

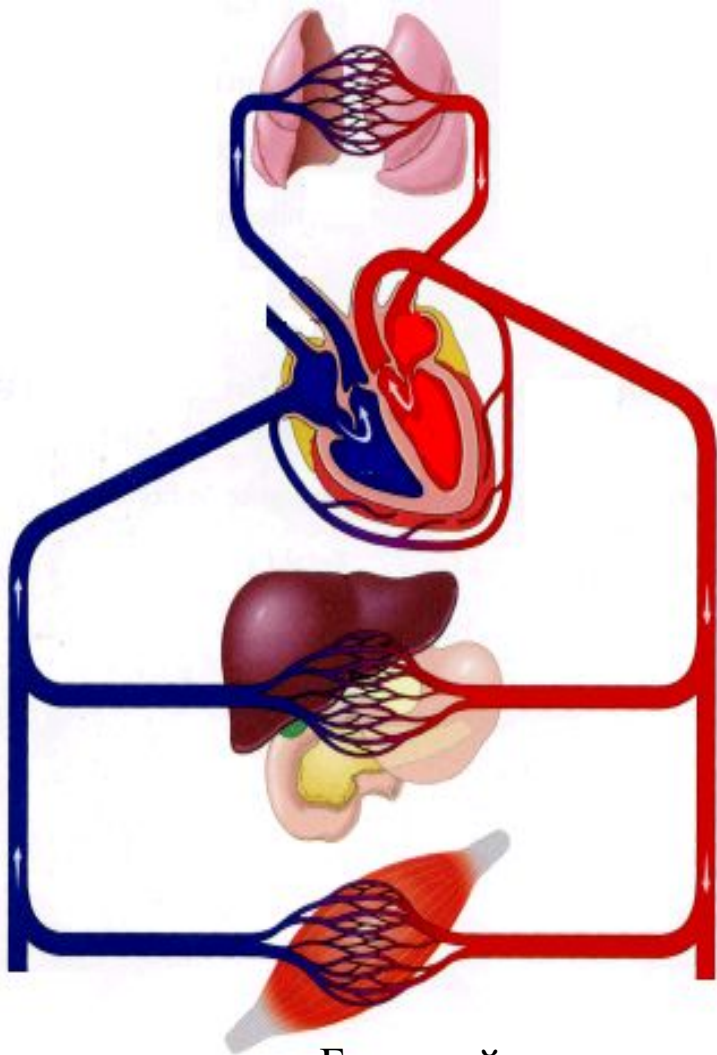
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

Лекция **1.**

НАСОСНАЯ ФУНКЦИЯ СЕРДЦА

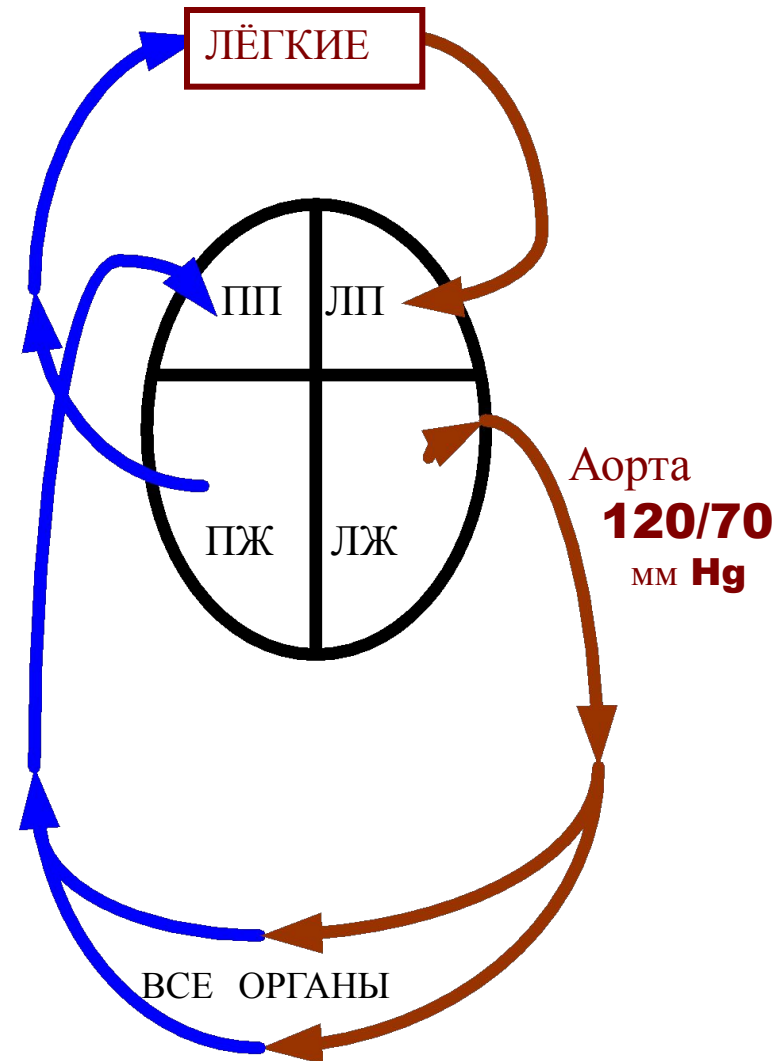
БОЛЬШОЙ И МАЛЫЙ КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Малый круг кровообращения



Большой круг кровообращения

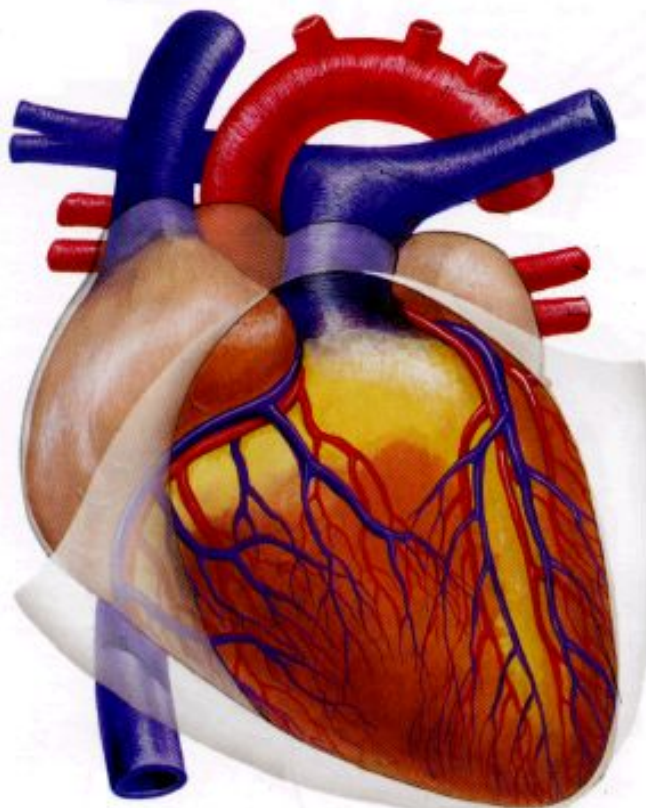
Лёгочная
артерия
30/15
мм рт.ст.



ФУНКЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ

- **РЕЗЕРВУАРНАЯ** – в предсердия поступает и накапливается кровь, пока желудочки сокращаются.
- **НАСОСНАЯ** – во время систолы предсердий кровь под давлением поступает в желудочки.
- **РЕФЛЕКСОГЕННАЯ** – в предсердиях и ушках имеется большое количество нервных окончаний (волюморецепторов), которые оценивают объем поступившей крови.
- **ЭНДОКРИННАЯ** - в миокарде имеются эндокринные клетки, которые реагируют на растяжение и выделяют в кровь **предсердный натрийуретический гормон (ПНГ)**. Гормон уменьшает объем крови, т.к. усиливает выделение натрия и воды почками.

ФУНКЦИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ



Главная функция
желудочков –
НАСОСНАЯ

Желудочки перекачивают
кровь из области с низким
кровяным давлением
(0 мм рт.ст.) в сосуды с более
высоким кровяным давлением:

Полые вены,
Лёгочные вены

0 мм рт.ст.

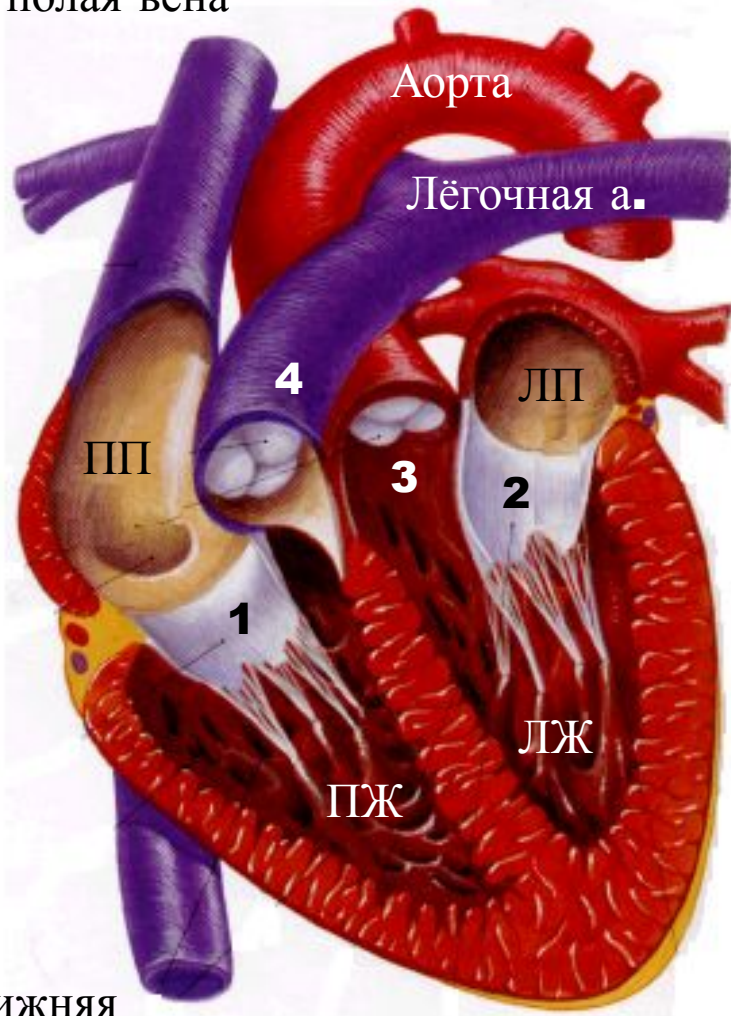
Аорта **120/70** мм рт.ст.

Лёгочная артерия

30/15 мм рт.ст.

КЛАПАННЫЙ АППАРАТ СЕРДЦА

Верхняя
полая вена



Нижняя
полая вена

СТВОРЧАТЫЕ КЛАПАНЫ:

1. **Правый атрио-вентрикулярный** (между правым предсердием и правым желудочком)
2. **Левый атрио-вентрикулярный** (между левым предсердием и левым желудочком)

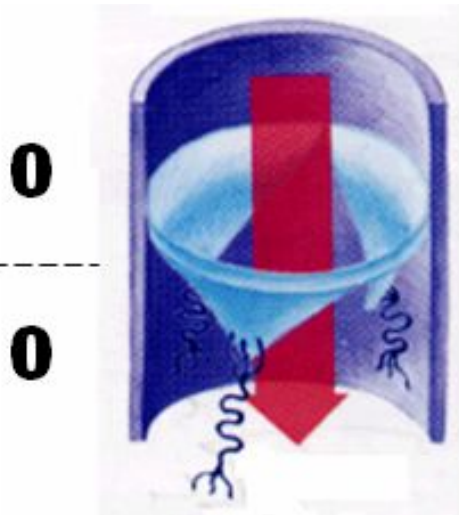
ПОЛУЛУННЫЕ КЛАПАНЫ:

3. **Аортальный клапан** (между аотрой и левым желудочком)
4. **Лёгочный (пульмональный) клапан** (между лёгочной артерией и правым желудочком)

При впадении вен в предсердия –
функциональные сфинктеры

Клапаны и сфинктеры препятствуют
обратному току крови

РАБОТА СТВОРЧАТЫХ КЛАПАНОВ

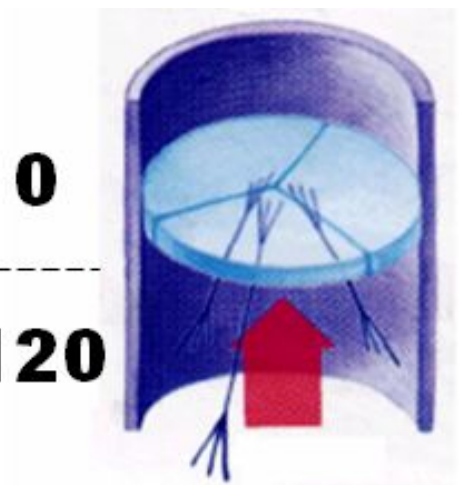


КЛАПАН ОТКРЫТ

(когда желудочки расслаблены)

КРОВЬ ИЗ ПРЕДСЕРДИЯ
ПОСТУПАЕТ В ЖЕЛУДОЧЕК

(давление в предсердиях
и в желудочках = **0** мм рт.ст.)



КЛАПАН ЗАКРЫТ

(когда давление в желудочках больше, чем в
предсердиях)

ОБРАТНЫЙ ТОК КРОВИ ИЗ ЖЕЛУДОЧКА
В ПРЕДСЕРДИЕ НЕВОЗМОЖЕН

(давление в предсердиях = **0** мм рт.ст.

давление в желудочках – увеличивается:

в правом желудочке – до **30** мм рт.ст.

в левом желудочке – до **120** мм рт.ст.)

Сухожильные нити натянуты

РАБОТА ПОЛУЛУННЫХ КЛАПАНОВ



КЛАПАН ОТКРЫТ

КРОВЬ ИЗ ЖЕЛУДОЧКА
ПОСТУПАЕТ В АРТЕРИЮ

(давление в желудочке
выше, чем давление в артерии)

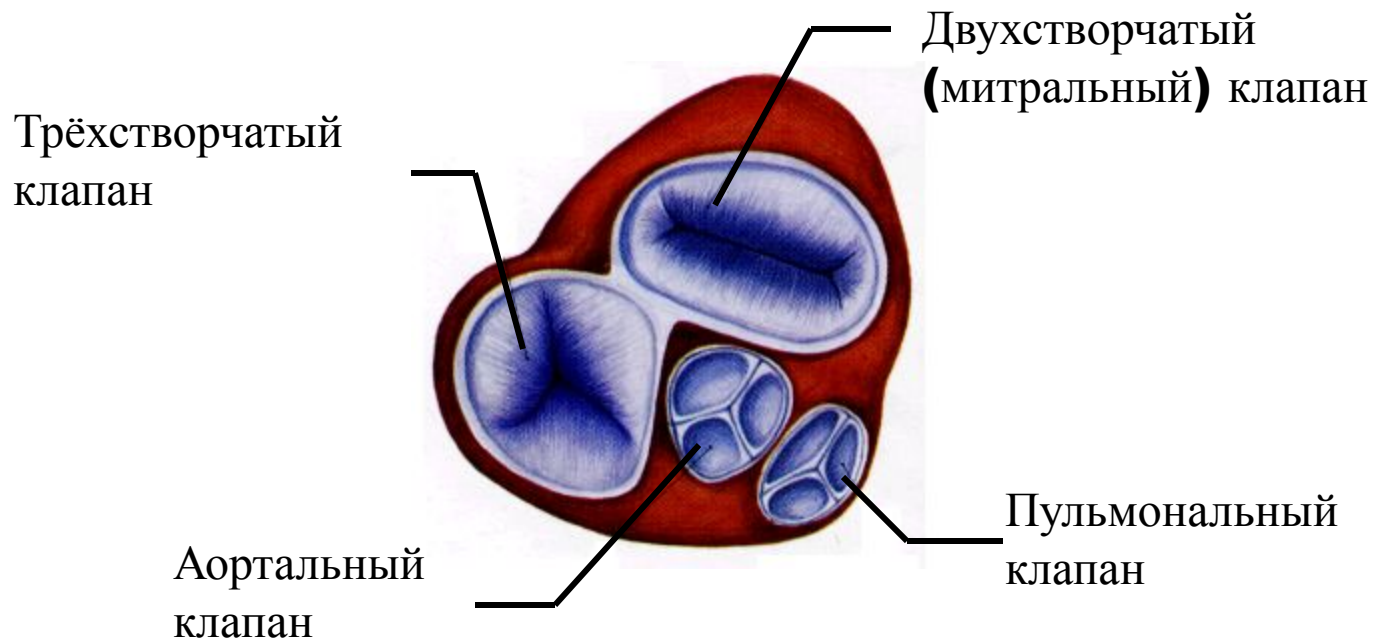


КЛАПАН ЗАКРЫТ

ОБРАТНЫЙ ТОК КРОВИ ИЗ АРТЕРИИ
В ЖЕЛУДОЧЕК НЕВОЗМОЖЕН

(диастолическое давление в желудочке = 0
давление в аорте = **120/70**
давление в лёгочной артерии = **30/15**)

Клапаны сердца и крупных сосудов ПРЕПЯТСТВУЮТ ОБРАТНОМУ ТОКУ КРОВИ



СЕРДЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Циклом сердечной деятельности называется

совокупность

электрических,

механических,

биохимических процессов,

которые происходят во время одного полного сокращения и расслабления сердца.

ТРИ ФАЗЫ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

Продолжительность цикла **0,8 сек**

Предсердия

Желудочки

Сис- тола				О б щ а я			
	Систола желудочков			п а у з а			
0,1 сек	0,3 сек			0,4 сек			



1. Систола
предсердий

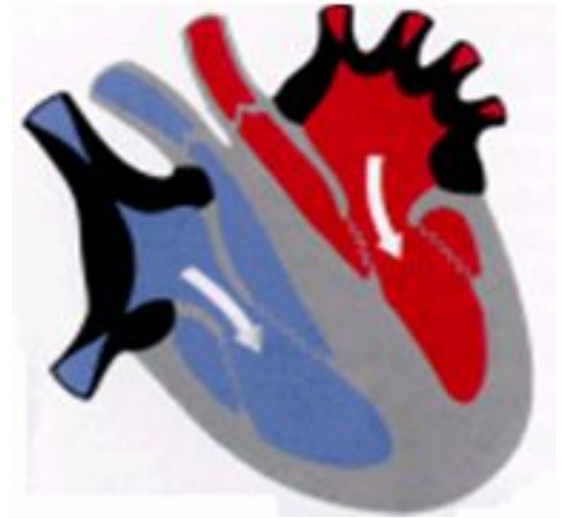


2. Систола
желудочков



3. Общая
диастола (пауза)

СИСТОЛА ПРЕДСЕРДИЙ



- Сокращается миокард предсердий
- Давление крови в предсердиях увеличивается до **5-7 мм Hg**
- Атрио-вентрикулярные клапаны открыты
- Кровь из предсердий поступает в желудочки **(30%)**
- Полулунные клапаны закрыты,
т.к. давление в аорте и лёгочной артерии выше, чем давление в желудочках сердца

СИСТОЛА ЖЕЛУДОЧКОВ

```
graph TD; A[СИСТОЛА ЖЕЛУДОЧКОВ] --> B[ПЕРИОД НАПРЯЖЕНИЯ]; A --> C[ПЕРИОД ИЗГНАНИЯ]; B --> D[ФАЗА АСИНХРОННОГО СОКРАЩЕНИЯ]; B --> E[ФАЗА ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО СОКРАЩЕНИЯ]; C --> F[ФАЗА БЫСТРОГО ИЗГНАНИЯ]; C --> G[ФАЗА МЕДЛЕННОГО ИЗГНАНИЯ];
```

The diagram is a hierarchical flowchart illustrating the phases of ventricular systole. At the top level is the title 'СИСТОЛА ЖЕЛУДОЧКОВ'. This title branches into two main periods: 'ПЕРИОД НАПРЯЖЕНИЯ' (Period of Tension) and 'ПЕРИОД ИЗГНАНИЯ' (Period of Ejection). The 'ПЕРИОД НАПРЯЖЕНИЯ' further branches into two phases: 'ФАЗА АСИНХРОННОГО СОКРАЩЕНИЯ' (Phase of Asynchronous Contraction) and 'ФАЗА ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО СОКРАЩЕНИЯ' (Phase of Isometric Contraction). The 'ПЕРИОД ИЗГНАНИЯ' branches into two phases: 'ФАЗА БЫСТРОГО ИЗГНАНИЯ' (Phase of Rapid Ejection) and 'ФАЗА МЕДЛЕННОГО ИЗГНАНИЯ' (Phase of Slow Ejection).

ПЕРИОД
НАПРЯЖЕНИЯ

ПЕРИОД
ИЗГНАНИЯ

ФАЗА
АСИНХРОННОГО
СОКРАЩЕНИЯ

ФАЗА
ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО
СОКРАЩЕНИЯ

ФАЗА
БЫСТРОГО
ИЗГНАНИЯ

ФАЗА
МЕДЛЕННОГО
ИЗГНАНИЯ

ФАЗА АСИНХРОННОГО СОКРАЩЕНИЯ

- Возбуждение распространяется по миокарду желудочков.
- Отдельные кардиомиоциты начинают сокращаться.
- Давление в желудочках не увеличивается.
- Атрио-вентрикулярные клапаны ещё открыты.

ФАЗА ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО СОКРАЩЕНИЯ

- Синхронное сокращение всех кардиомиоцитов.
- Давление в желудочках увеличивается.
- Атриовентрикулярные клапаны закрываются.
- Полулунные клапаны ещё закрыты.
- Объём крови в желудочках постоянный.
- Давление в левом желудочке растёт от **0** до **70**
мм **Hg**, в правом желудочке – от **0**
до **15** мм **Hg**.

ПЕРИОД ИЗГНАНИЯ: ФАЗЫ БЫСТРОГО И МЕДЛЕННОГО ИЗГНАНИЯ

- Сокращение желудочков продолжается
- Давление в левом желудочке становится выше диастолического давления в аорте: **>70 mm Hg.**
- Давление в правом желудочке **>15 mm Hg.**
- Открываются полулунные клапаны
- Кровь поступает в аорту и лёгочную артерию (сначала быстро, потом медленно).
- Систолический выброс правого и левого желудочков одинаков: **70** мл крови.

ДИАСТОЛА ЖЕЛУДОЧКОВ

ФАЗА ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО РАССЛАБЛЕНИЯ

- Расслабление миоцитов.
- Давление в желудочках падает.
- Полулунные клапаны закрываются.
- А-В клапаны ещё закрыты.

ФАЗА БЫСТРОГО ПАССИВНОГО НАПОЛНЕНИЯ

- Давление в желудочках **= 0**
- А-В клапаны открываются.
- Кровь из предсердий поступает в желудочки: сначала быстро, потом медленно)
- Всего за время пассивного наполнения поступает **70%** от объёма притекающей крови.

ФАЗА МЕДЛЕННОГО ПАССИВНОГО НАПОЛНЕНИЯ

- Происходит сокращение предсердий. Давление **5-7 mm Hg.**

ФАЗА БЫСТРОГО АКТИВНОГО НАПОЛНЕНИЯ

- В желудочки поступает ещё **30%** от общего притока крови.

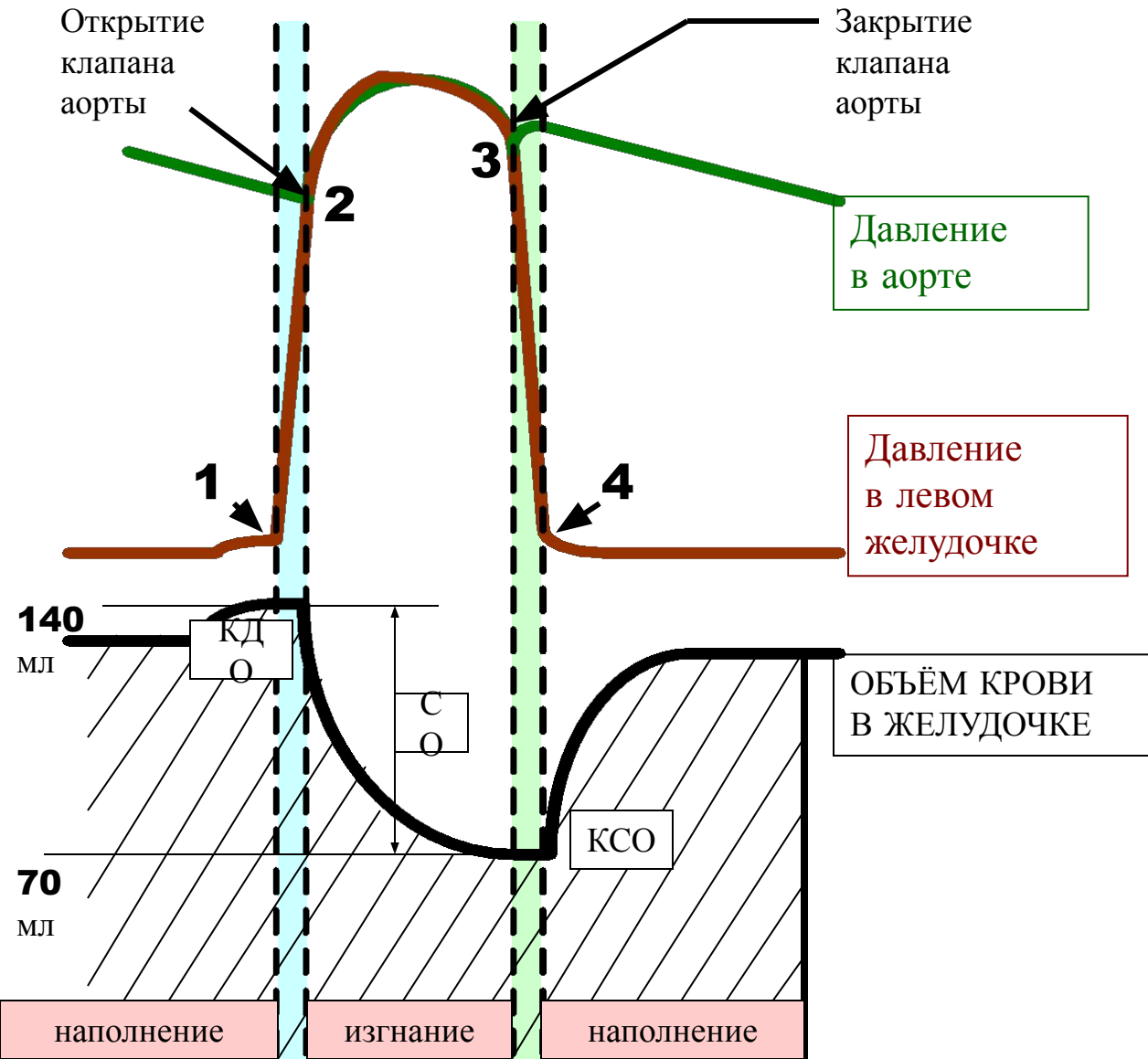
ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЁМА КРОВИ В ЖЕЛУДОЧКАХ ВО ВРЕМЯ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

- Конечно-диастолический объём (КДО) – объём крови, который находится в желудочках перед началом систолы желудочков. КДО = **140** мл.
- Систолический объём (СО) – объём крови, который поступает из желудочков сердца в артерии во время одной систолы. СО = **70** мл.
- Конечно-систолический объём (КСО) – объём крови, который остаётся в желудочках к концу систолы (перед началом диастолы желудочков) КСО = **70** мл.
- Фракция выброса (ФВ) – отношение систолического объёма к конечно-диастолическому объёму:
$$\text{ФВ} = \text{СО} : \text{КДО} = 70 : 140 = 0,5 \text{ (или } 50\%)$$

В норме ФВ = **50 – 70%**



Изменение давления и объёма крови в левом желудочке



1 – 2

Фаза изометрического
сокращения

2 – 3

Период изгнания

3 – 4

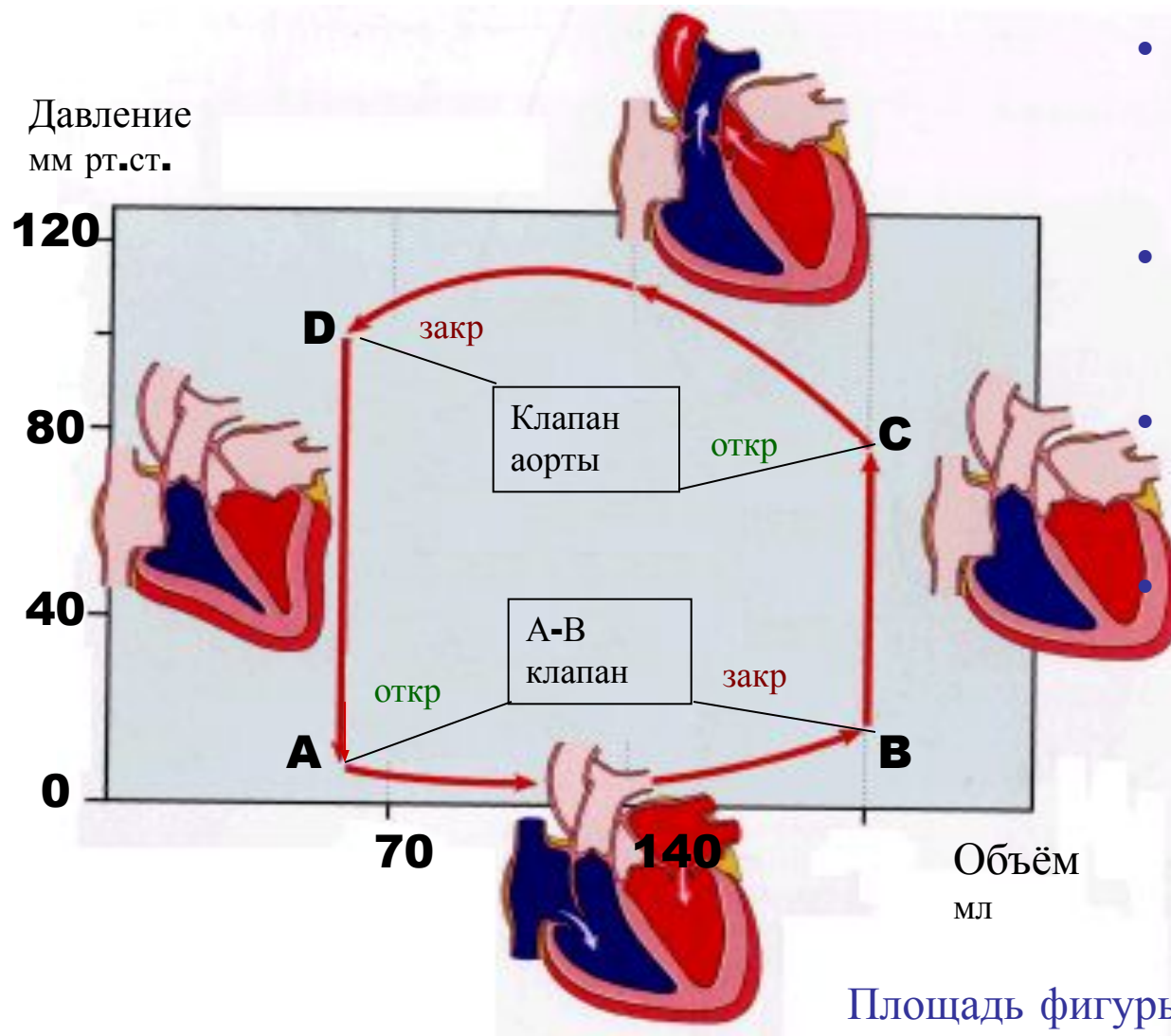
Фаза изометрического
расслабления

4 – до следующего 1

Период наполнения

РАБОТА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

КРИВАЯ «ДАВЛЕНИЕ – ОБЪЁМ»



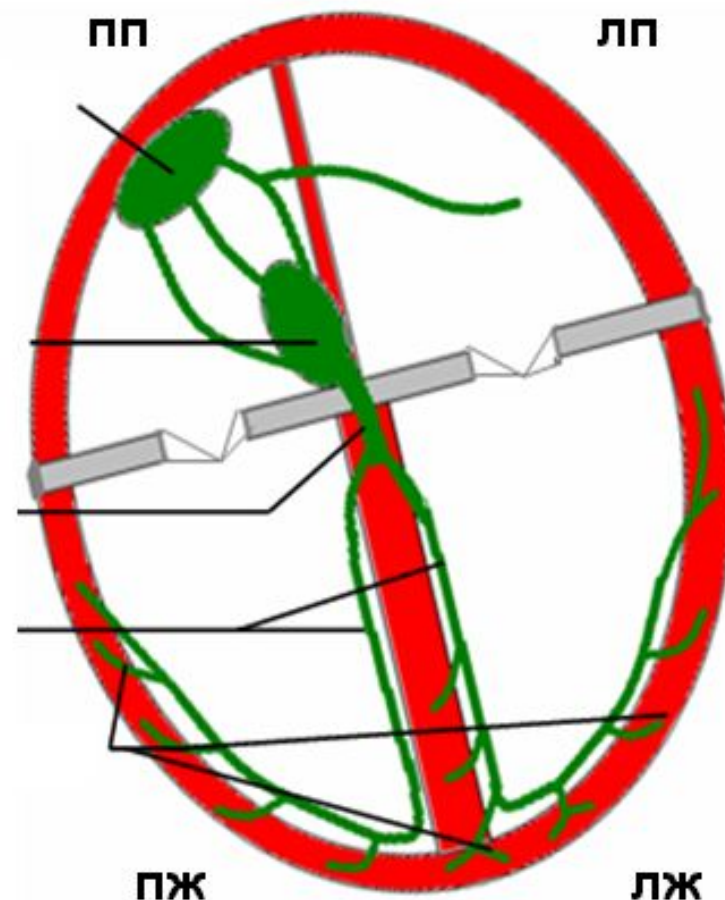
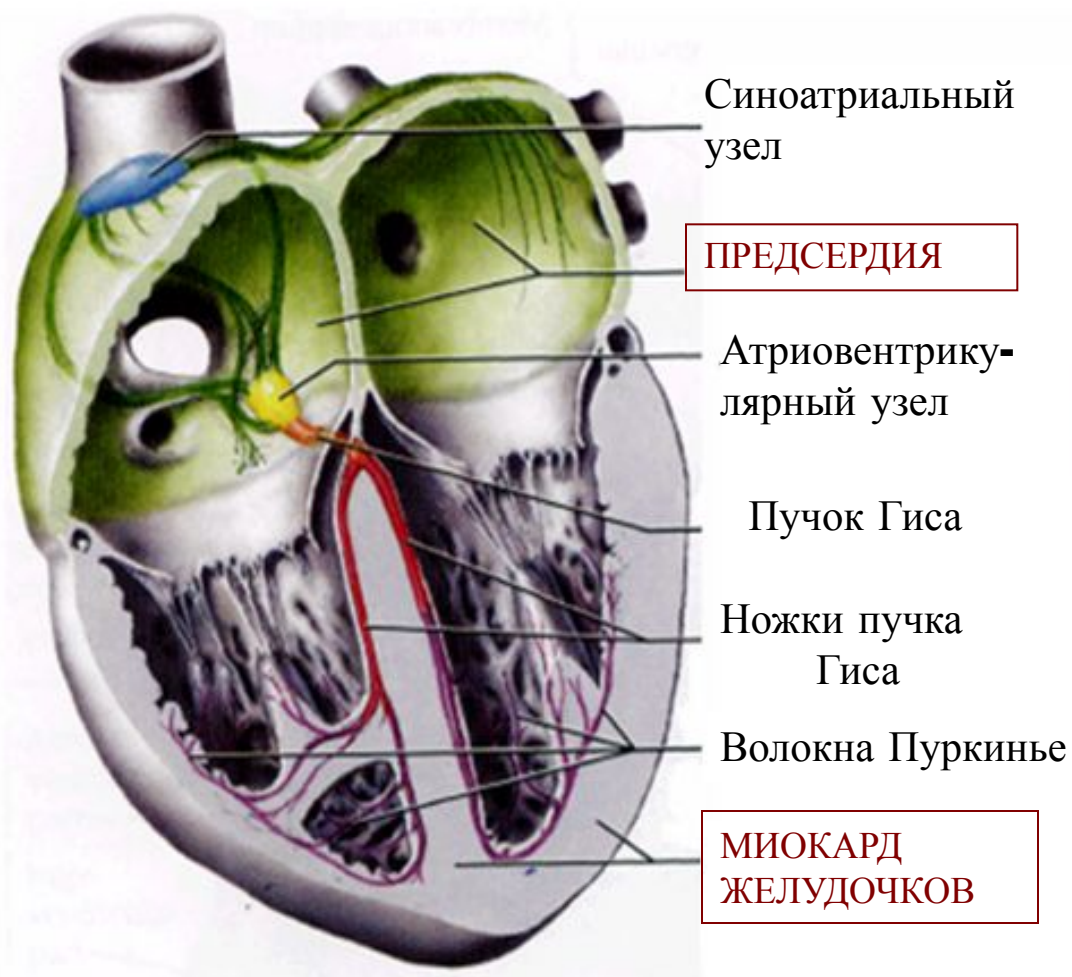
- **AB** – наполнение желудочка кровью (давление низкое, объём увеличивается до **140** мл (КДО)).
- **BC** – фаза изометри-ческого сокращения (объём постоянный, давление растёт).
- **CD** – изгнание крови в аорту (объём желудочка уменьшается, давление высокое).
- **DA** – фаза изометри-ческого расслабления (объём постоянный, давление падает).

Площадь фигуры **ABCD** отражает работу левого желудочка

Два типа мышечной ткани в сердце:

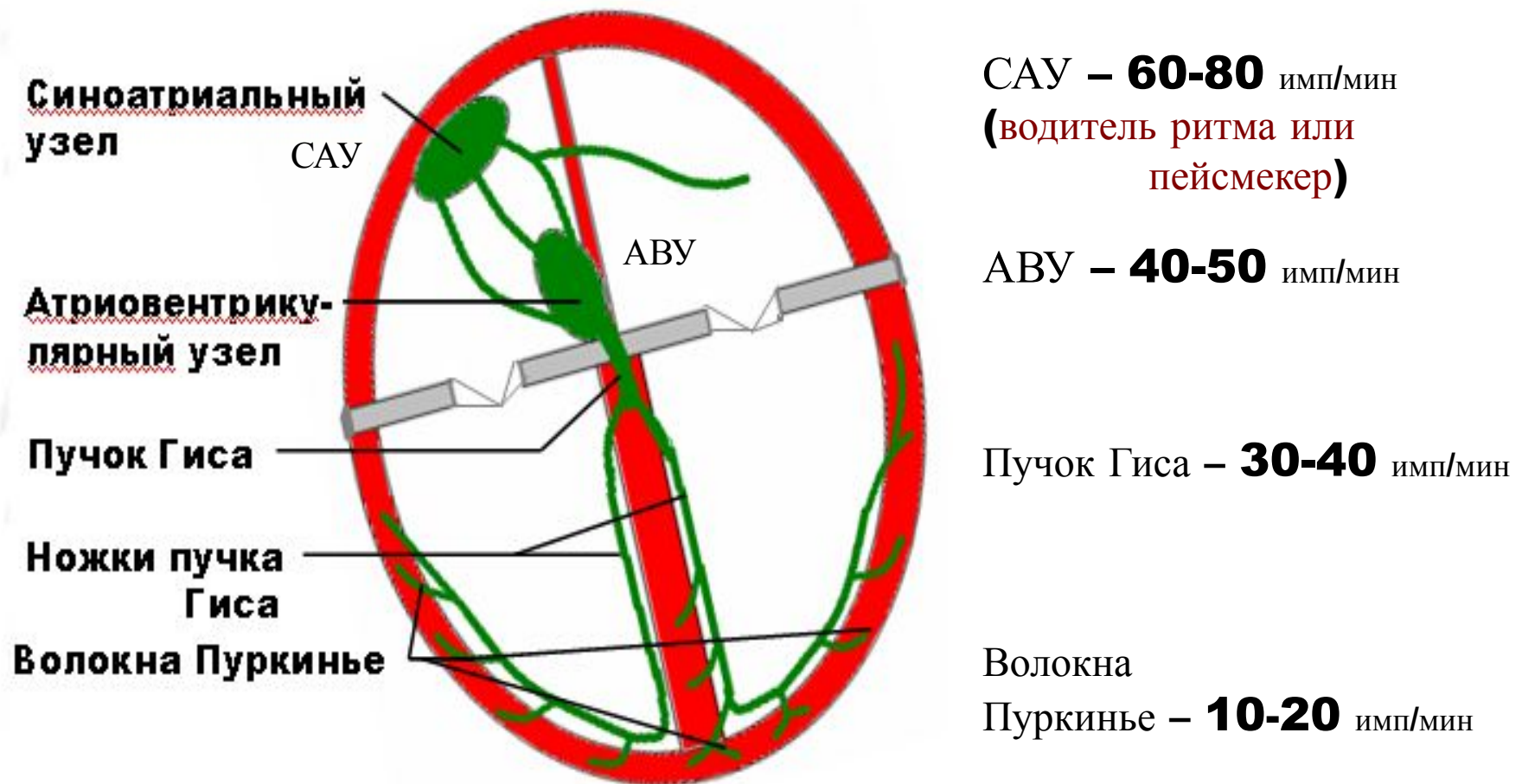
- Атипические мышечные волокна, из которых состоит проводящая система сердца.
(Эти волокна сохраняют свойства эмбриональной ткани сердца, в частности, устойчивость к гипоксии и способность к автоматии.)
- Рабочий (сократительный) миокард
 - миокард предсердий
 - миокард желудочков

ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА

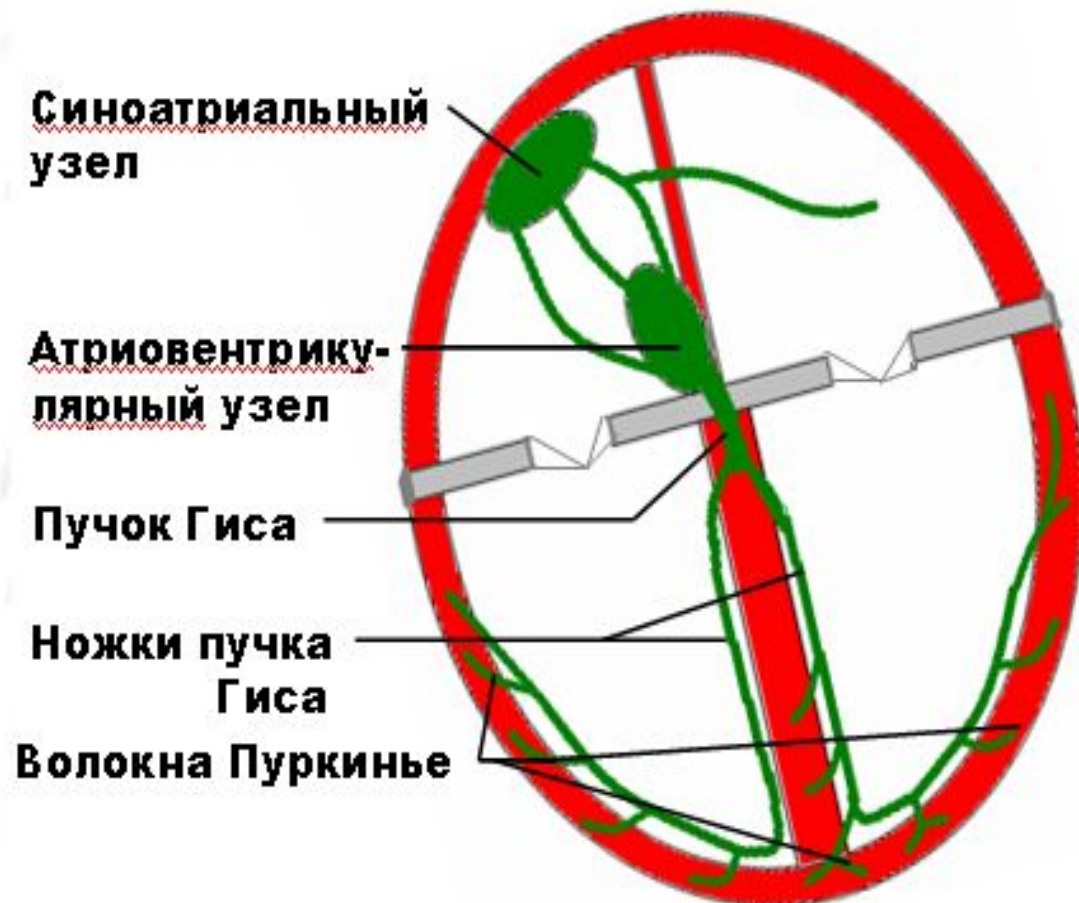


АВТОМАТИЯ – способность клеток проводящей системы сердца генерировать импульсы самостоятельно, без внешних воздействий.

ГРАДИЕНТ АВТОМАТИИ – уменьшение частоты генерации импульсов по мере удаления от САУ.



СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В РАЗНЫХ ОТДЕЛАХ СЕРДЦА



МИОКАРД ПРЕДСЕРДИЙ

1 м/сек

Для одновременного возбуждения и сокращения левого и правого предсердий

АТРИОВЕНТРИКУЛЯРНЫЙ УЗЕЛ (А-В задержка)

2-5 см/сек

Для последовательного возбуждения и сокращения предсердий и желудочков

Пучок Гиса и ножки пучка

3-5 м/сек

МИОКАРД ЖЕЛУДОЧКОВ

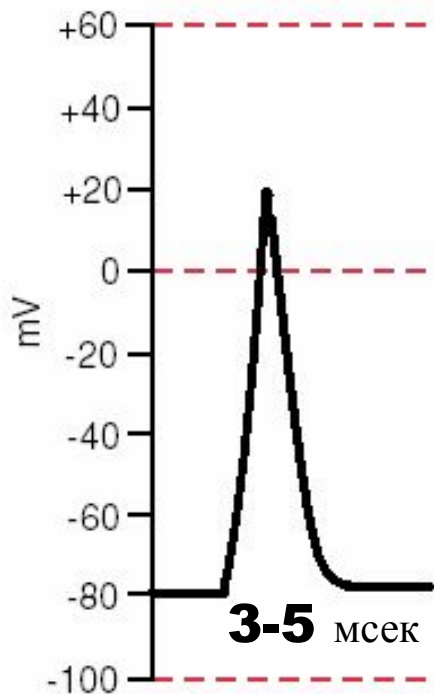
около **1 м/сек**

Для одновременного возбуждения и сокращения обоих желудочков

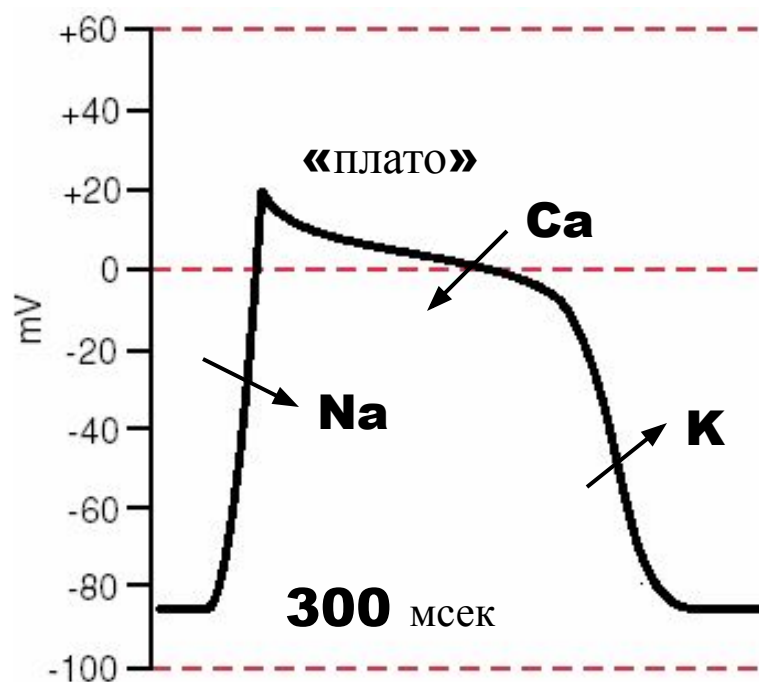
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА

1. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ (ПД)

Фаза «плато» потенциала действия за счет входа в клетку ионов Ca^{2+} по медленным Ca -каналам.



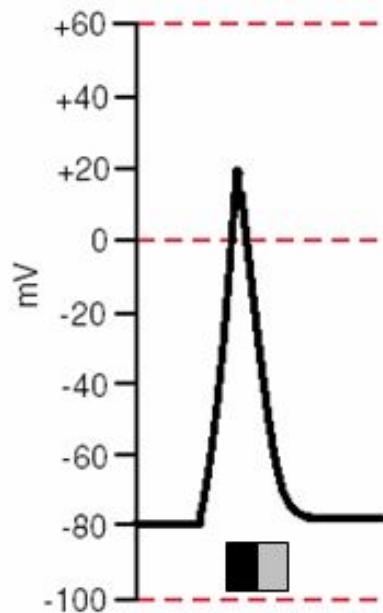
Скелетная мышца



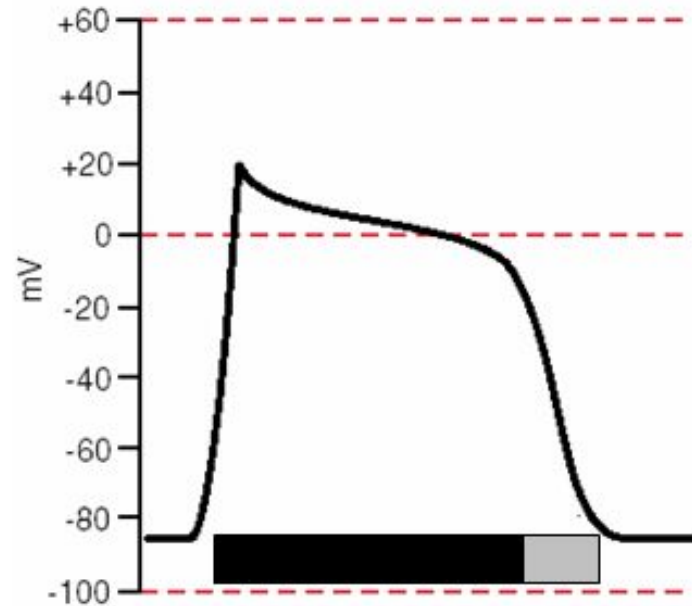
Сердечная мышца

2. ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТЕРНЫЙ ПЕРИОД

Фазе «плато» соответствует период абсолютной рефрактерности. В это время клетка невозбудима, т.к. **Na**-каналы инактивированы.



3-5 мсек
Скелетная мышца



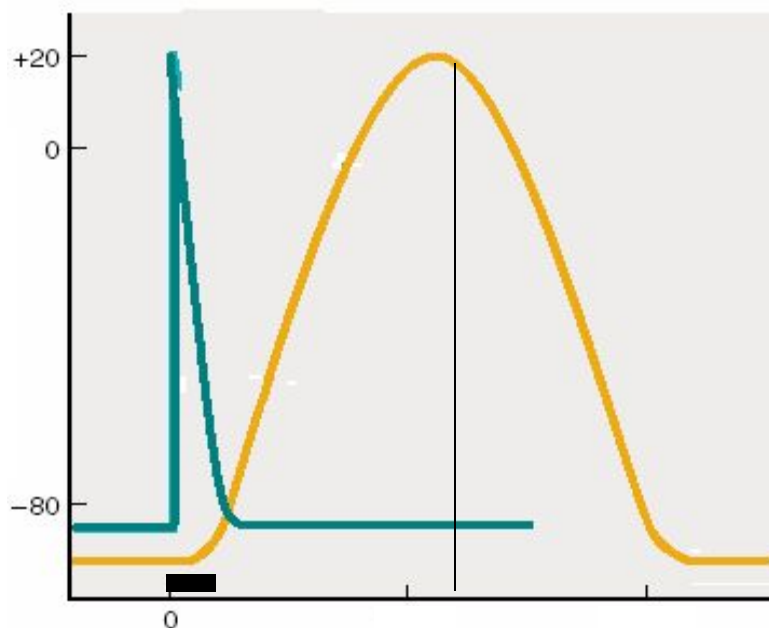
300 мсек
Сердечная мышца

3. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА СОКРАЩЕНИЯ

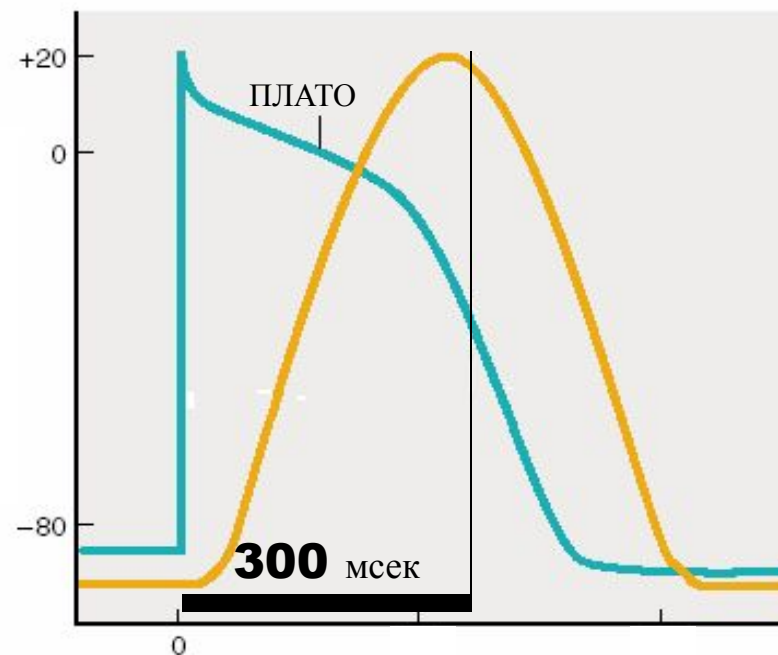
СЕРДЕЧНАЯ МЫШЦА СОКРАЩАЕТСЯ ТОЛЬКО В РЕЖИМЕ ОДИНОЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ. ТЕТАНУС НЕВОЗМОЖЕН.

Рефрактерный период совпадает с фазой сокращения миокарда, поэтому **во время систолы миокард невозбудим** и не реагирует на дополнительные раздражители.

Суммации сокращений не происходит, тетанус невозможен.



Скелетная мышца



Сердечная мышца

ДЛИТЕЛЬНАЯ РЕФРАКТЕРНОСТЬ

В норме рефрактерность продолжается дольше, чем время, необходимое для распространения возбуждения по миокарду.

Это значит, что к концу распространения ПД все клетки миокарда желудочков находятся в состоянии рефрактерности и дальнейшее распространение ПД прекращается (до следующего импульса, идущего из синусного узла).

Нарушение этого принципа приводит к повторному возбуждению и циркуляции ПД по круговым путям **(re-entry)**, что становится причиной фибрилляции желудочков.

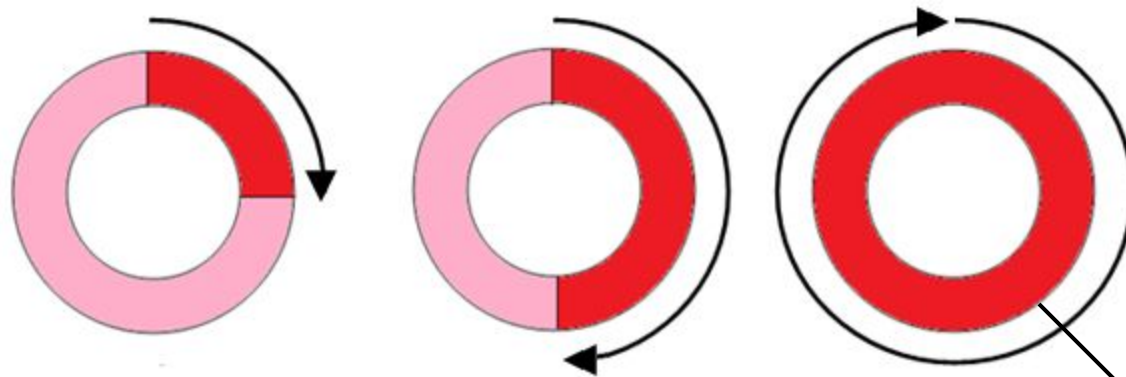
К нарушению ведёт (а) удлинении пути (дилатация сердца);

(б) уменьшение скорости проведения ПД (ишемия и др.);

(в) укорочение рефрактерного периода

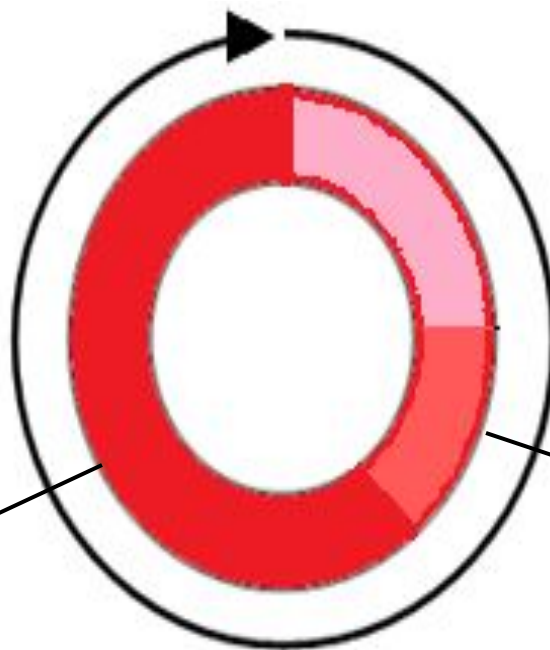
(при ранней экстрасистоле или при действии на сердце переменного тока **50 Гц**).

НОРМАЛЬНЫЙ
ПУТЬ



Абсолютная
рефрактерность

ДЛИННЫЙ
ПУТЬ



Абсолютная
рефрактерность

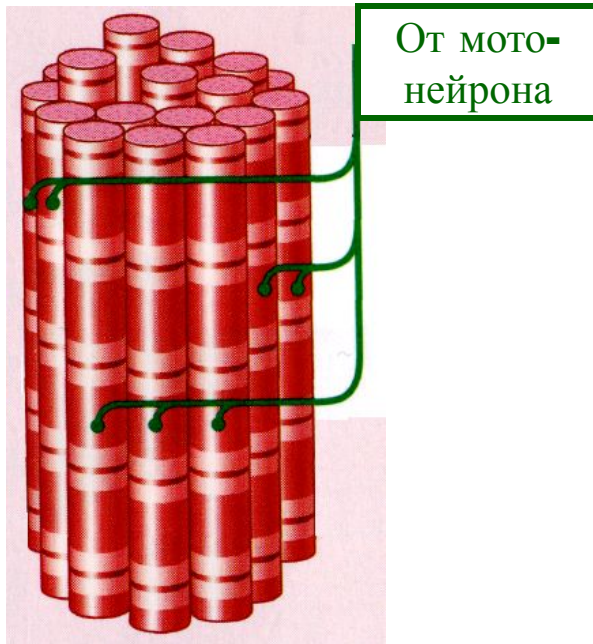
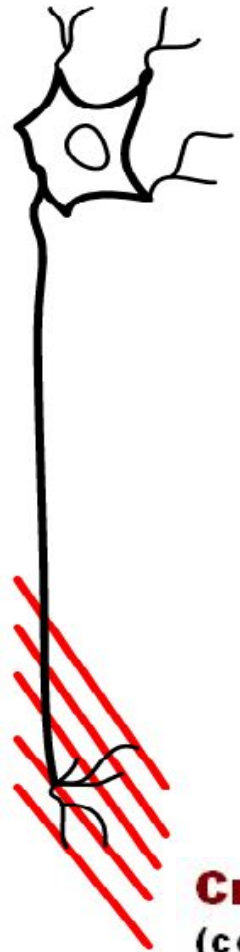
Относительная
рефрактерность

4. ОСОБЕННОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Импульс в миокарде передаётся от одной клетки к другой через электрические синапсы (**нексусы**).

Все клетки возбуждаются и сокращаются одновременно.

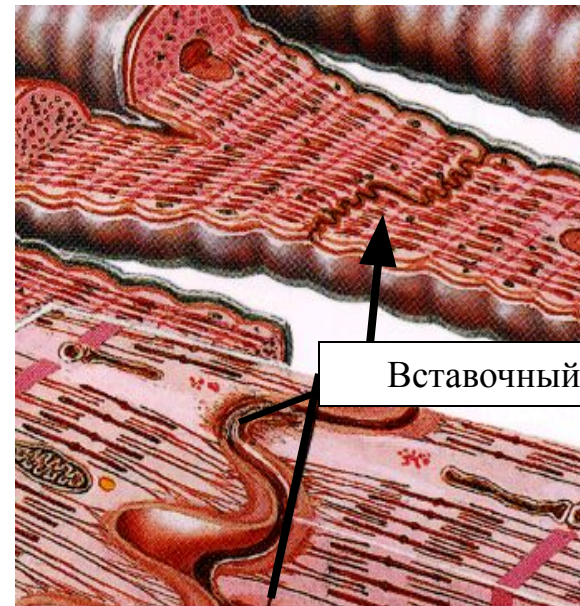
Состоящий из отдельных клеток, миокард функционирует как единое целое.



Скелетная мышца

(сокращаются только те волокна, которые получили нервный импульс)

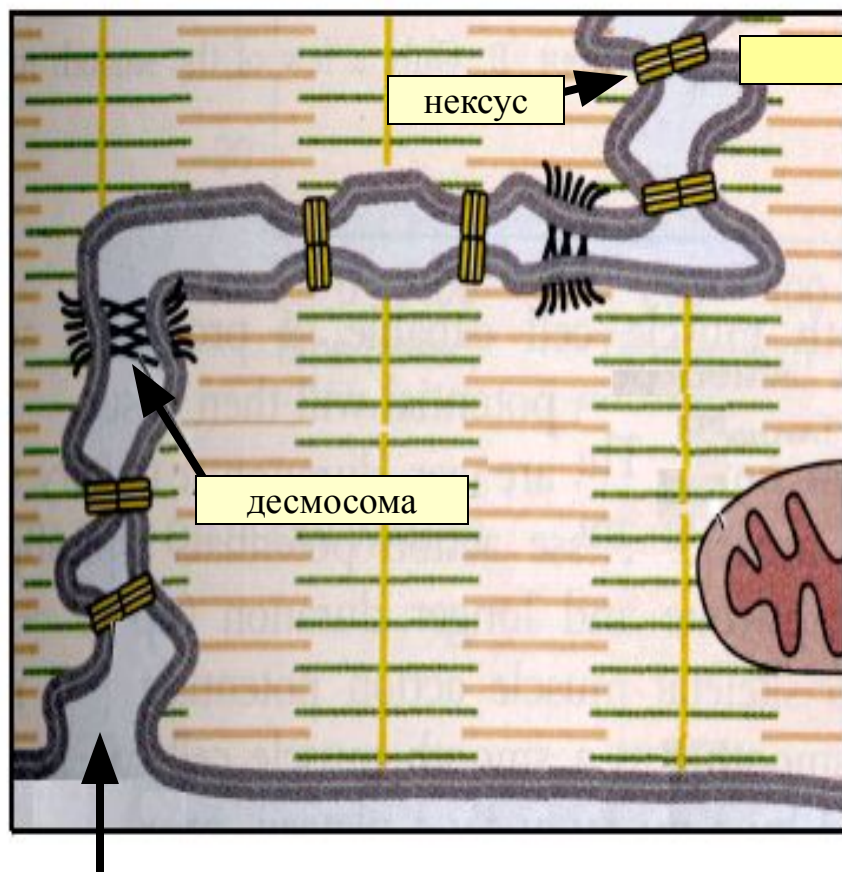
МИОКАРД – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИНЦИТИЙ



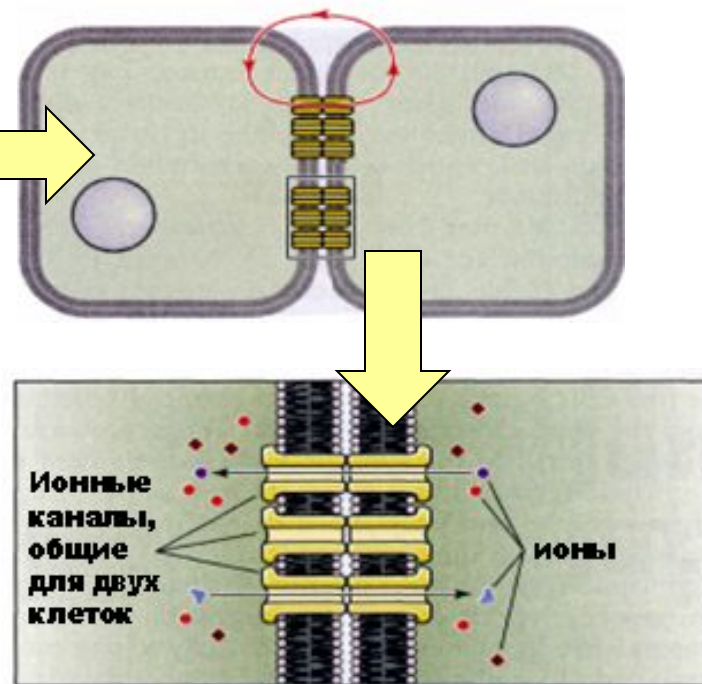
Сердечная мышца

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

ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК: ДЕСМОСОМА И НЕКСУС



ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК
(между соседними миоцитами)



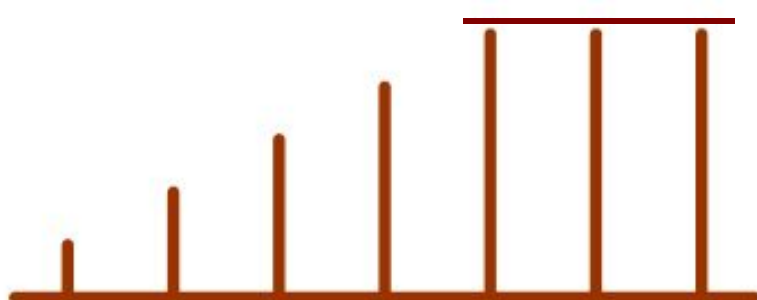
НЕКСУС – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИНАПС

Проводит возбуждение
в обе стороны,
без задержки,
без утомления

5. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА СОКРАЩЕНИЯ

Сила сокращения миокарда всегда максимальна, не зависит от силы раздражителя, потому что каждый раз возбуждаются и сокращаются все кардиомиоциты.

МИОКАРД СОКРАЩАЕТСЯ ПО ПРИНЦИПУ «ВСЁ ИЛИ НИЧЕГО»



Сила сокращения



Сила раздражения

СКЕЛЕТНАЯ МЫШЦА



Сила сокращения



Сила раздражения

СЕРДЕЧНАЯ МЫШЦА

СИЛА СОКРАЩЕНИЯ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ

В отличие от скелетной мышцы сила сокращения миокарда не может увеличиваться

(а) ни за счёт временной суммации (тетанус),

(б) ни за счёт пространственной суммации

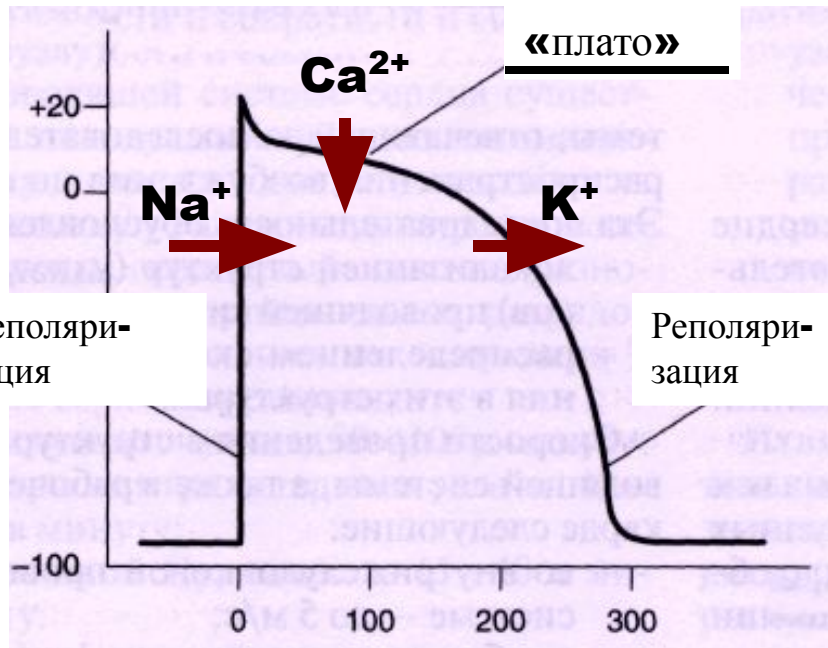
(вовлечение новых моторных единиц в сократительный процесс).

Она зависит от уровня метаболизма, концентрации ионов кальция в каждом кардиомиоците и требует достаточного кровоснабжения

(что обеспечивается механизмами нервной и гуморальной регуляции).

МЕХАНИЗМ АВТОМАТИИ

МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛЕТКИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА



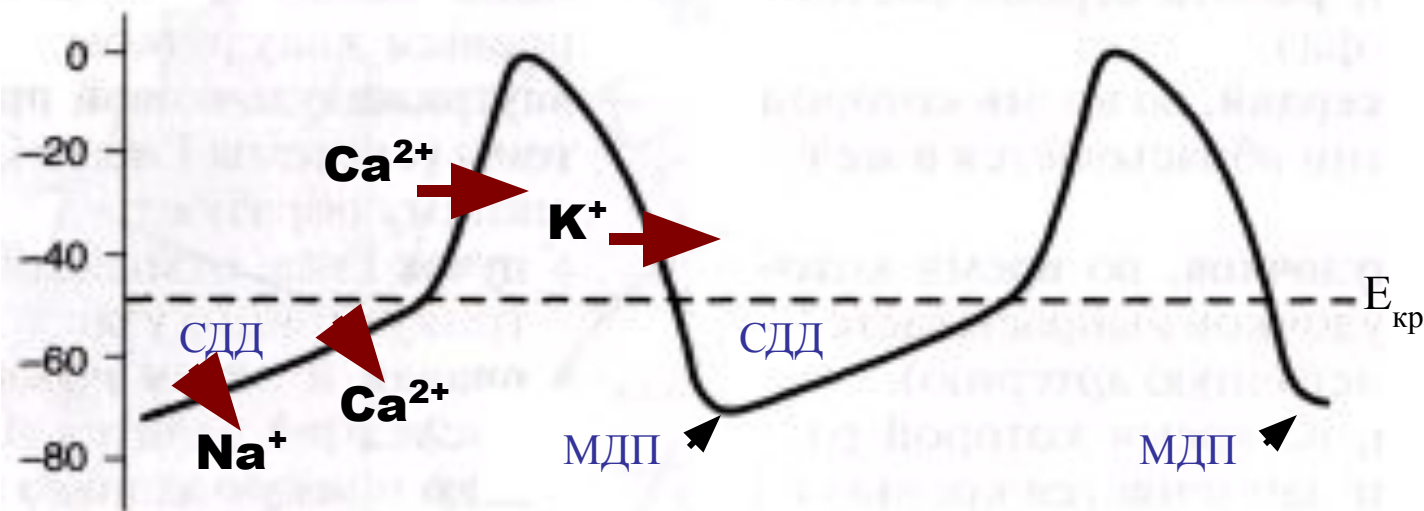
- **Потенциал покоя = – 90 мВ**

В покое мембрана имеет высокую проницаемость для ионов калия и низкую проницаемость для ионов натрия.

- **Потенциал действия:**

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

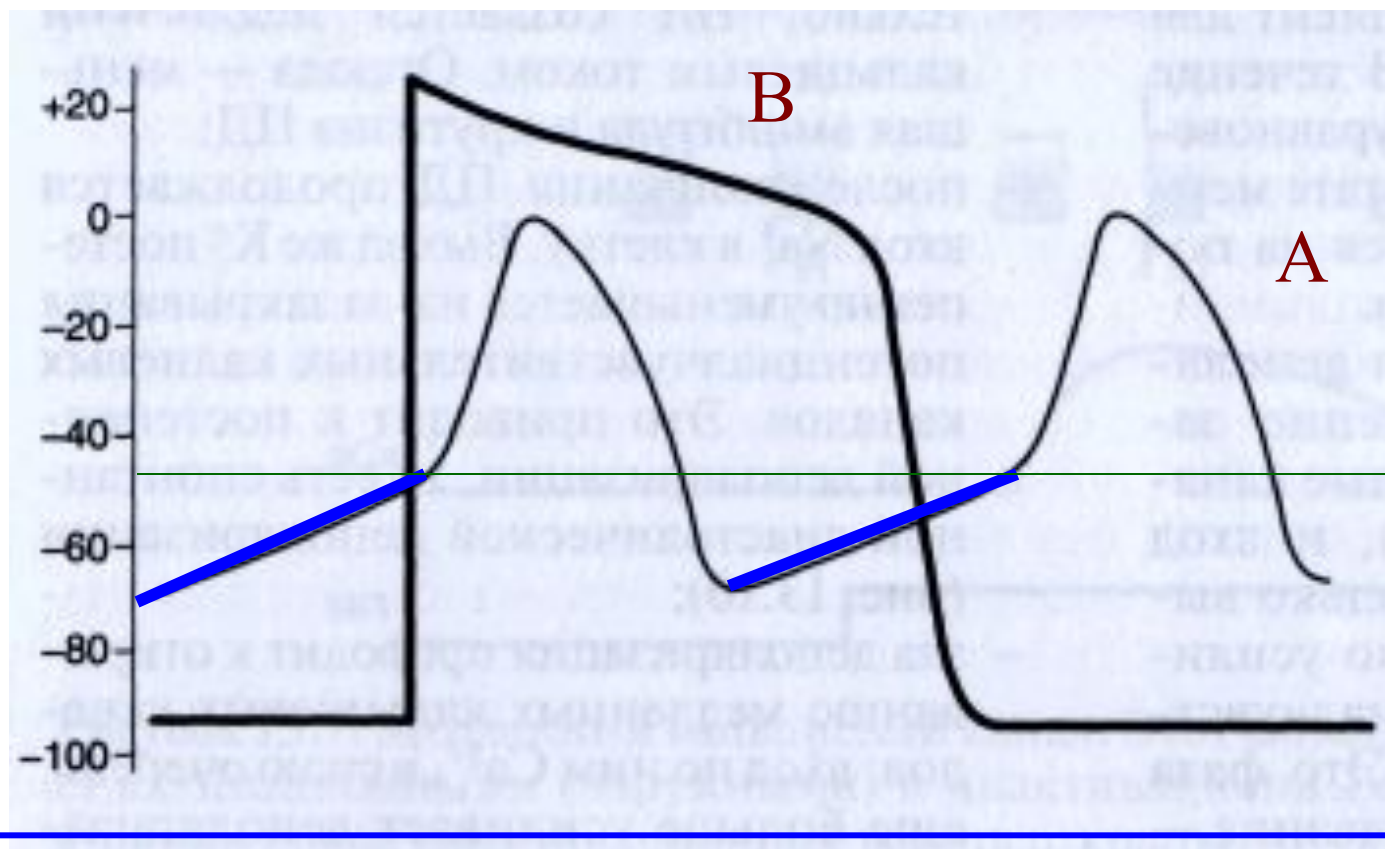
МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕЙСМЕКЕРНОЙ КЛЕТКИ



- Мембрана клетки имеет высокую проницаемость для ионов **Na⁺** и низкую проницаемость для ионов **K⁺**.
Поэтому **МДП (максимальный диастолический потенциал) = -70 мВ.**
- За счёт диффузии **Na⁺** в клетку происходит **СДД (спонтанная диастолическая деполяризация).**
- Начинают открываться медленные потенциалчувствительные Са-каналы. Появляется входящий Са-ток.
- Когда деполяризация достигает до критического уровня (**E_{кр}**), возникает **ПД** за счёт **входа в клетку ионов Ca²⁺**
- Репольаризацию вызывает выходящий калиевый ток.

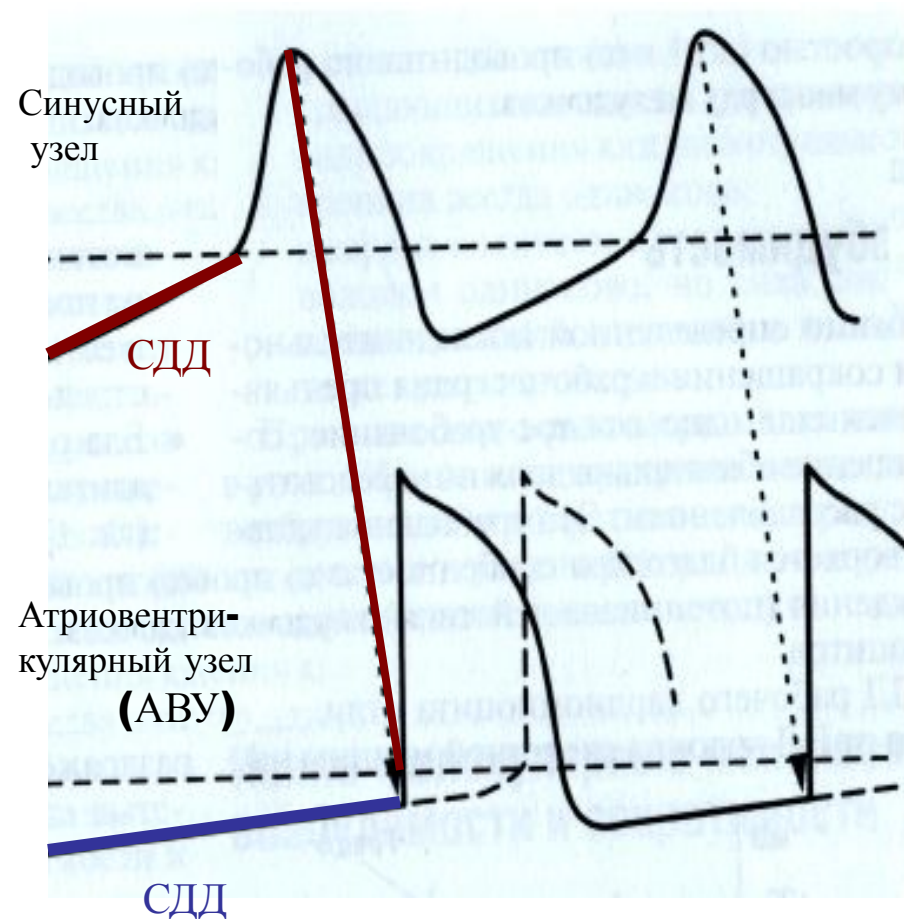
А – потенциал действия клетки
синусного узла

В – потенциал действия клетки
рабочего миокарда



Спонтанная диастолическая деполяризация является
признаком автоматии миокардиальной клетки

МЕМБРАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ КЛЕТОК ИСТИННОГО ПЕЙСМЕКЕРА (САУ) И ЛАТЕНТНОГО ПЕЙСМЕКЕРА (АВУ)



Спонтанная деполяризация клетки АВУ имеет меньшую скорость.

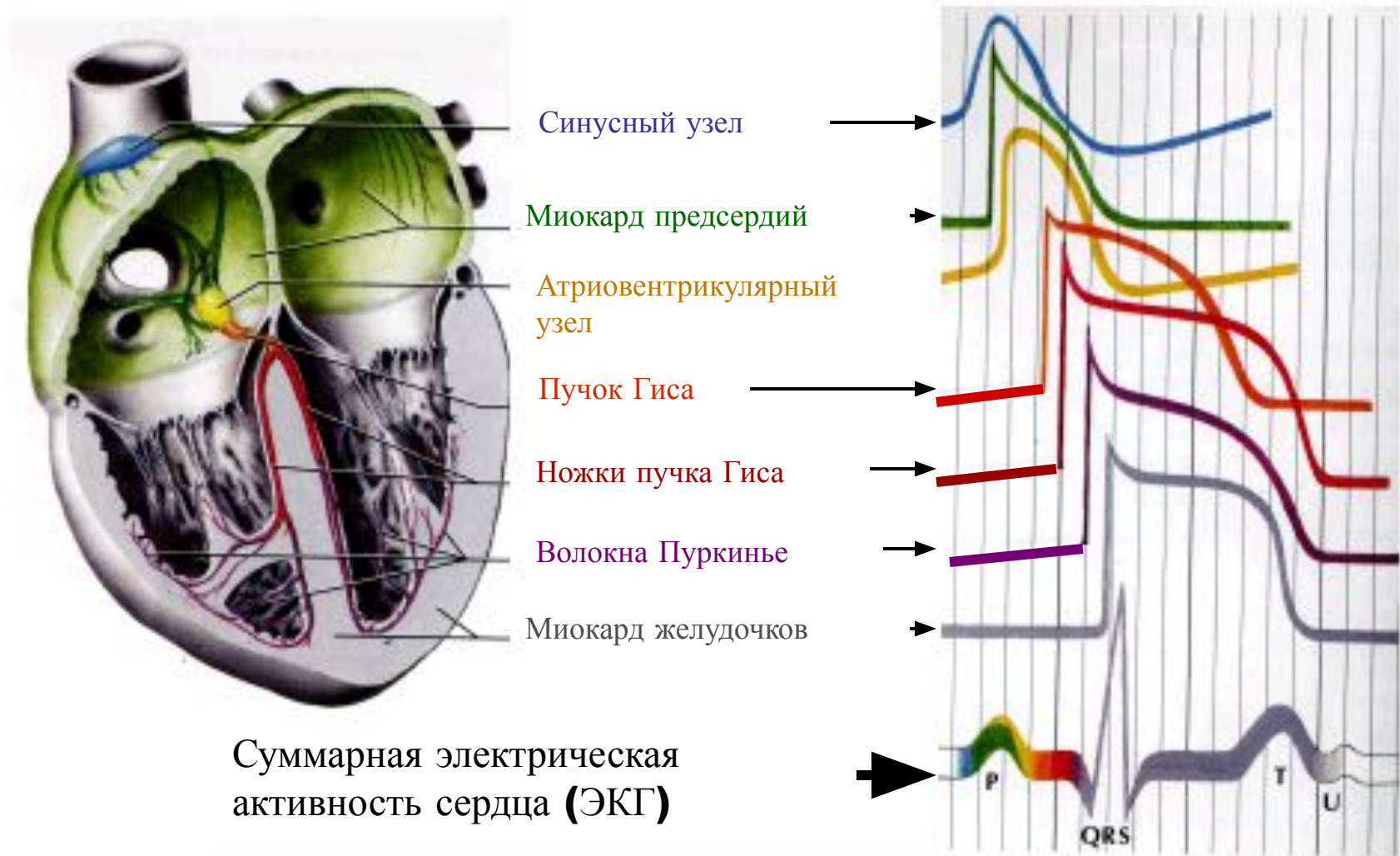
Импульс из синусного узла приходит к АВУ раньше, чем деполяризация клеток АВУ достигнет $E_{кр}$.

Поэтому автоматия АВУ в норме не проявляется.

Если связь синусного узла с АВУ нарушена, АВУ генерирует импульсы самостоятельно, но с меньшей частотой (**40-50** имп/мин вместо **60-80**).

В этом случае предсердия работают в синусовом ритме, а желудочки – в атриовентрикулярном. Такое состояние называется **ПОЛНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ БЛОКАДОЙ СЕРДЦА**.

ПОТЕНЦИАЛЫ ДЕЙСТВИЯ КЛЕТОК РАЗНЫХ ОТДЕЛОВ ПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СЕРДЦА И РАБОЧЕГО МИОКАРДА



КОНЕЦ