсердия - 0,7 с.

III. Систола желудочка - 0,3-0,33 с.



IV. Диастола желудочков - 0,47 с.

1. Протодиастола - 0,04 с.

2. Изометрическое расслабление - 0,08 с.

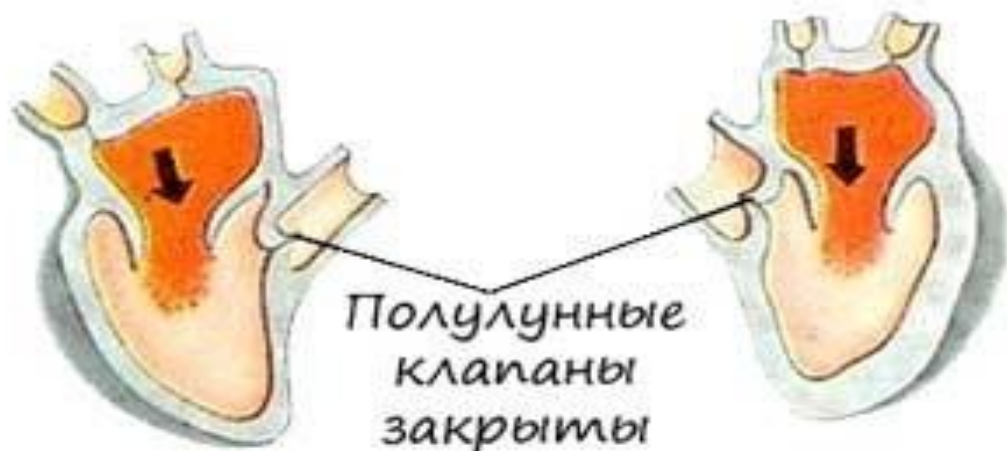
3. Фаза наполнения желудочков - 0,25 с. 

```
graph LR; G[3. Фаза наполнения желудочков - 0,25 с.] --> H[Быстрое - 0,08 с.]; G --> I[Медленное - 0,17 с.]
```

4. Пресистола - 0,1 с.

# Сердечный цикл

1. Систола предсердий



2. Систола желудочков



3. Общая диастола

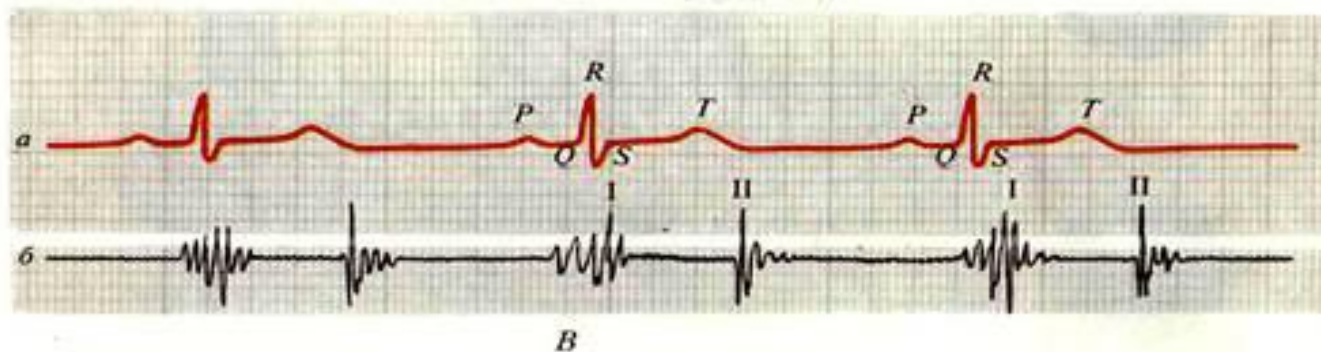
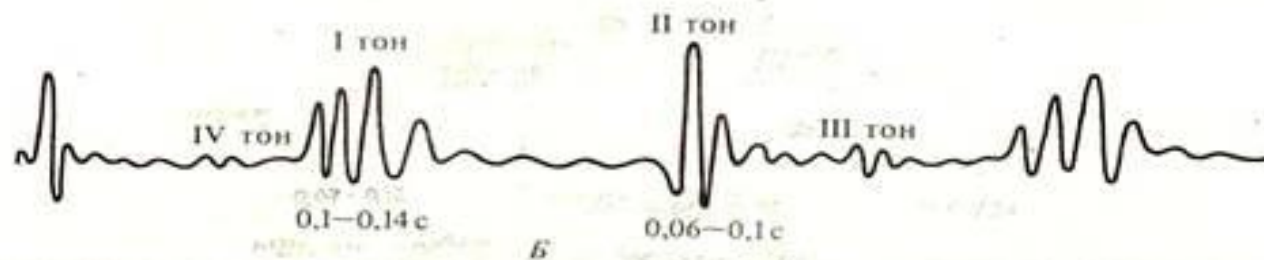
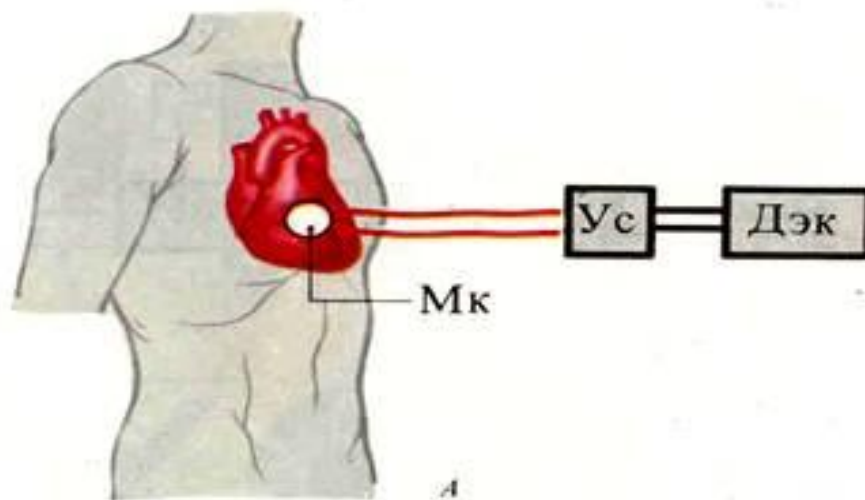


# Звуковые явления в сердце

1. При работе сердца возникают звуковые явления, которые называются **тонами сердца**.
2. Различают 4 тона сердца, два из которых (I и II) можно выслушать **аускультативно** (с помощью фонендоскопа).
3. Два других (III и IV) можно выявить только с помощью **фонокардиографии (ФКГ)** - метода графической регистрации сердечных тонов.
4. **Фонокардиограф** состоит из микрофона; анализирующего и записывающего устройств.
5. **Микрофон** «слышит» и усиливает сердечные тоны (в патологии шумы).
6. **Аппарат** преобразует звуковые колебания в электрические сигналы и записывает их на бумаге, подобно тому, как это делается при ЭКГ.



# фонокардиография



# Акустические проекции клапанов

**I тон** - систолический (низкий, глухой, протяжный) обусловлен захлопыванием атриовентрикулярных клапанов, колебаниями их створок и сухожильных нитей в период изометрического сокращения. Акустическая проекция митрального клапана - V межреберье слева, на 1,5 см кнутри от среднеключичной линии; трехстворчатого - на нижнем конце грудины, у основания мечевидного отростка.

**II тон** - диастолический (высокий, ясный, короткий) обусловлен захлопыванием полулунных клапанов в конце протодиастолического периода. Точка выслушивания - основание сердца (II межреберье): справа, у края грудины - клапан аорты; слева, у края грудины - клапан легочной артерии. **III тон** - возникает в результате колебаний стенки сердца в фазу их **быстрого наполнения** кровью.

**IV тон** - связан с колебаниями стенок желудочков в фазу **добавочного** их наполнения кровью при систоле предсердий.

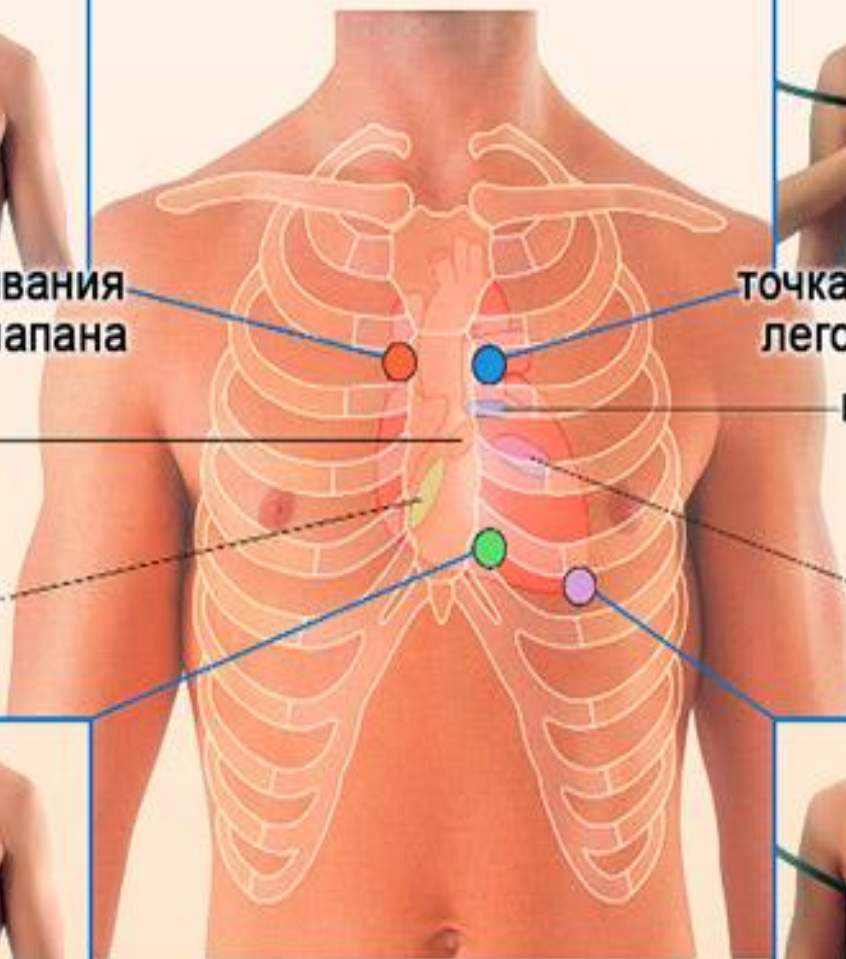
# ТОЧКИ АУСКУЛЬТАЦИИ СЕРДЦА



точка-выслушивания  
аортального клапана



точка-выслушивания  
легочного клапана



аортальный клапан

клапан легочной артерии

трехстворчатый клапан

митральный клапан



точка-выслушивания  
трехстворчатого клапана



точка-выслушивания  
митрального клапана

# Итак, дорогие студенты!

- ✓ Не сомневаюсь, что в своих знаниях основ нашей дисциплины вы заметно продвинулись и среди вас нет ни одного «физиолуха», наивно полагающего, что сердце - «вместилище человеческой души и любви».
- ✓ Увы, история показывает, что не всегда величайшие открытия ученых сопровождаются гимнами и лаврами победителей...
- ✓ Однажды, Андреас Визалий, гениальный итальянский врач и анатом, вскрывал труп, чтобы установить причину его смерти. Каков же был его ужас и потрясение всех присутствующих, когда после вскрытия грудной клетки трупа они увидели слабо сокращающееся сердце!
- ✓ Инквизиция обвинила Везалия во вскрытии живого человека и приговорила к паломничеству в Палестину, из которого он так и не вернулся.
- ✓ Но почему все-таки сокращалось сердце трупа? Неужели такой выдающийся врач, как Андреас Визалий, принял за мертвеца живого человека?
- ✓ Ответить на этот вопрос в то время не мог никто - не позволял уровень знаний той эпохи. Ответ на него получили лишь спустя три столетия...



• **Спасибо за  
внимание !**