

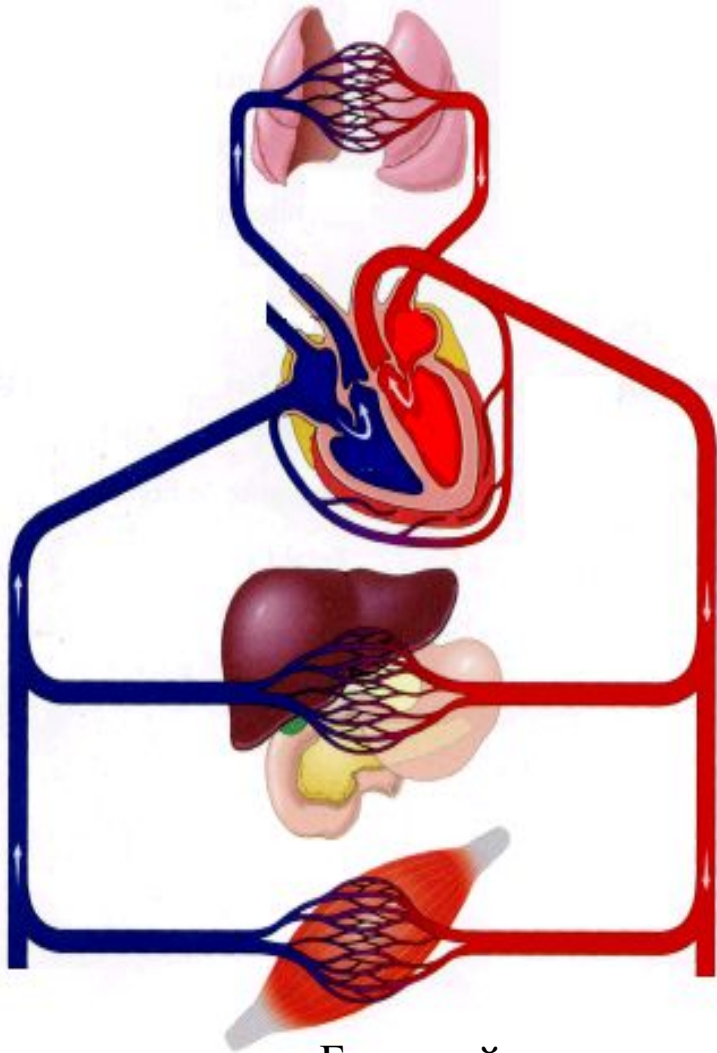
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

Лекция **1.**

НАСОСНАЯ ФУНКЦИЯ СЕРДЦА

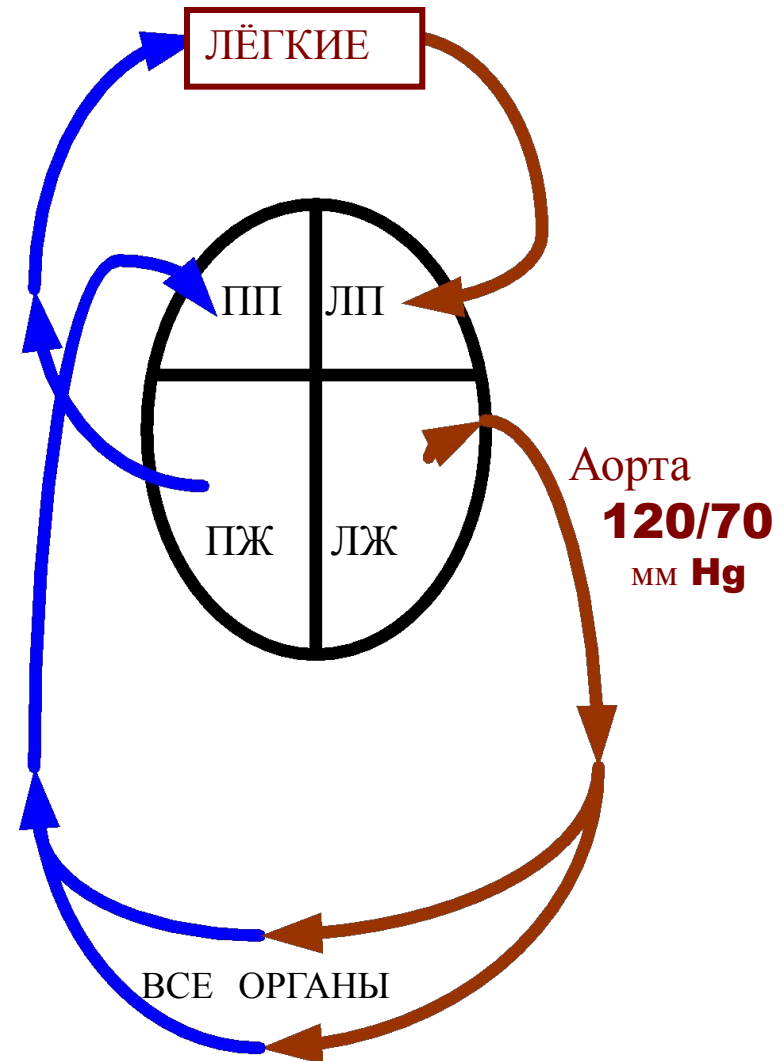
БОЛЬШОЙ И МАЛЫЙ КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Малый круг кровообращения



Большой круг кровообращения

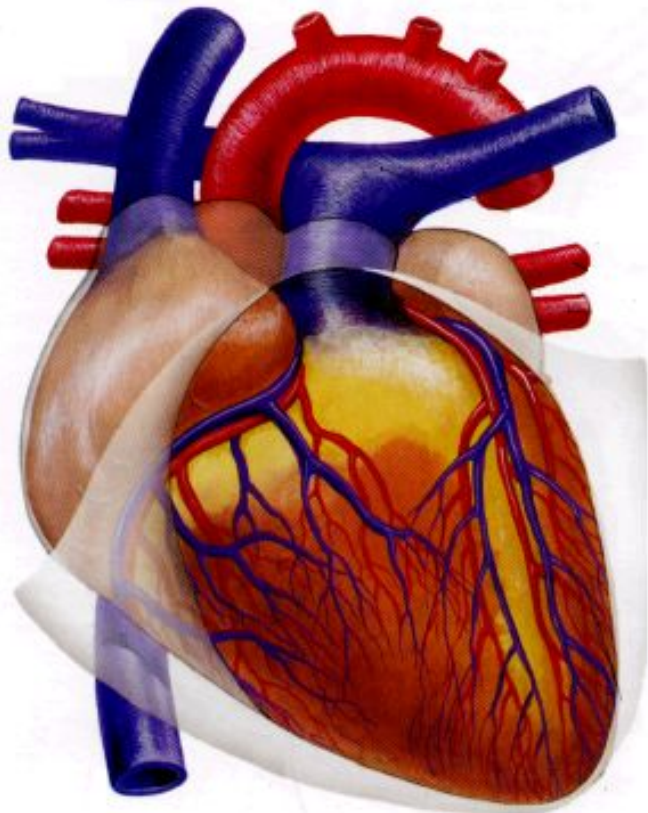
Лёгочная
артерия
30/15
мм рт.ст.



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
кровенным давлением
(0 мм рт.ст.) в сосуды с более
высоким кровяным давлением:

Полые вены,
Лёгочные вены

0 мм рт.ст.

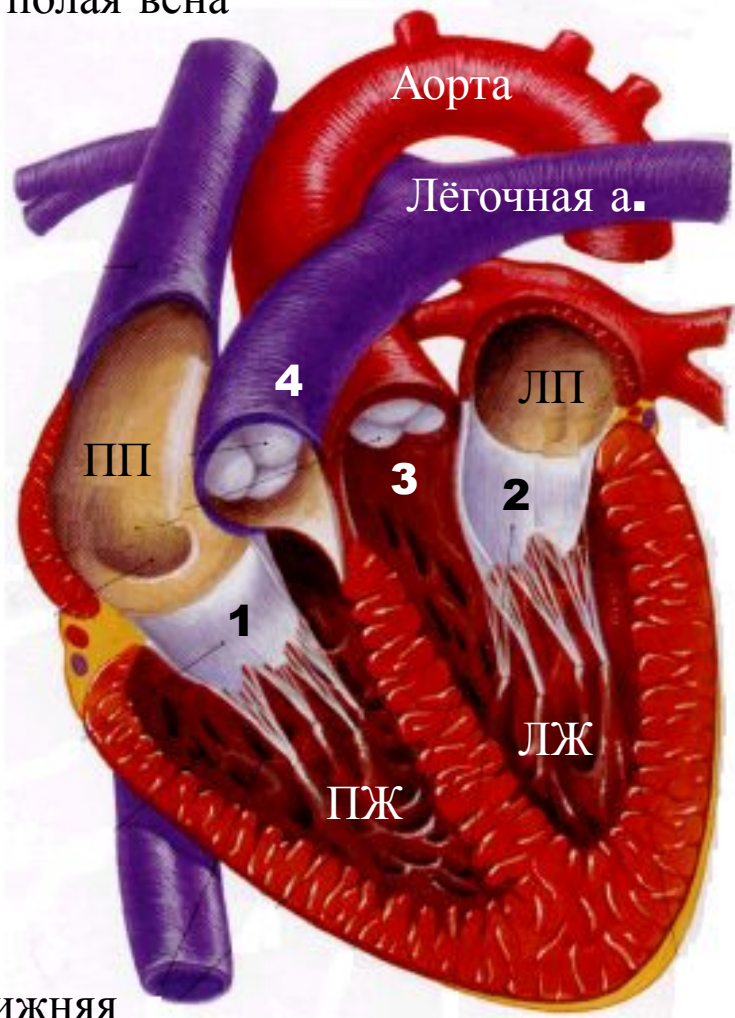
Аорта **120/70** мм рт.ст.

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)

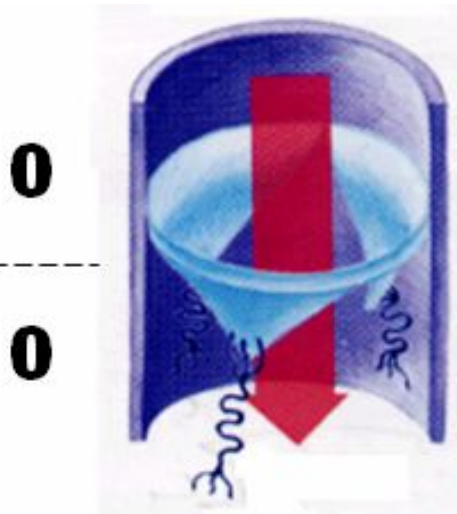
ПОЛУЛУННЫЕ КЛАПАНЫ:

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

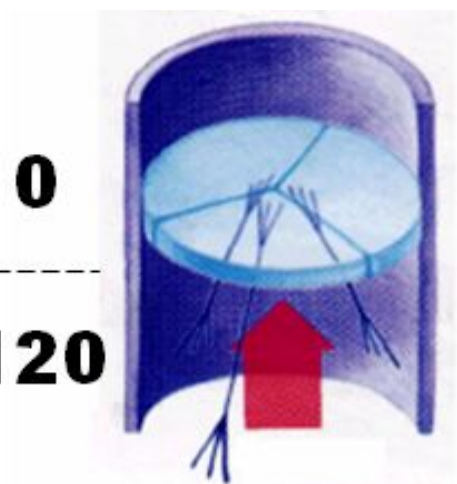


КЛАПАН ОТКРЫТ

(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)

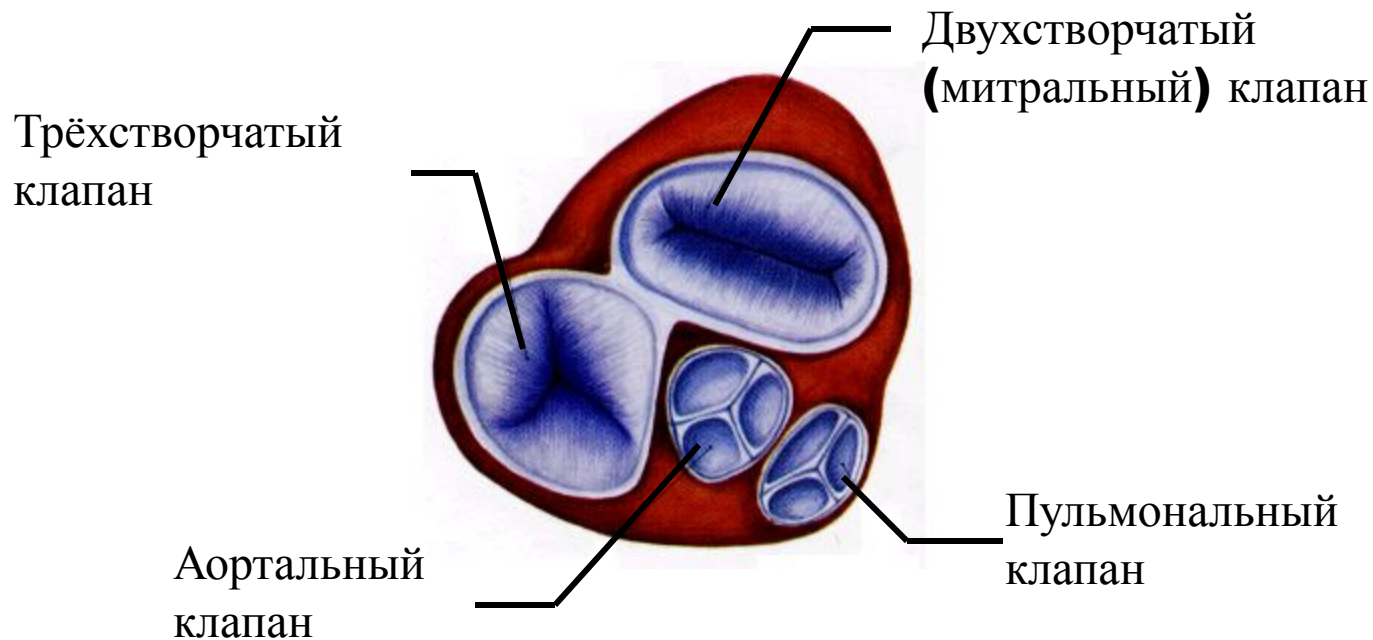


КЛАПАН ЗАКРЫТ

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	Сис- тола				Общ а я		
Желудочки		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

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.

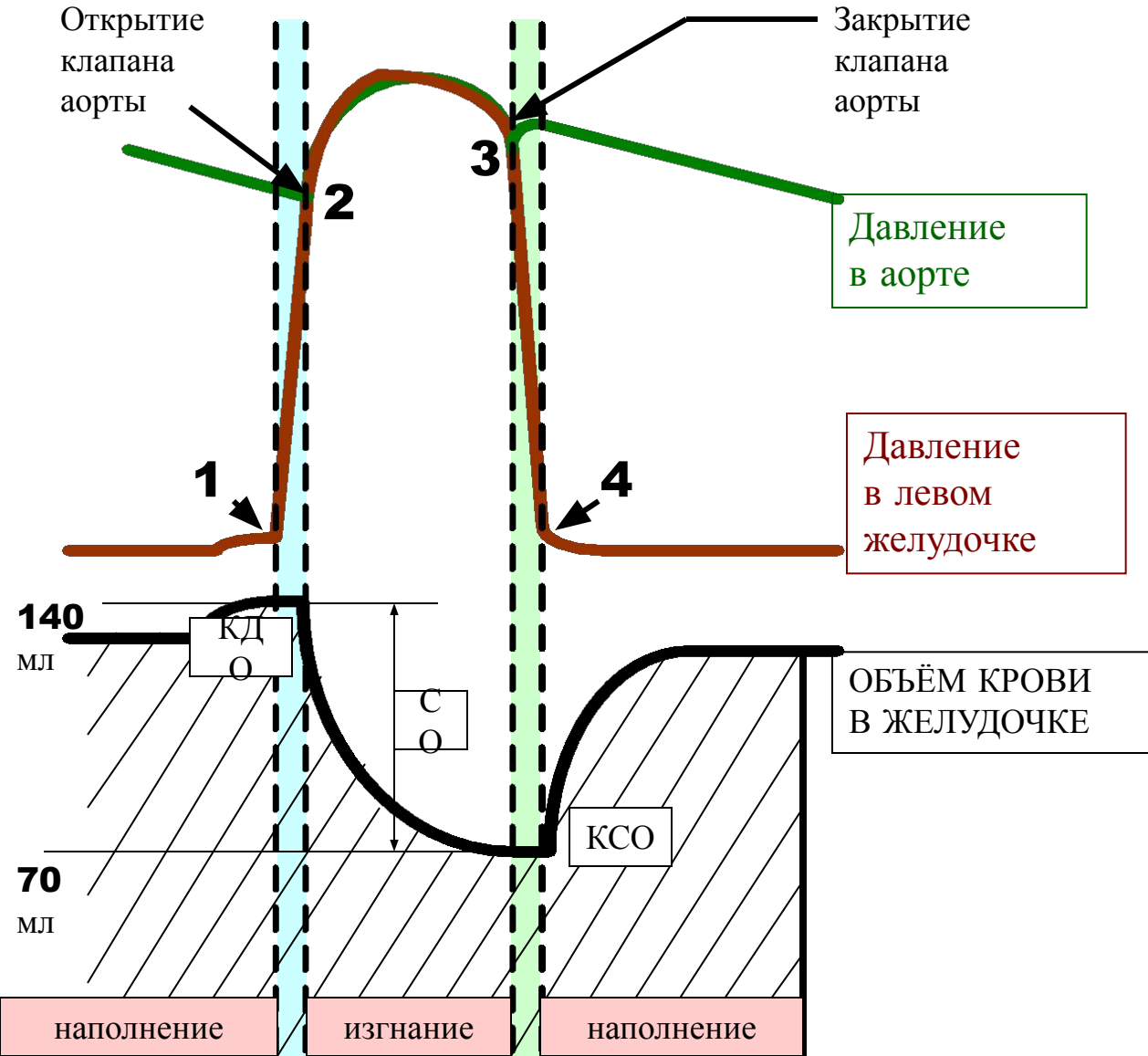
ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЁМА КРОВИ В ЖЕЛУДОЧКАХ ВО ВРЕМЯ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

- **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

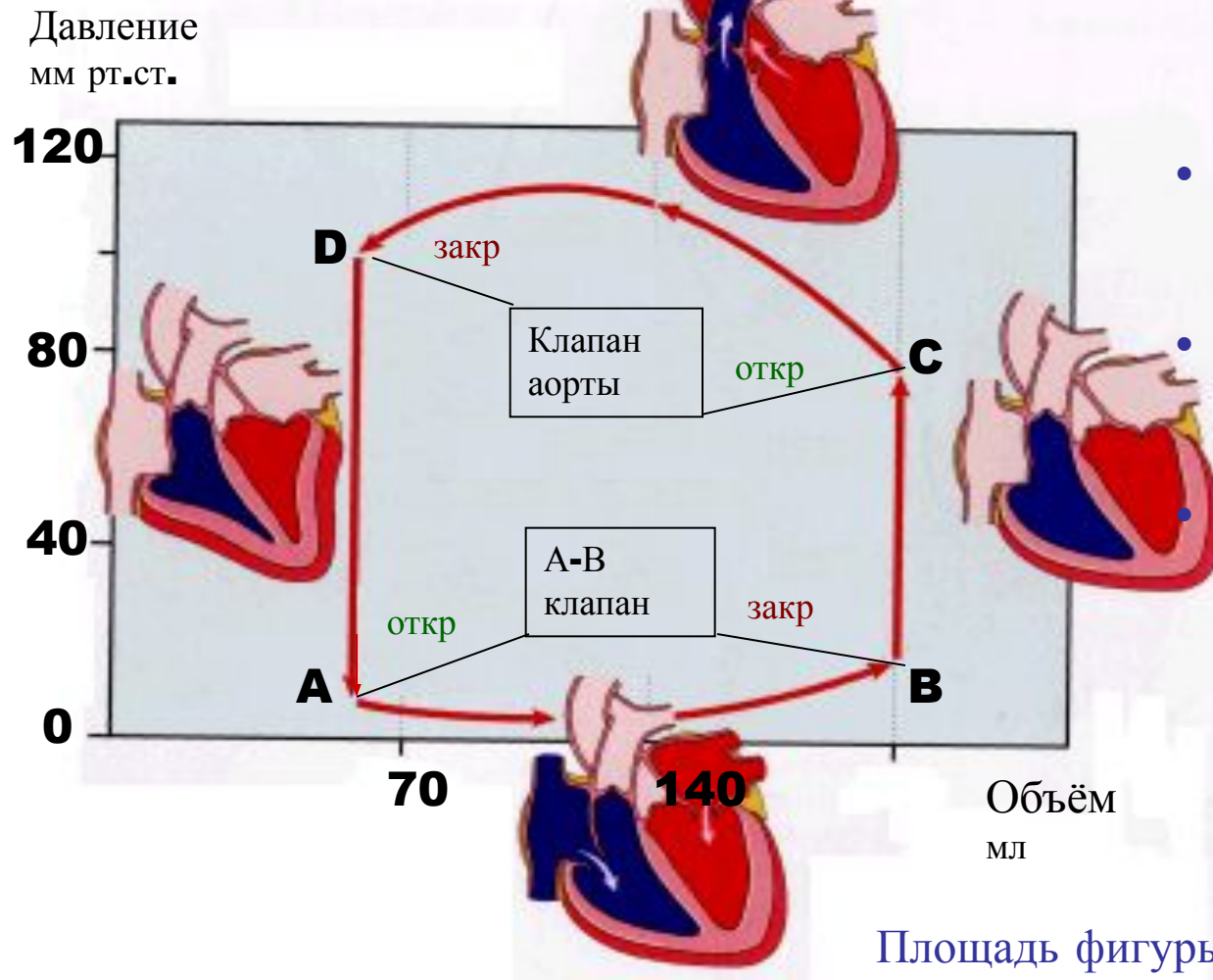
3 – 4

Фаза изометрического расслабления

4 – до следующего 1

Период наполнения

РАБОТА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА КРИВАЯ «ДАВЛЕНИЕ – ОБЪЁМ»



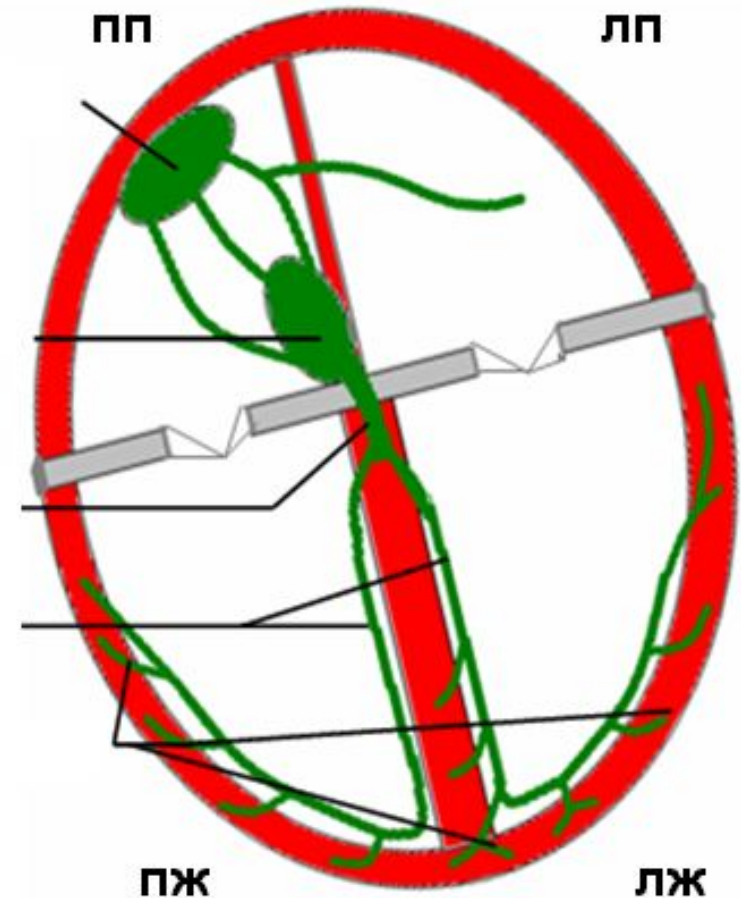
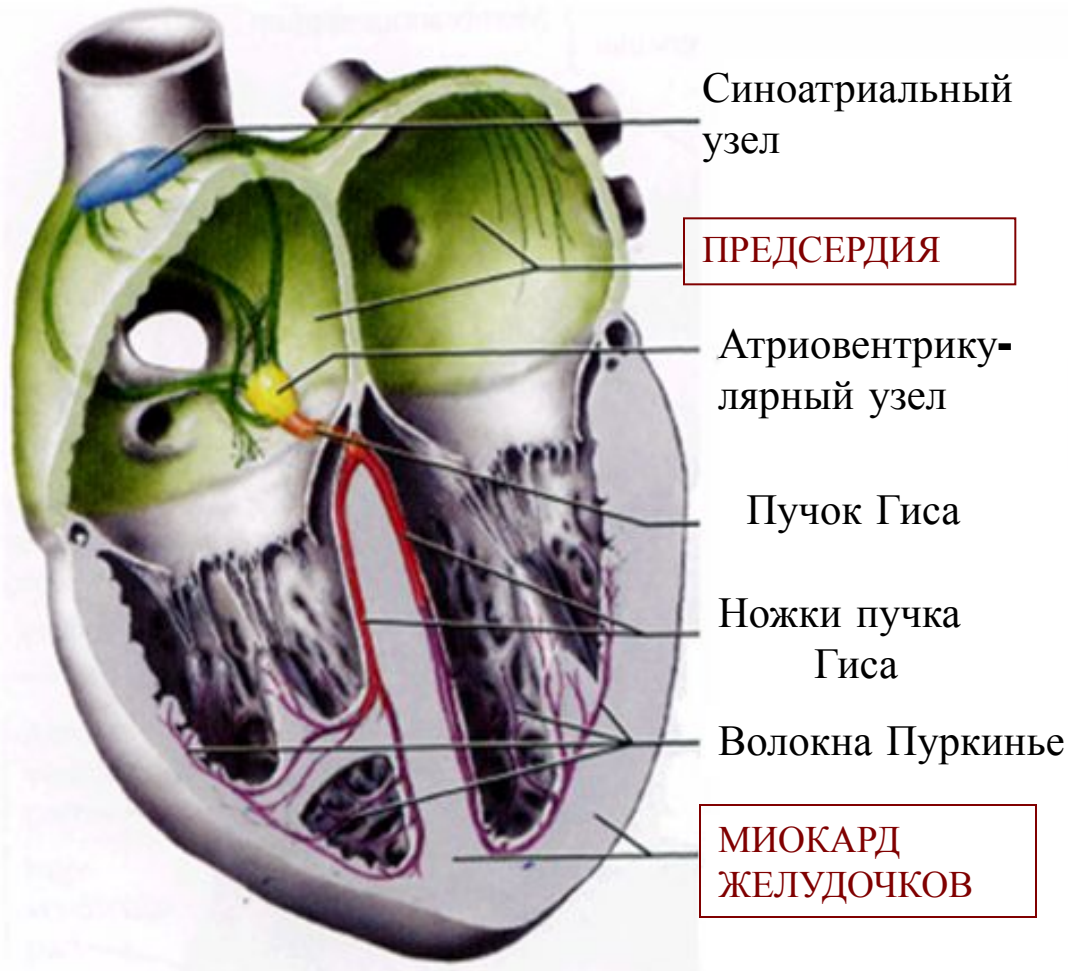
- **AB** – наполнение желудочка кровью (давление низкое, объём увеличивается до **140** мл (КДО)).
- **BC** – фаза изометри-ческого сокращения (объём постоянный, давление растёт).
- **CD** – изгнание крови в аорту (объём желудочка уменьшается, давление высокое).
- **DA** – фаза изометри-ческого расслабления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

Площадь фигуры **ABCD** отражает работу левого желудочка

Два типа мышечной ткани в сердце:

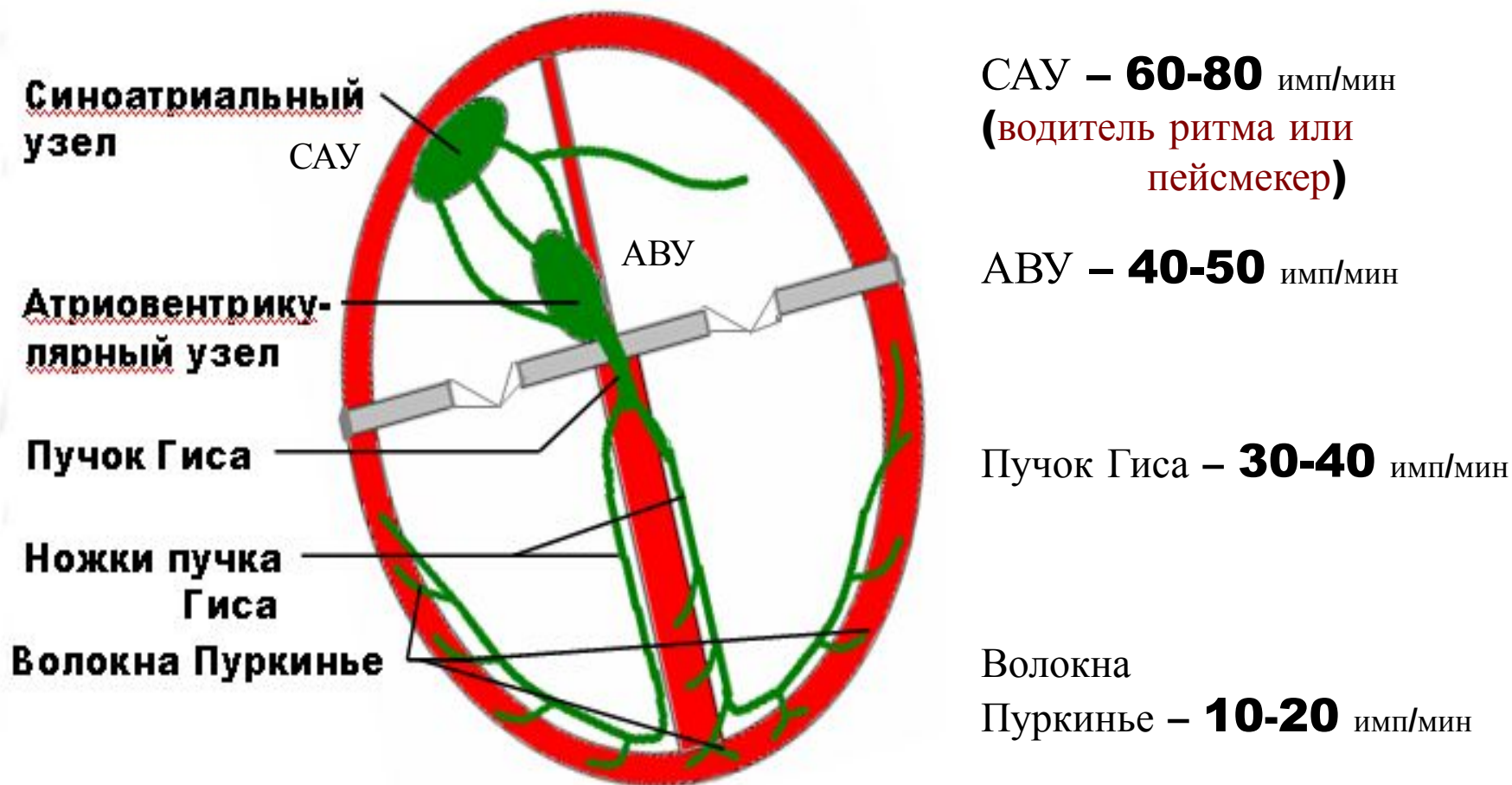
- Атипичические мышечные волокна, из которых состоит проводящая система сердца.
(Эти волокна сохраняют свойства эмбриональной ткани сердца, в частности, устойчивость к гипоксии и способность к автоматии.)
- Рабочий (сократительный) миокард
 - миокард предсердий
 - миокард желудочков

ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА

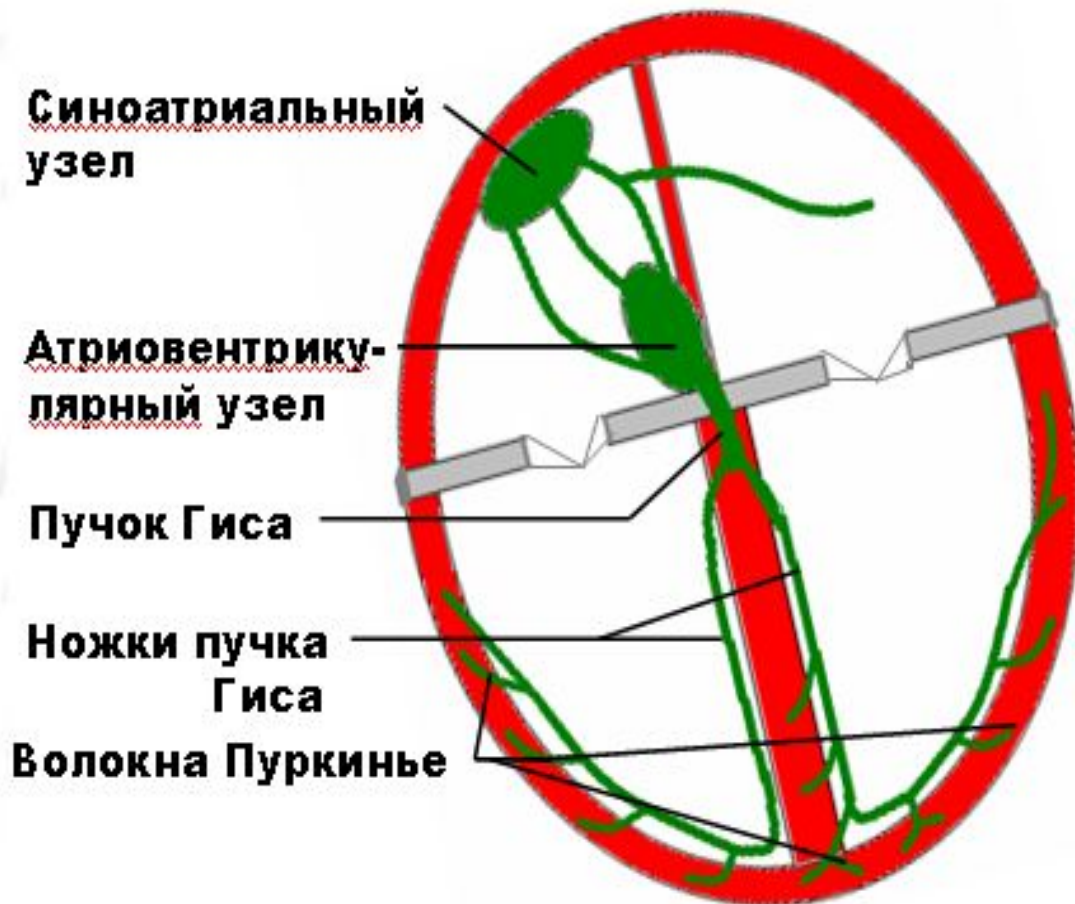


АВТОМАТИЯ – способность клеток проводящей системы сердца генерировать импульсы самостоятельно, без внешних воздействий.

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

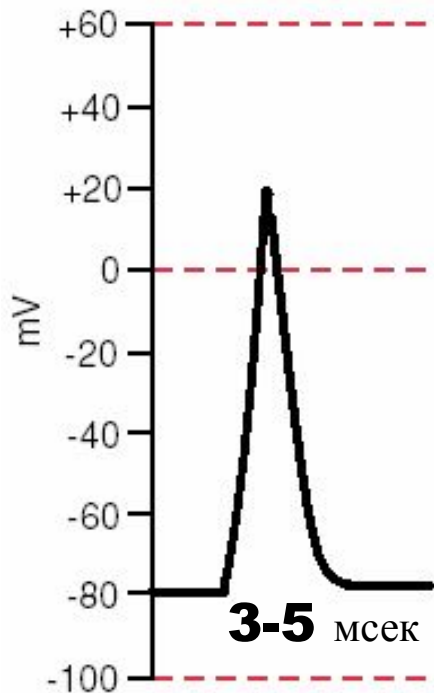
около **1 м/сек**

Для одновременного возбуждения и сокращения обоих желудочков

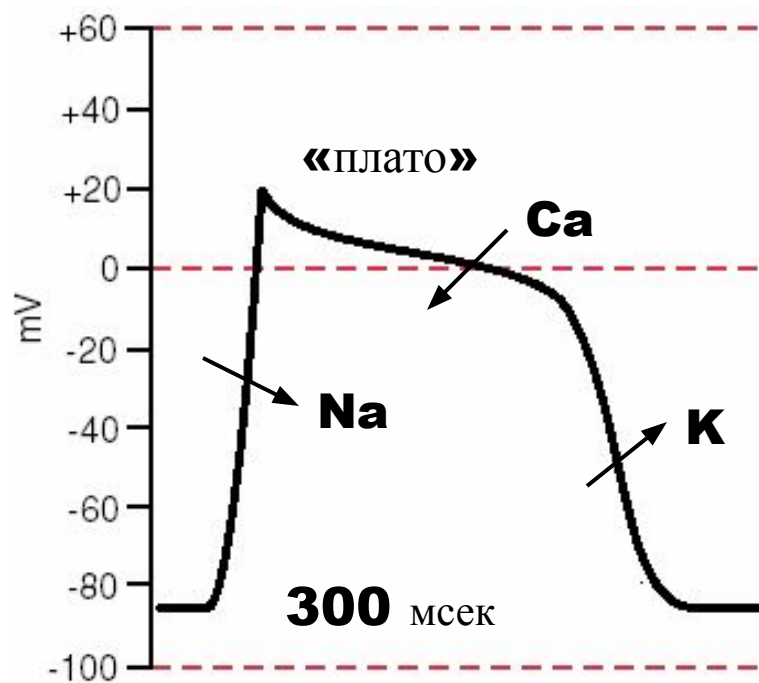
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА

1. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ (ПД)

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



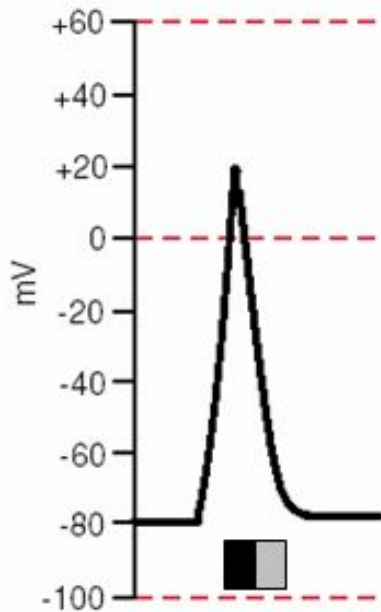
Скелетная мышца



Сердечная мышца

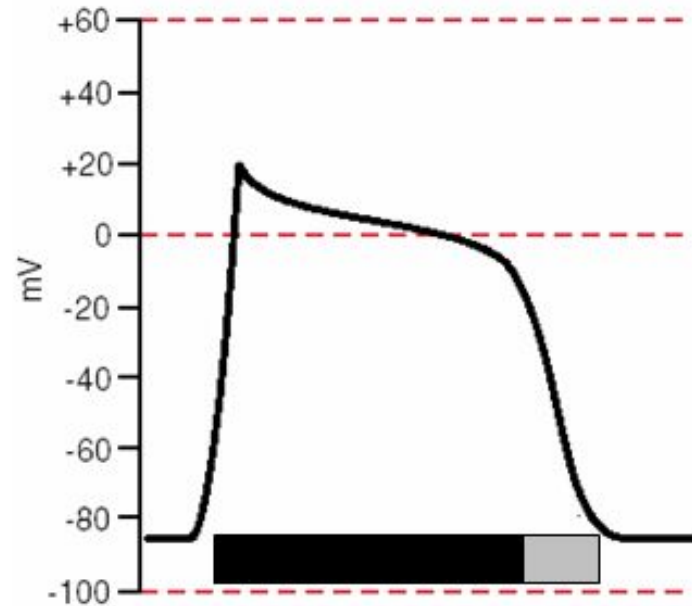
2. ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТЕРНЫЙ ПЕРИОД

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



3-5 мсек

Скелетная мышца



300 мсек

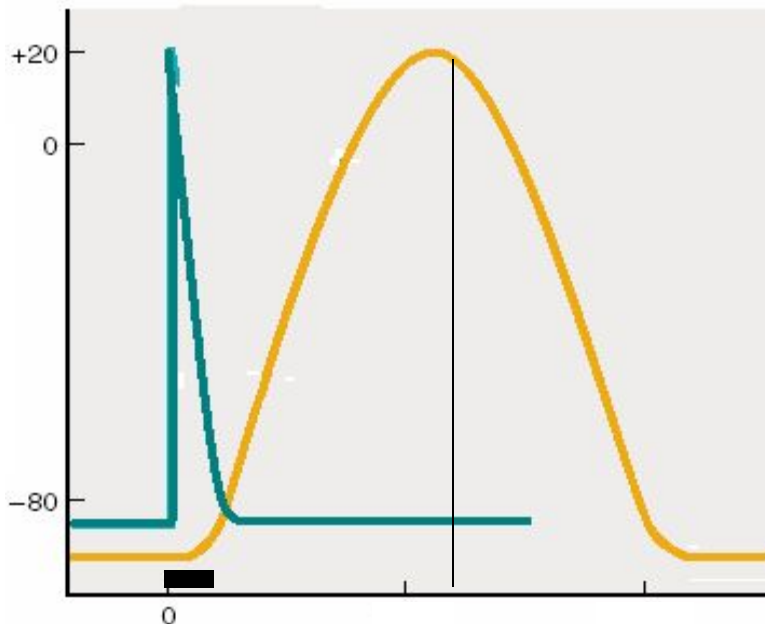
Сердечная мышца

3. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА СОКРАЩЕНИЯ

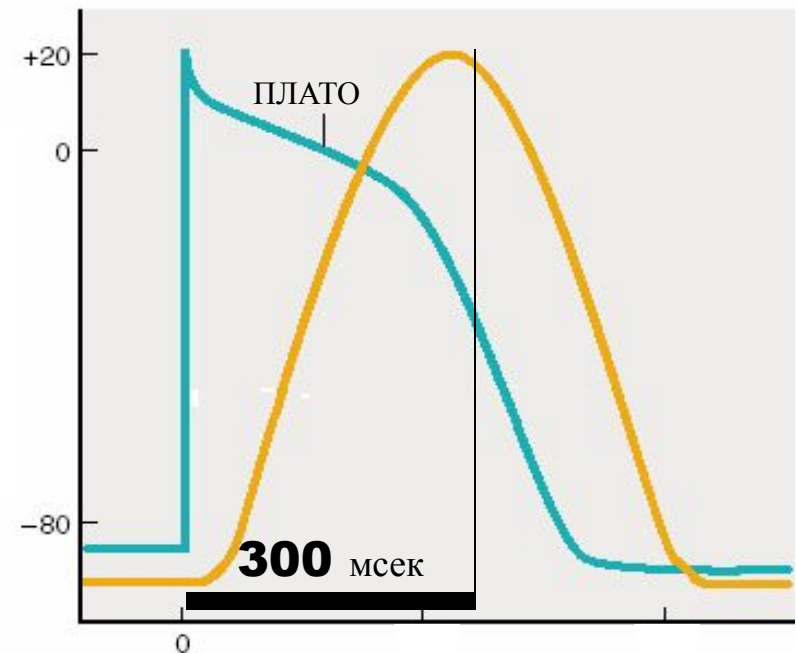
СЕРДЕЧНАЯ МЫШЦА СОКРАЩАЕТСЯ ТОЛЬКО В РЕЖИМЕ ОДИНОЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ. ТЕТАНУС НЕВОЗМОЖЕН.

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.

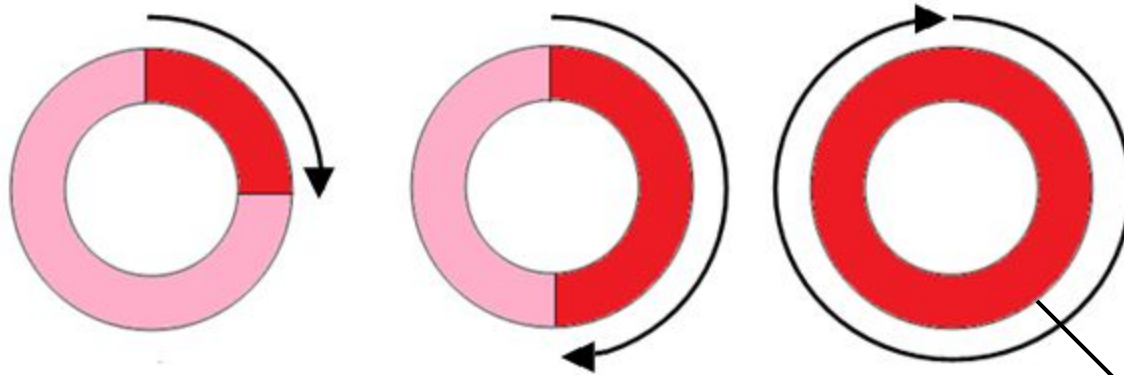
К нарушению ведёт (а) удлинении пути (дилатация сердца);

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

(в) укорочение рефрактерного периода

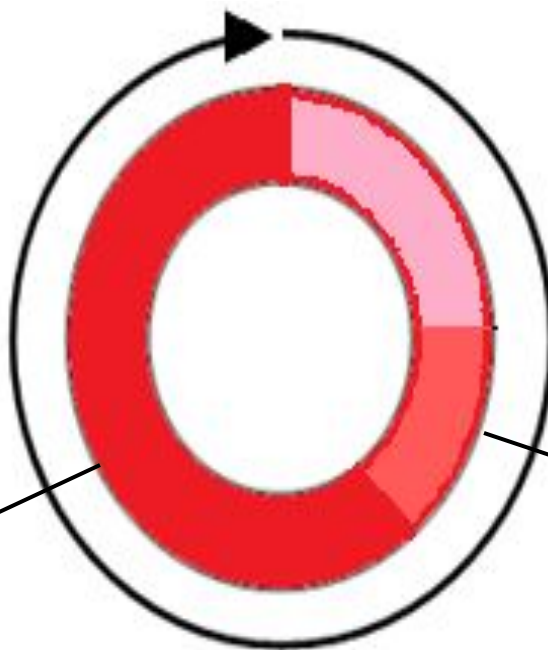
(при ранней экстрасистоле или при действии на сердце переменного тока **50 Гц**).

НОРМАЛЬНЫЙ
ПУТЬ



Абсолютная
рефрактерность

ДЛИННЫЙ
ПУТЬ



Абсолютная
рефрактерность

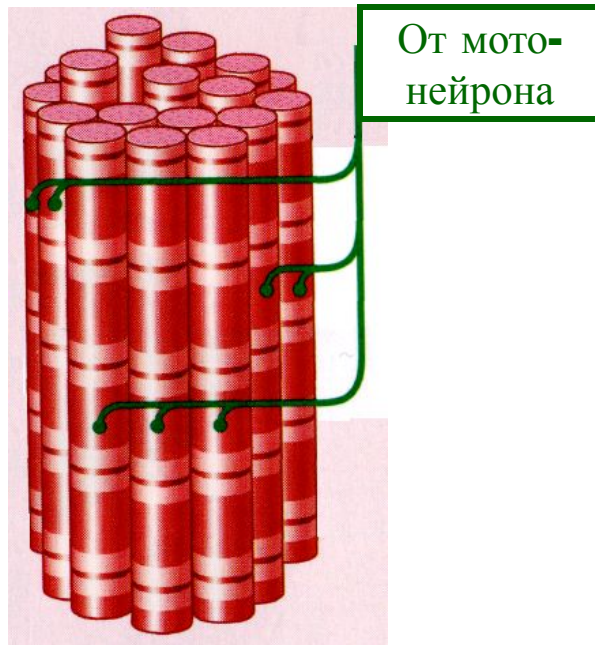
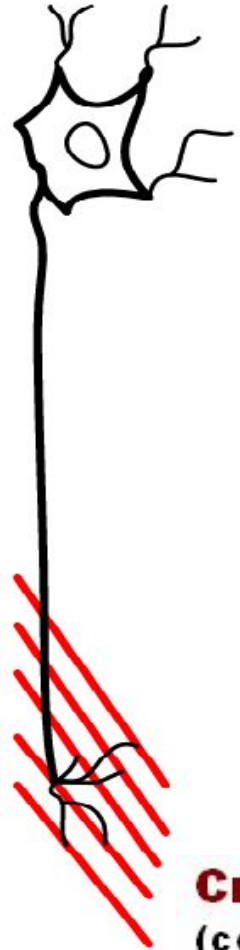
Относительная
рефрактерность

4. ОСОБЕННОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСА

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

Все клетки возбуждаются и сокращаются одновременно.

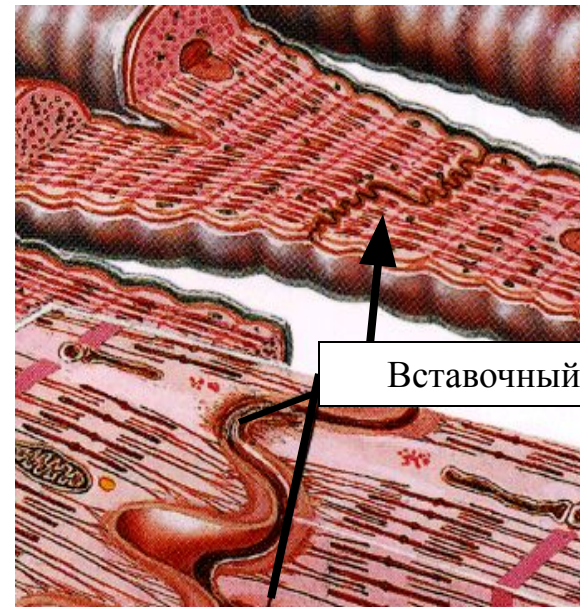
Состоящий из отдельных клеток, миокард функционирует как единое целое.



Скелетная мышца

(сокращаются только те волокна, которые получили нервный импульс)

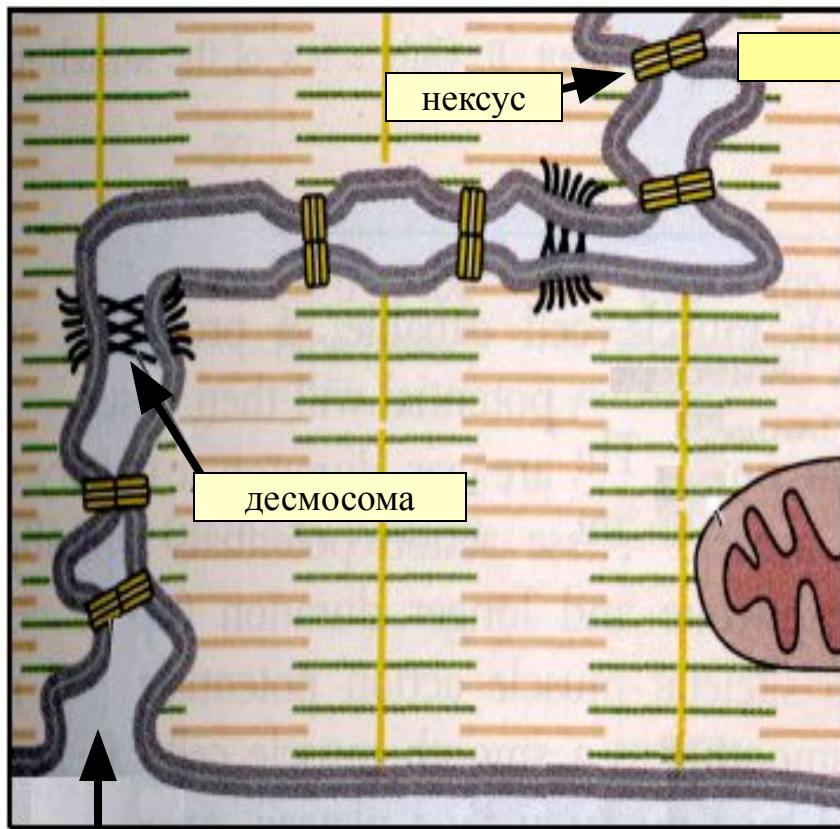
МИОКАРД – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИНЦИТИЙ



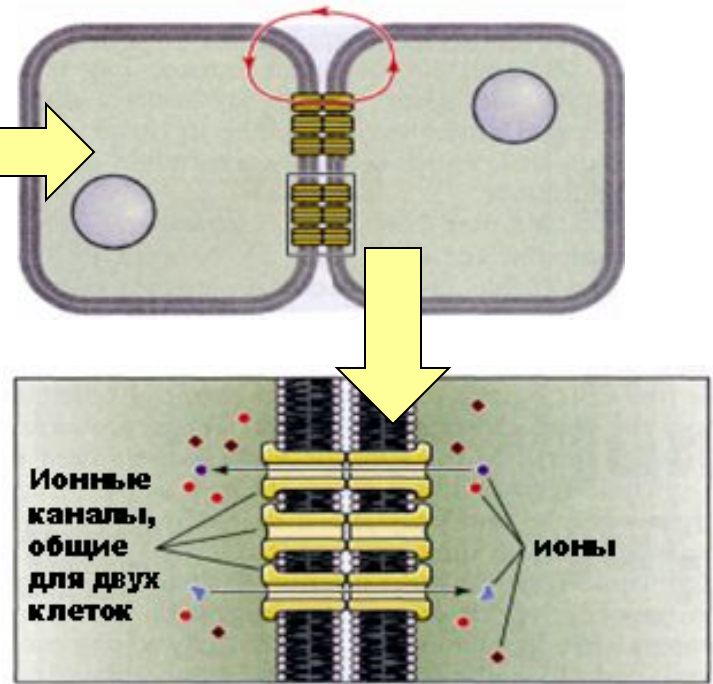
Сердечная мышца

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

ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК: ДЕСМОСОМА И НЕКСУС



ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК
(между соседними миоцитами)



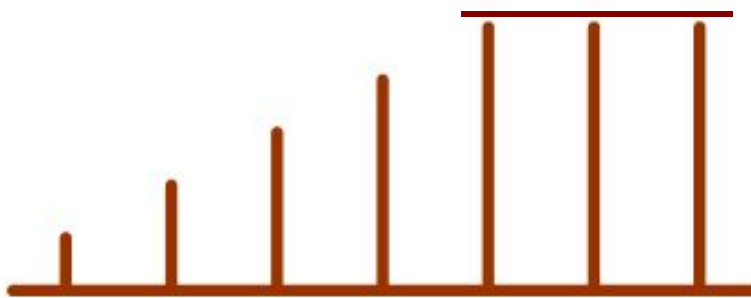
НЕКСУС – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИНАПС

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»

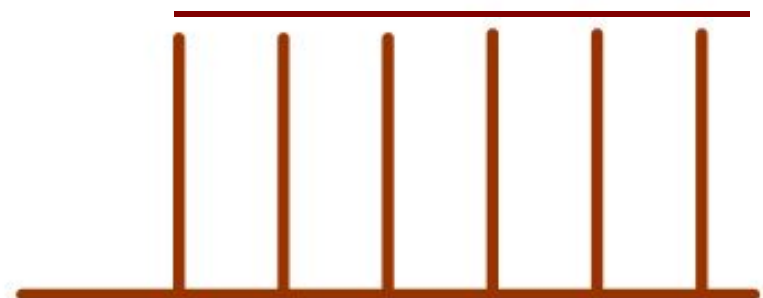


Сила сокращения



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

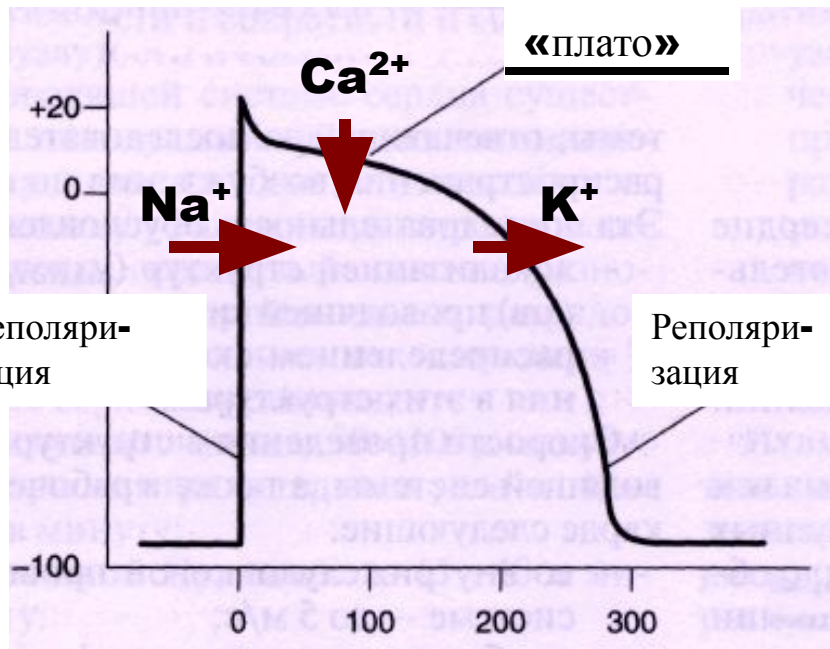
(а) ни за счёт временной суммации (тетанус),
(б) ни за счёт пространственной суммации (вовлечение новых моторных единиц в сократительный процесс).

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



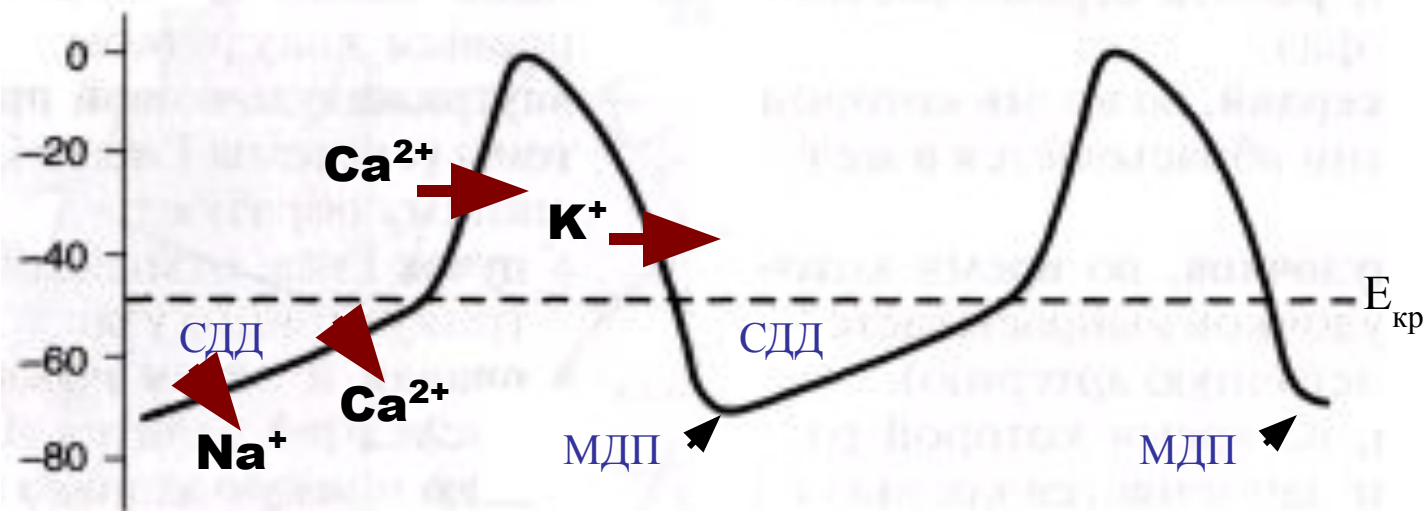
- Потенциал покоя = **-90 мВ**

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 **Ca²⁺** в клетку
(активированы медленные кальциевые каналы)
3. Реполяризация за счёт выхода **K⁺** из клетки
(активированы медленные калиевые каналы)

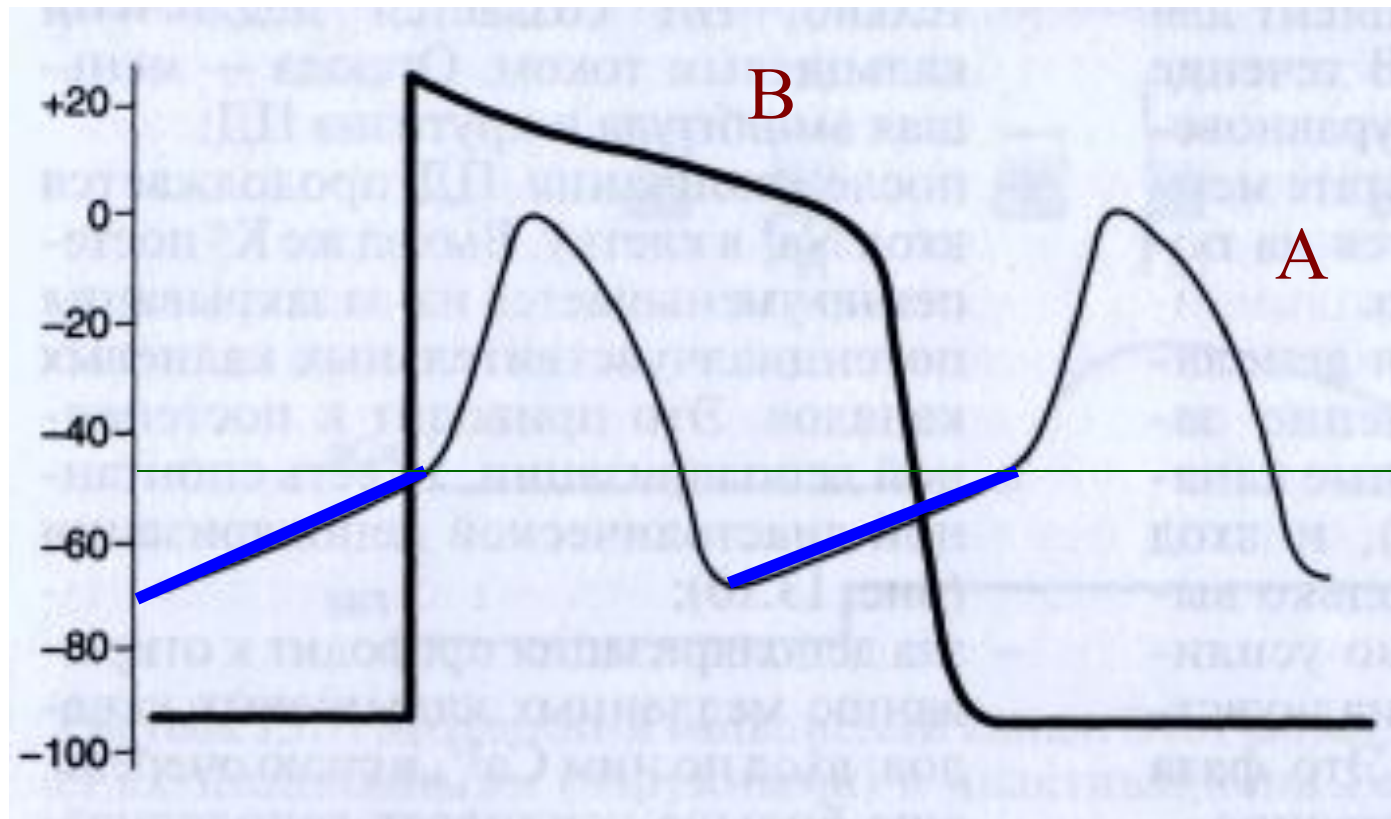
МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕЙСМЕКЕРНОЙ КЛЕТКИ



- 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 доходит до критического уровня (**E_{кр}**), возникает **ПД** за счёт входа в клетку ионов **Ca²⁺**
- Реполяризацию вызывает выходящий калиевый ток.

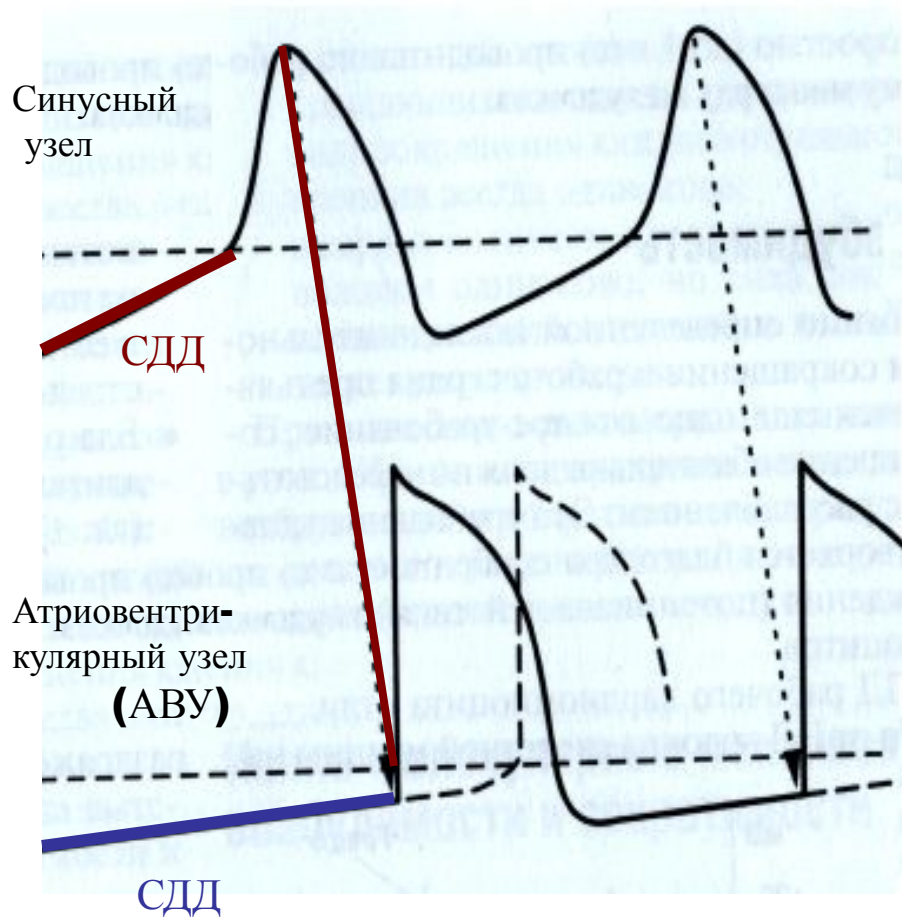
А – потенциал действия клетки
синусного узла

В – потенциал действия клетки
рабочего миокарда



Спонтанная диастолическая деполяризация является
признаком автоматии миокардиальной клетки

МЕМБРАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ КЛЕТКИ 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 $E_{кр}$.

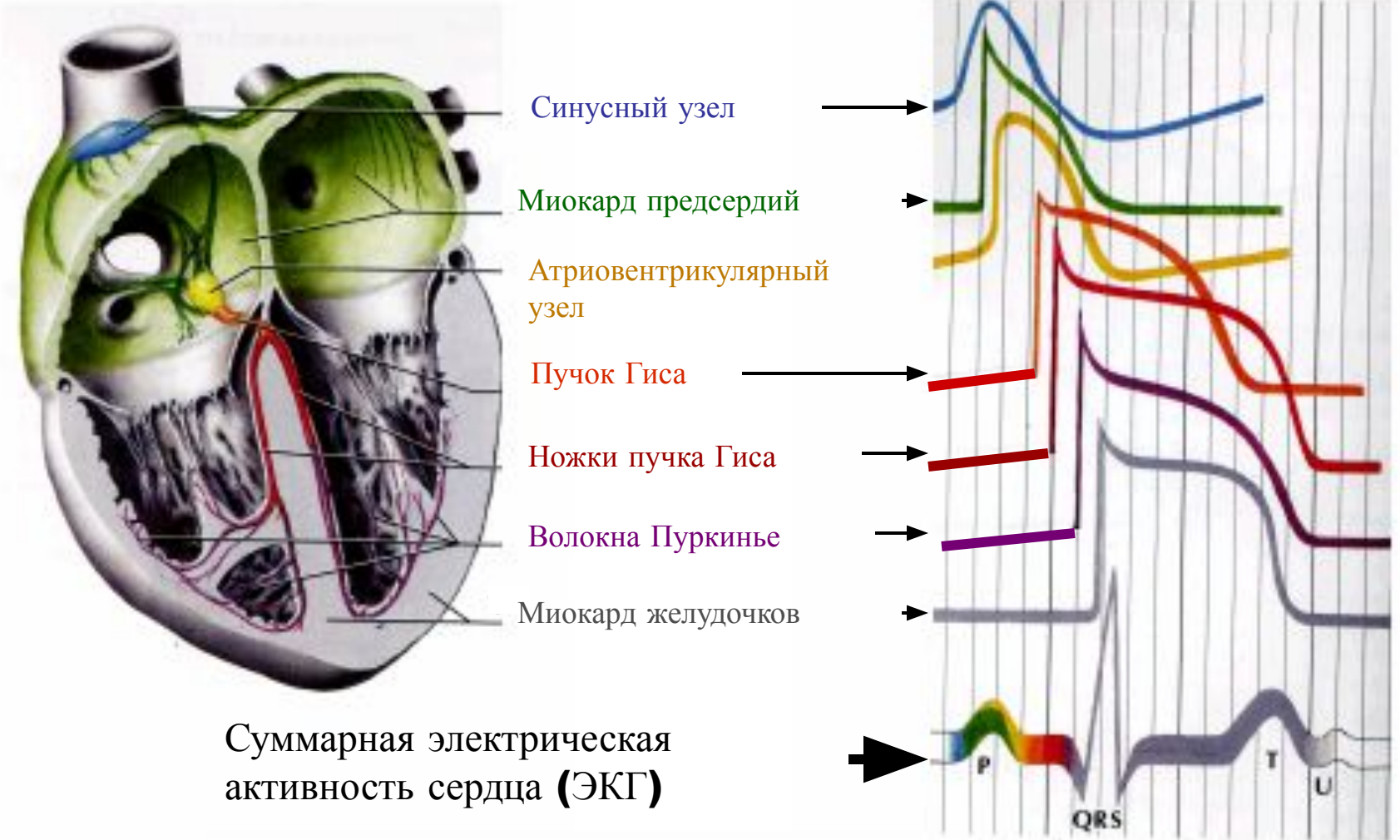
Поэтому автоматия АВУ в норме не проявляется.

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