

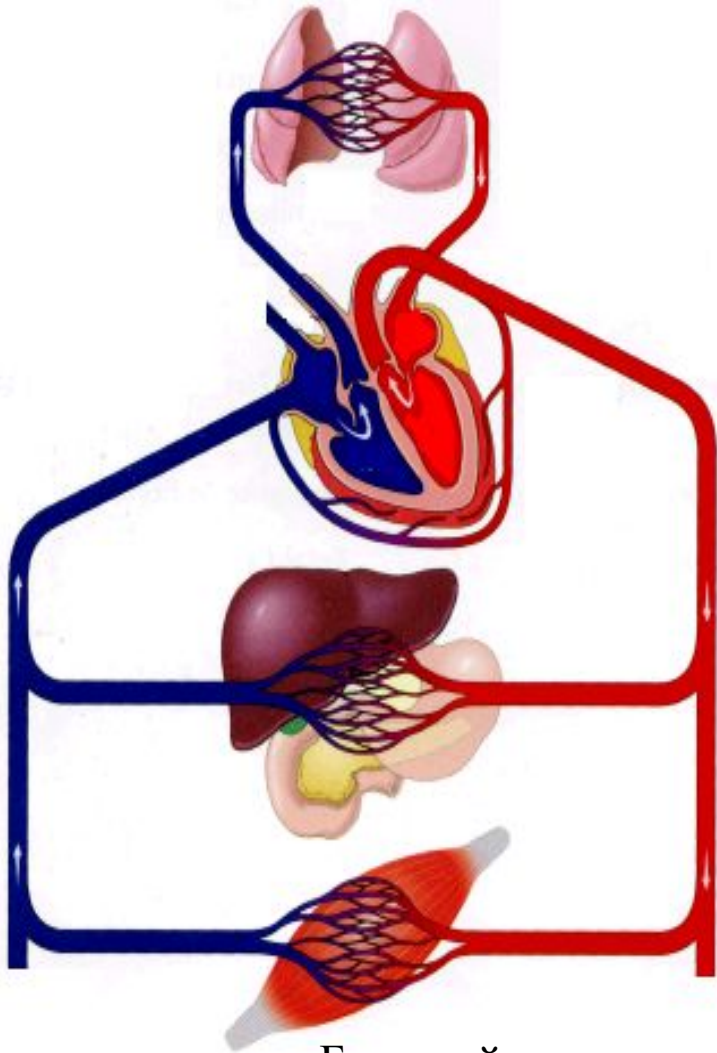
# СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

Лекция **1.**

НАСОСНАЯ ФУНКЦИЯ СЕРДЦА

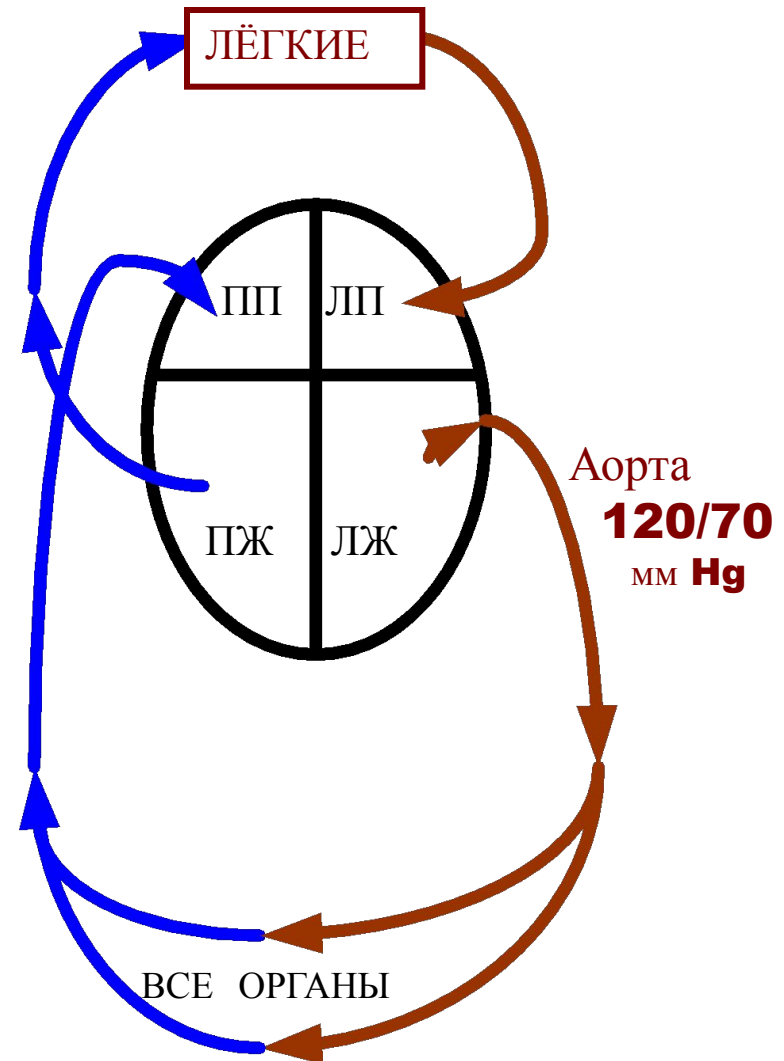
# БОЛЬШОЙ И МАЛЫЙ КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Малый круг кровообращения



Большой круг кровообращения

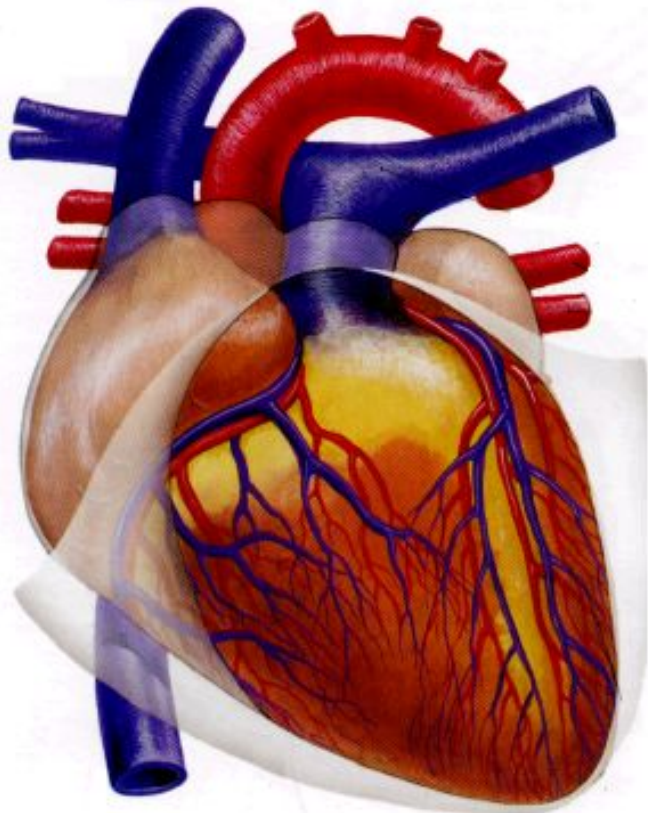
Лёгочная  
артерия  
**30/15**  
мм рт.ст.



# 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.

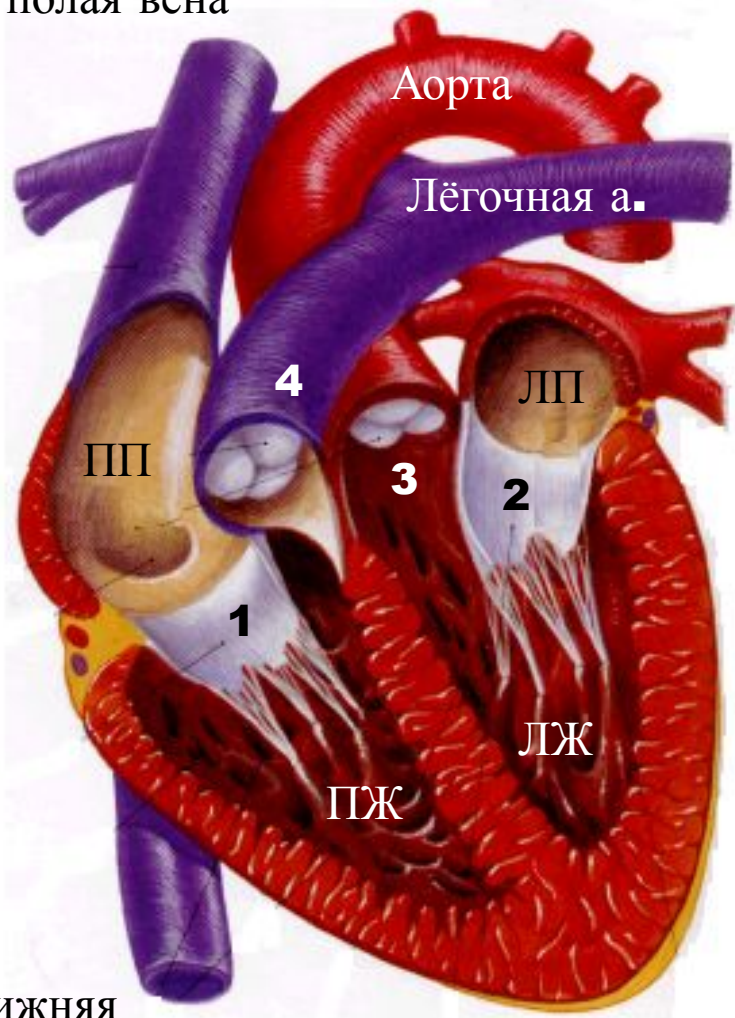
Аорта **120/70** мм рт.ст.

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)

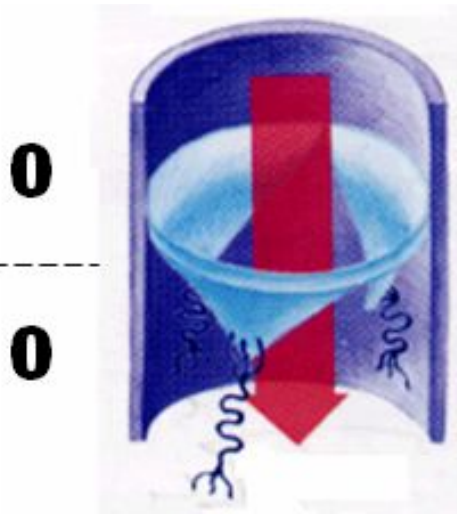
## ПОЛУЛУННЫЕ КЛАПАНЫ:

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

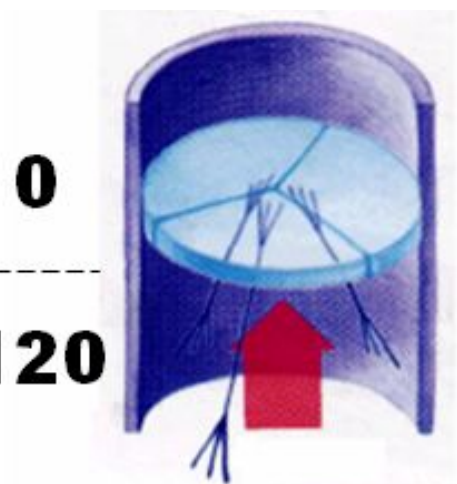


## КЛАПАН ОТКРЫТ

(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)

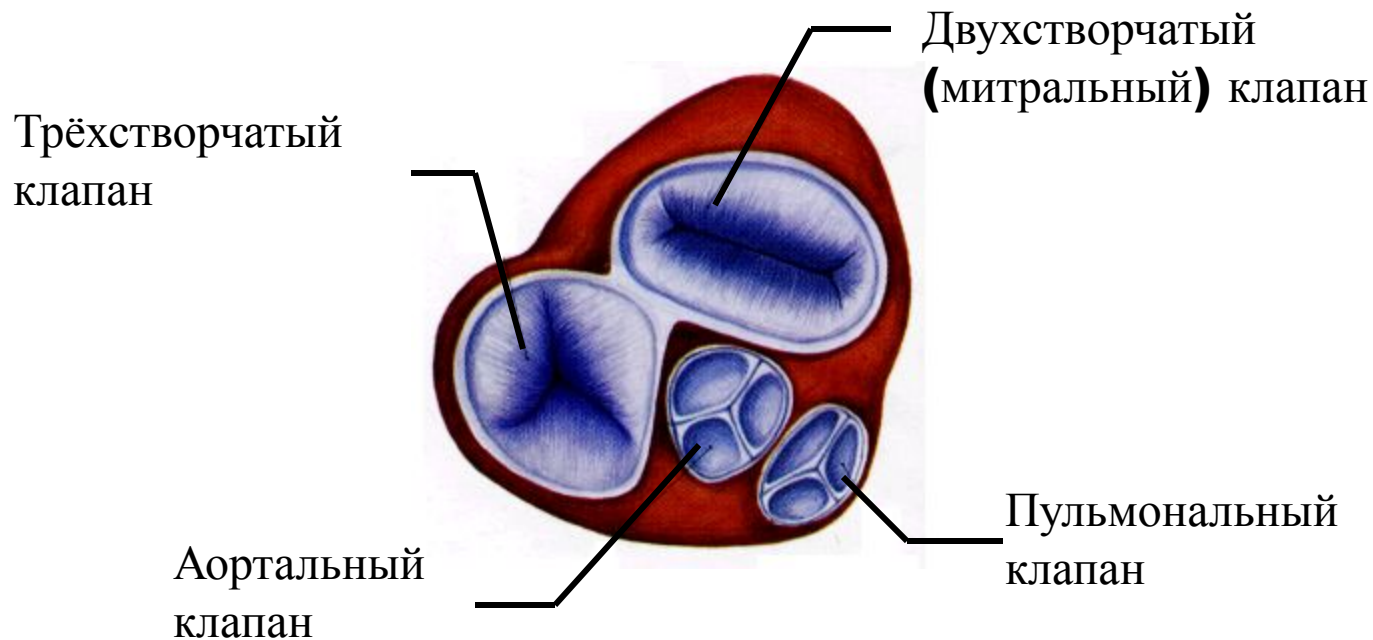


## КЛАПАН ЗАКРЫТ

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	Сис- тола				Общ а я		
Желудочки		Систола желудочков			п а у з а		
	<b>0,1</b> сек	<b>0,3</b> сек			<b>0,4</b> сек		



**1.** Систола предсердий

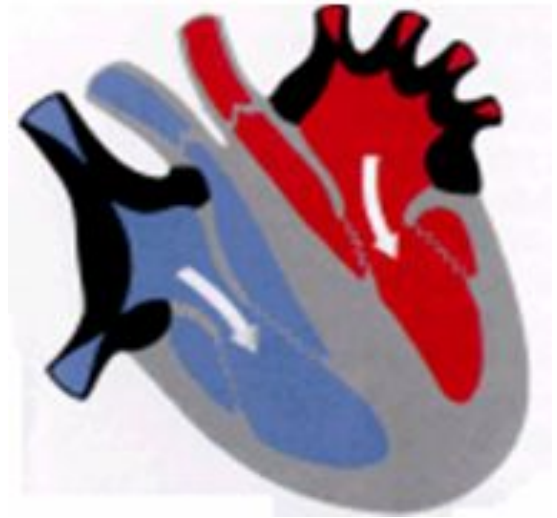


**2.** Систола желудочков



**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.



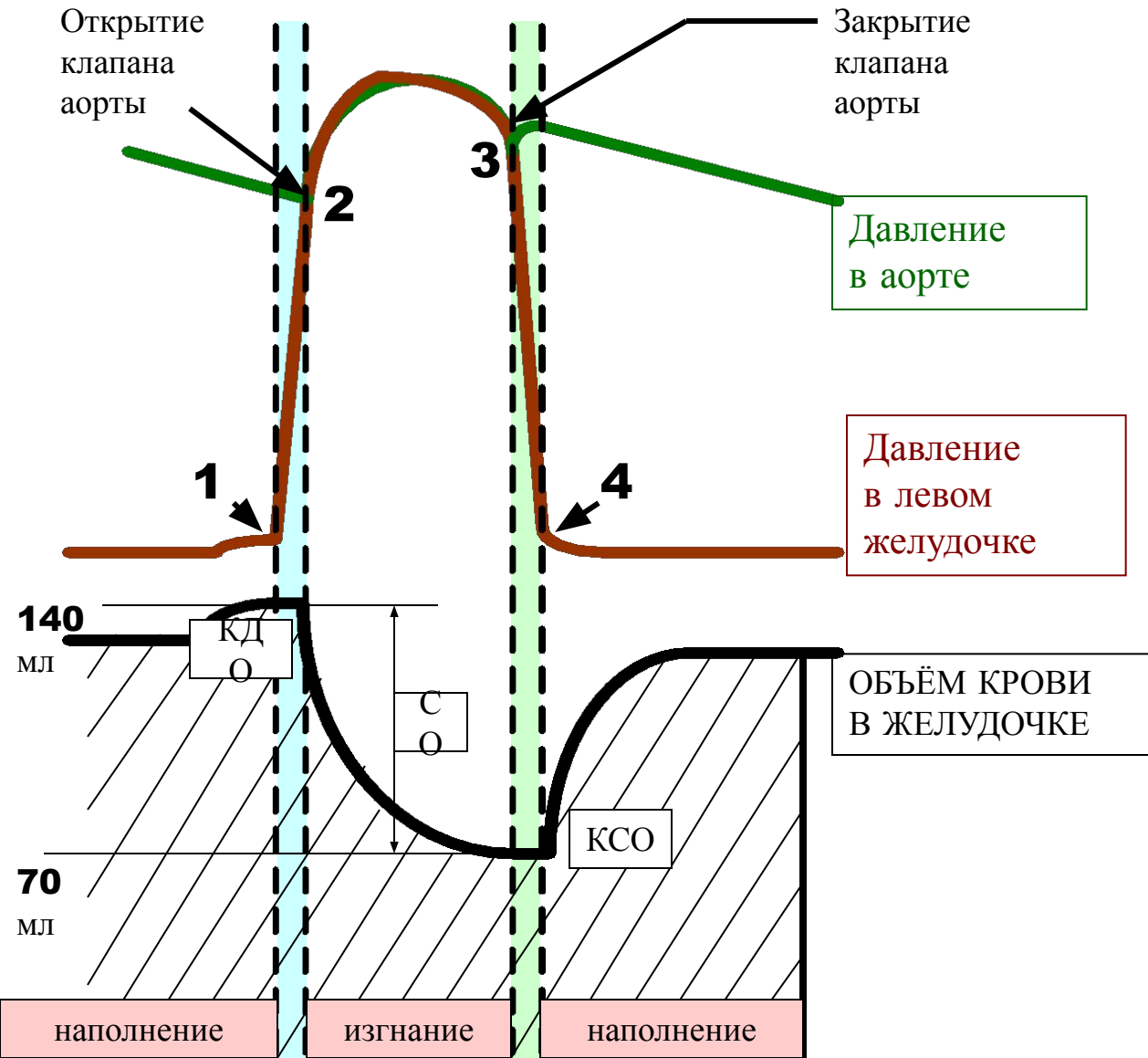
# ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЁМА КРОВИ В ЖЕЛУДОЧКАХ ВО ВРЕМЯ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

- **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

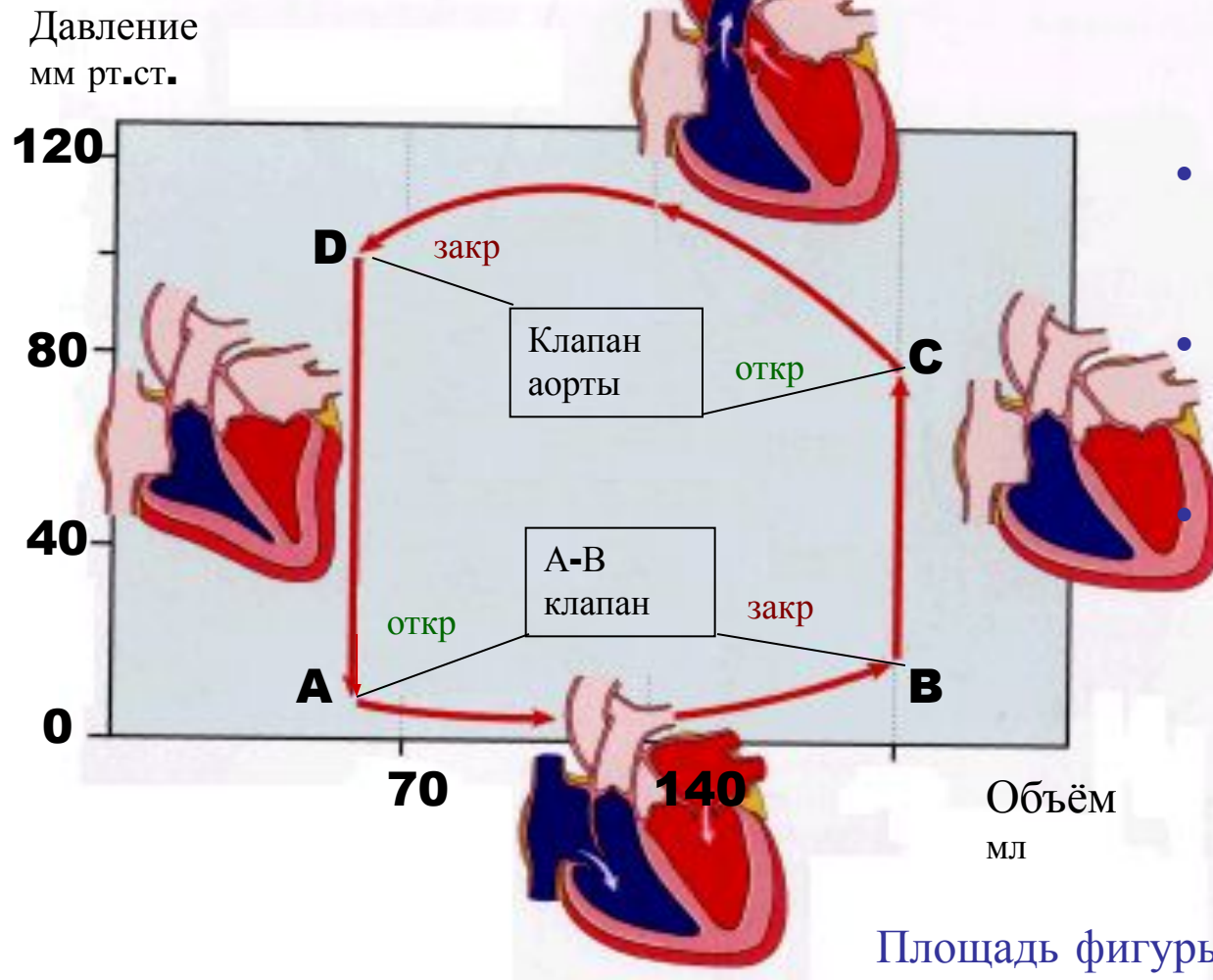
**3 – 4**

Фаза изометрического расслабления

**4 – до следующего 1**

Период наполнения

# РАБОТА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА КРИВАЯ «ДАВЛЕНИЕ – ОБЪЁМ»



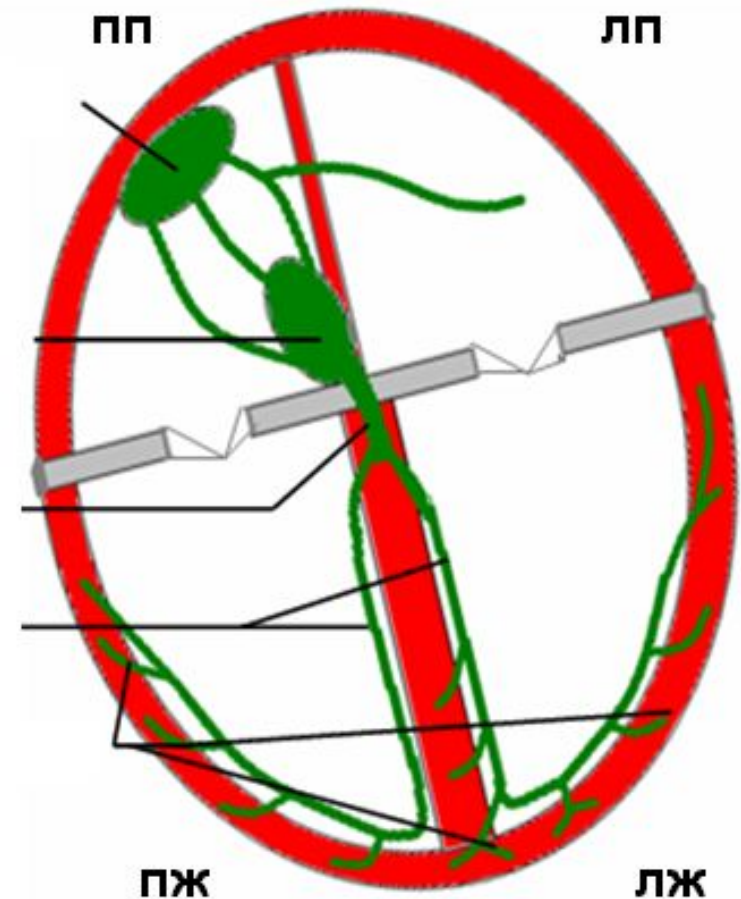
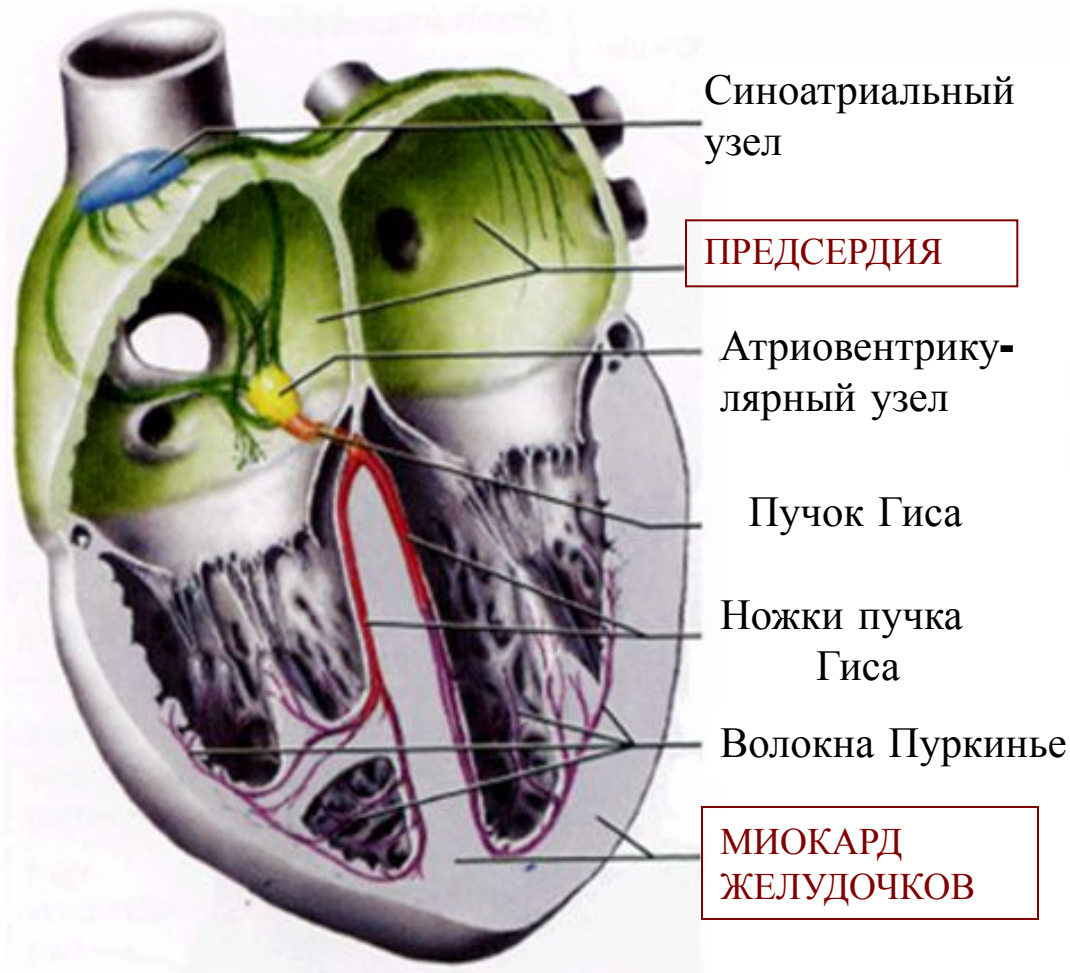
- **AB** – наполнение желудочка кровью (давление низкое, объём увеличивается до **140** мл (КДО)).
- **BC** – фаза изометри-ческого сокращения (объём постоянный, давление растёт).
- **CD** – изгнание крови в аорту (объём желудочка уменьшается, давление высокое).
- **DA** – фаза изометри-ческого расслабления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

Площадь фигуры **ABCD** отражает работу левого желудочка

## Два типа мышечной ткани в сердце:

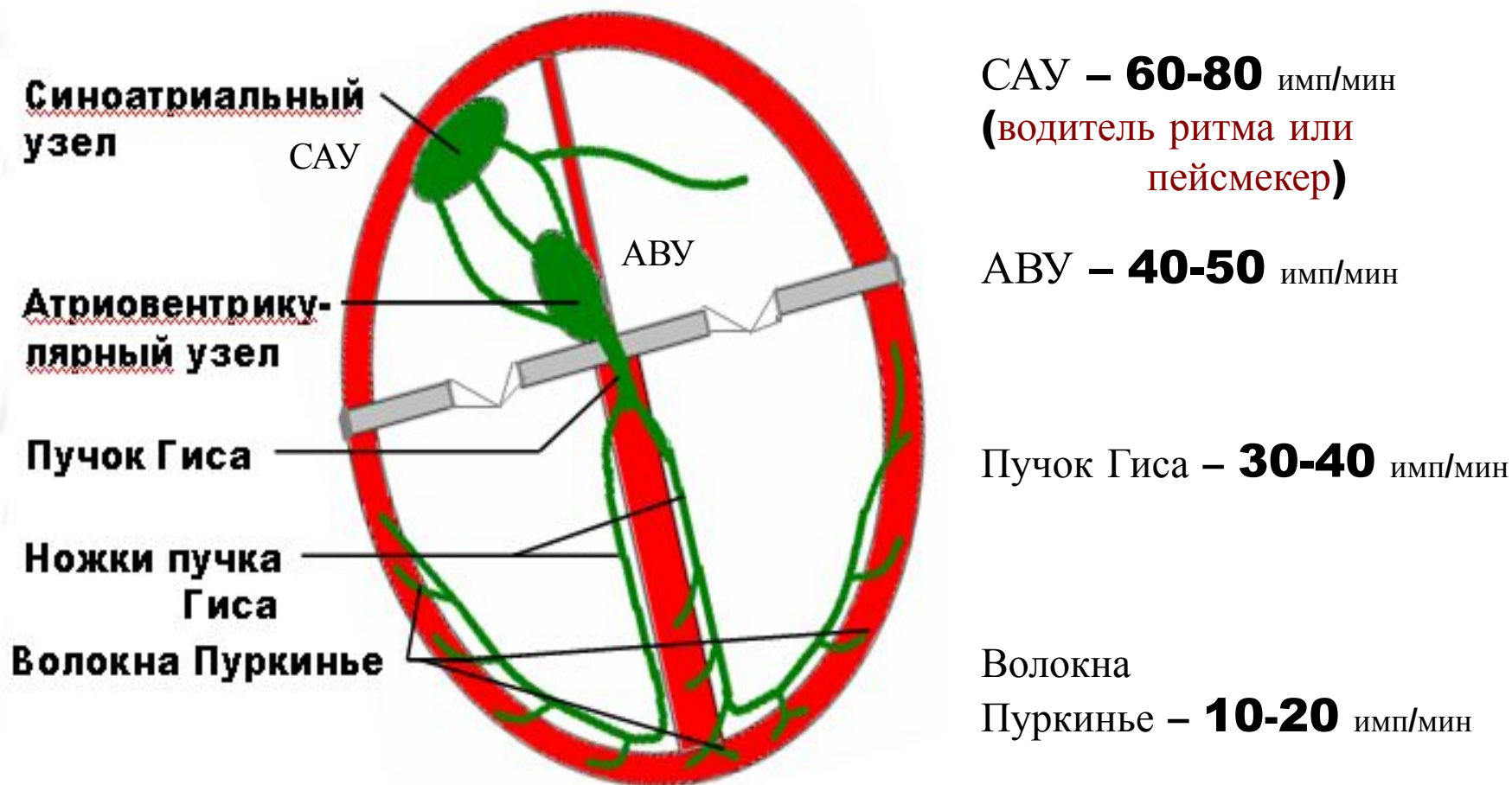
- Атипичические мышечные волокна, из которых состоит проводящая система сердца.  
(Эти волокна сохраняют свойства эмбриональной ткани сердца, в частности, устойчивость к гипоксии и способность к автоматии.)
- Рабочий (сократительный) миокард
  - миокард предсердий
  - миокард желудочков

# ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА

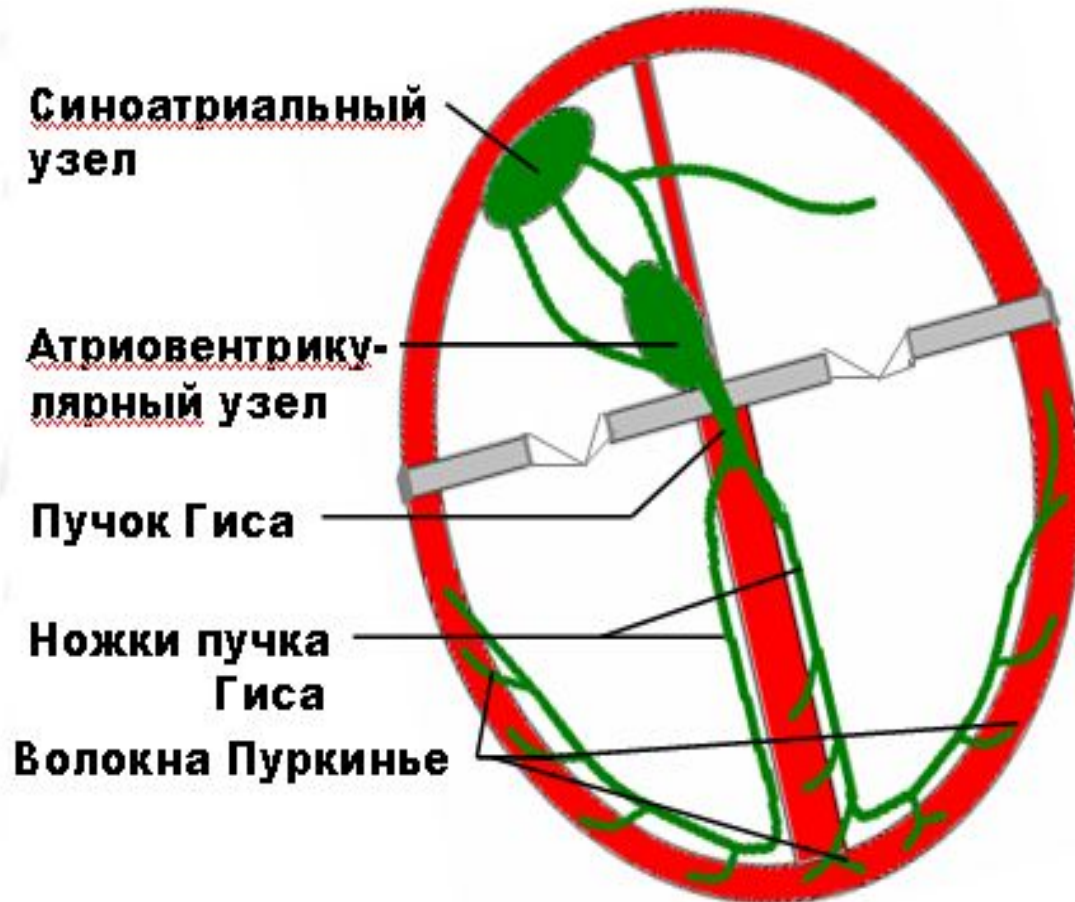


**АВТОМАТИЯ** – способность клеток проводящей системы сердца генерировать импульсы самостоятельно, без внешних воздействий.

**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**

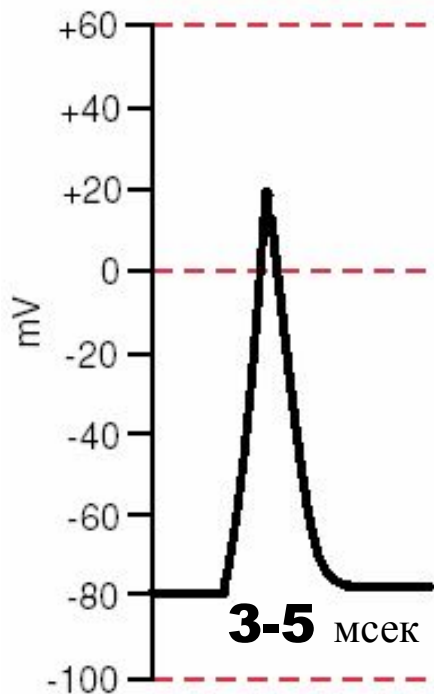
Для одновременного возбуждения и сокращения обоих желудочков

# ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА

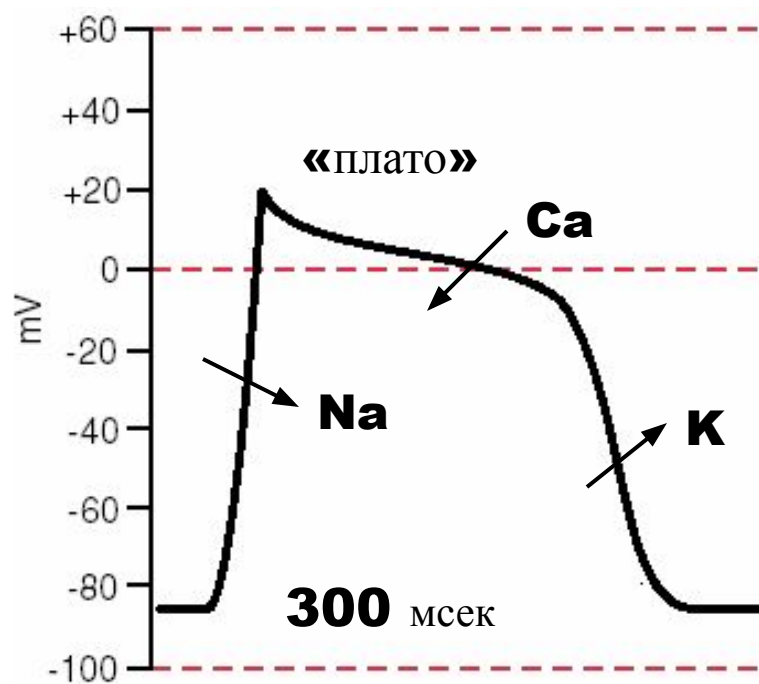


# 1. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ (ПД)

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



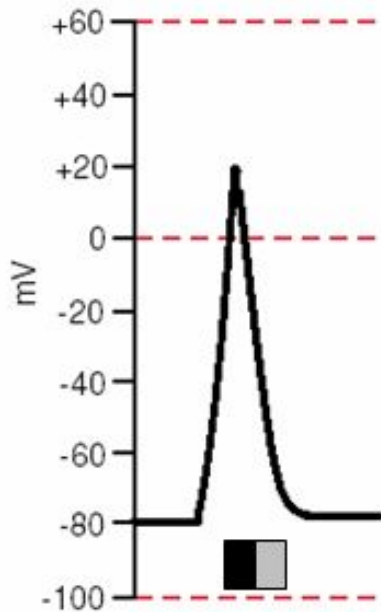
Скелетная мышца



Сердечная мышца

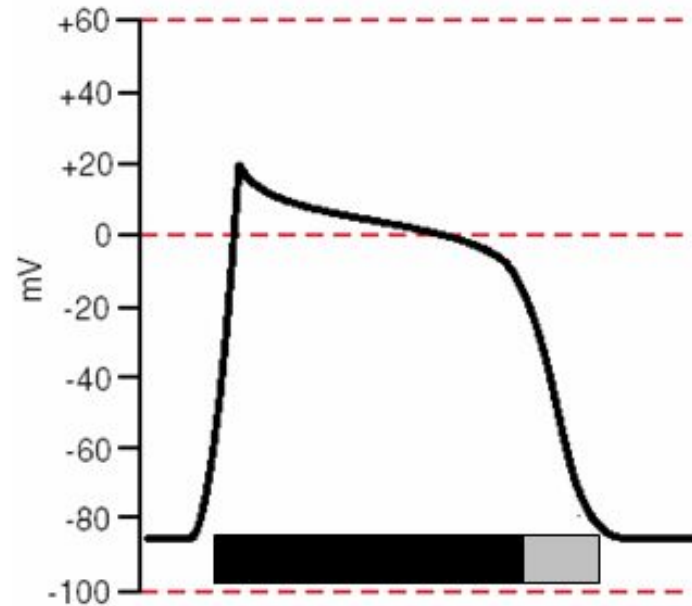
## 2. ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТЕРНЫЙ ПЕРИОД

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



**3-5 мсек**

**Скелетная мышца**



**300 мсек**

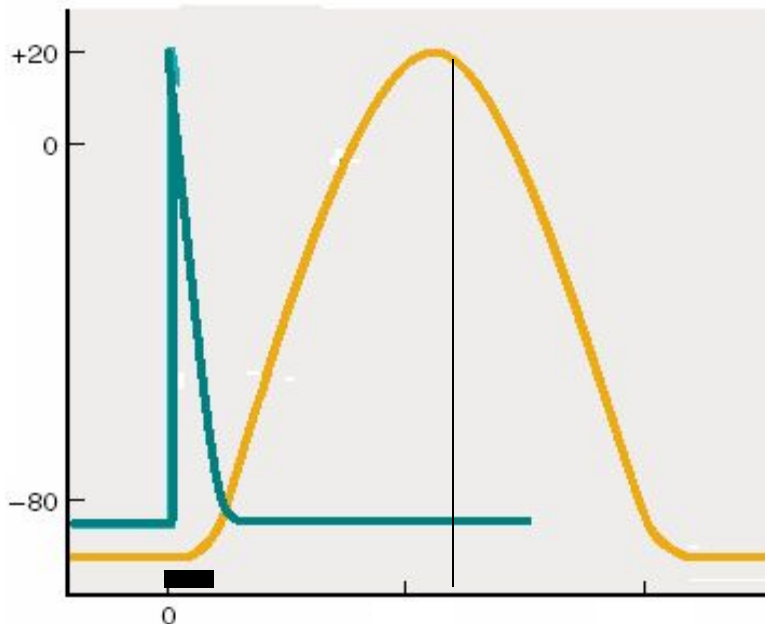
**Сердечная мышца**

### 3. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА СОКРАЩЕНИЯ

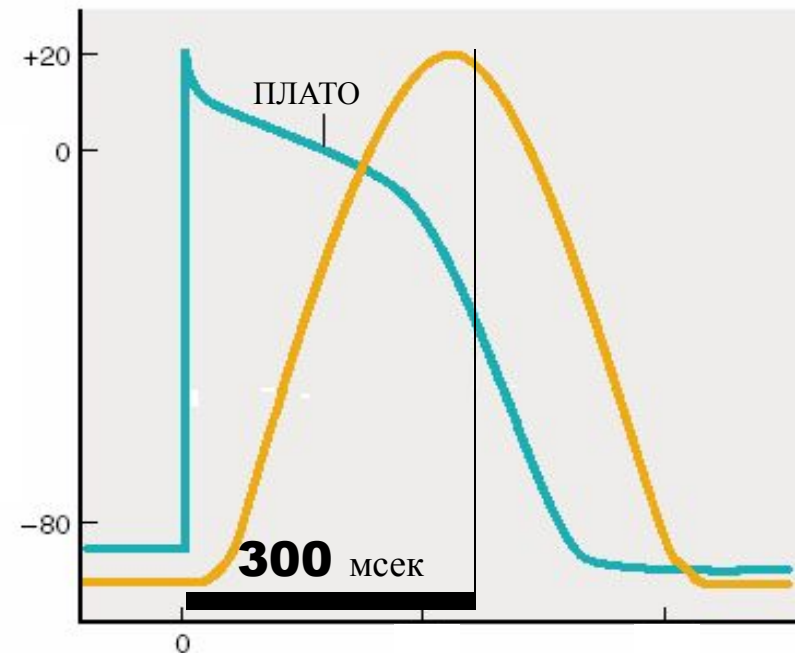
СЕРДЕЧНАЯ МЫШЦА СОКРАЩАЕТСЯ ТОЛЬКО В РЕЖИМЕ ОДИНОЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ. ТЕТАНУС НЕВОЗМОЖЕН.

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.

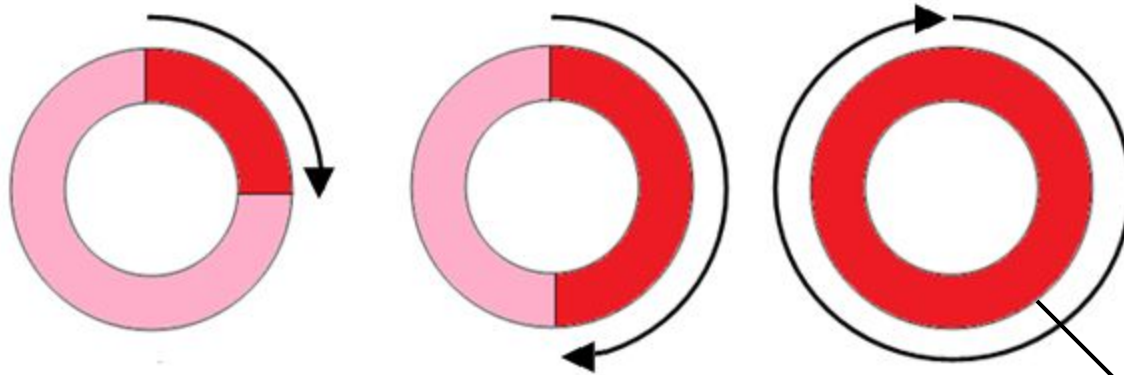
К нарушению ведёт (а) удлинении пути (дилатация сердца);

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

(в) укорочение рефрактерного периода

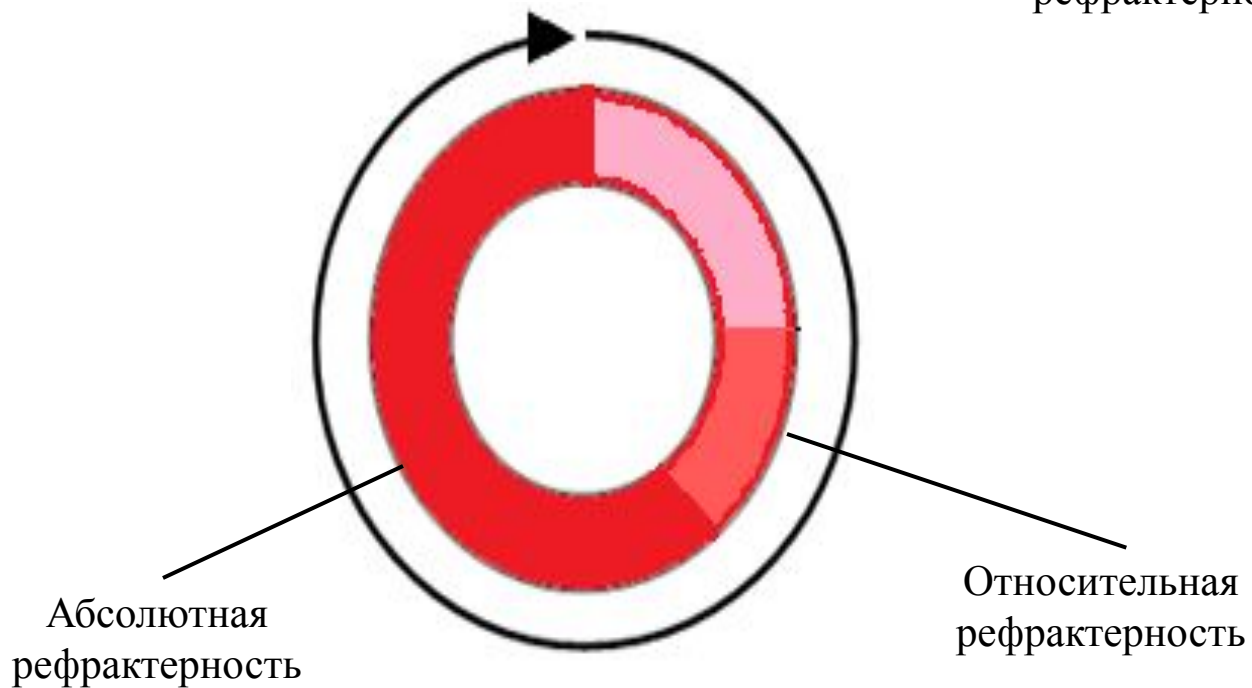
(при ранней экстрасистоле или при действии на сердце переменного тока **50 Гц**).

НОРМАЛЬНЫЙ  
ПУТЬ



Абсолютная  
рефрактерность

ДЛИННЫЙ  
ПУТЬ



Абсолютная  
рефрактерность

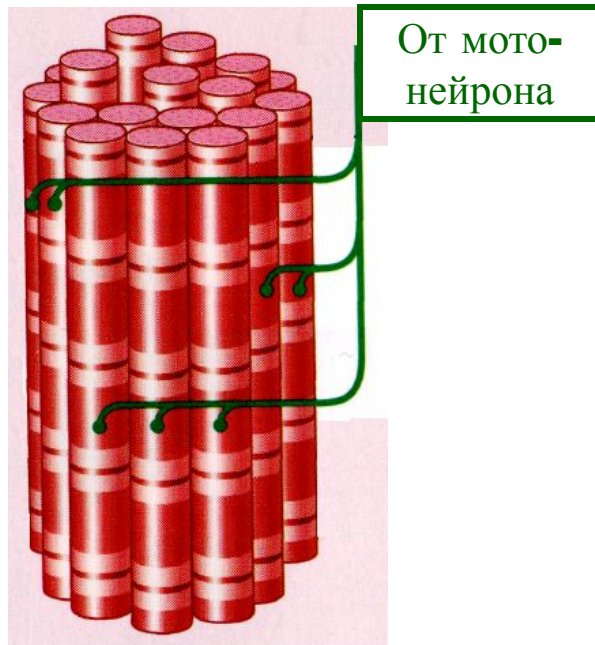
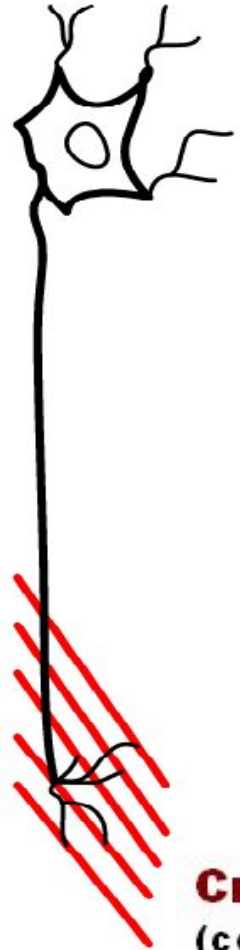
Относительная  
рефрактерность

## 4. ОСОБЕННОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСА

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

Все клетки возбуждаются и сокращаются одновременно.

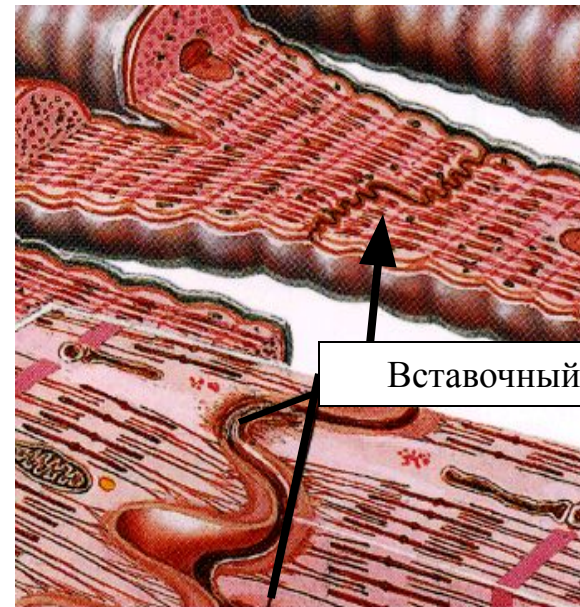
Состоящий из отдельных клеток, миокард функционирует как единое целое.



### **Скелетная мышца**

(сокращаются только те волокна, которые получили нервный импульс)

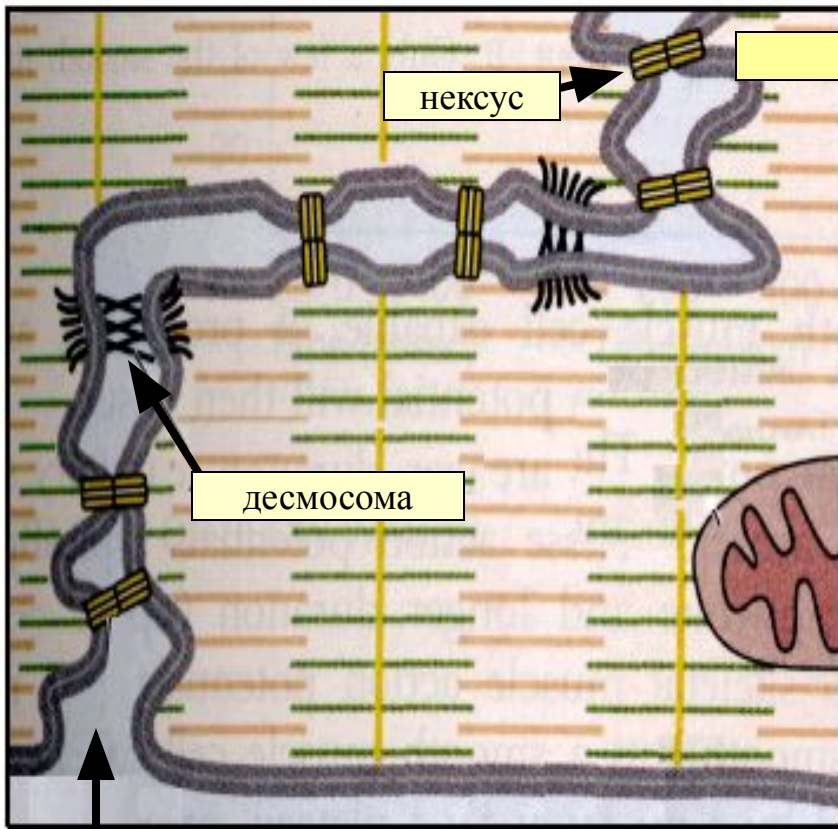
### **МИОКАРД – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИНЦИТИЙ**



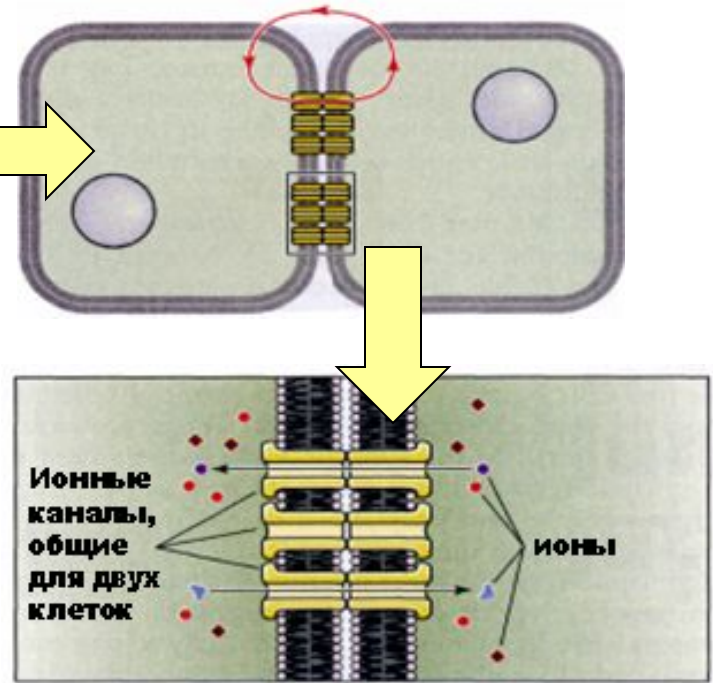
### **Сердечная мышца**

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

# ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК: ДЕСМОСОМА И НЕКСУС



ВСТАВОЧНЫЙ ДИСК  
(между соседними миоцитами)



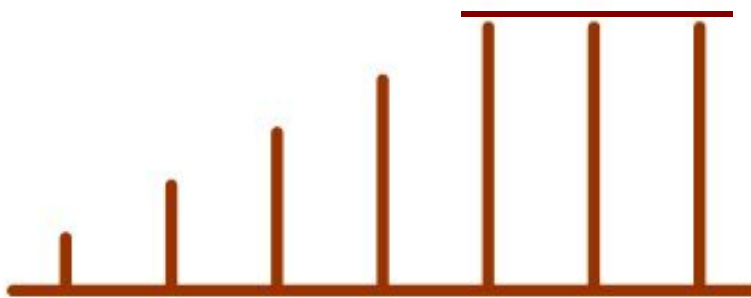
**НЕКСУС – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИНАПС**

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»

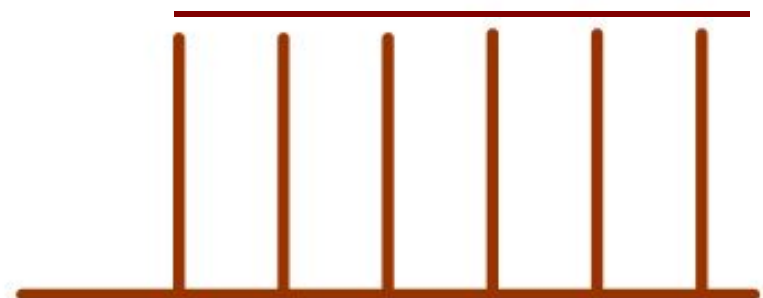


**Сила сокращения**



**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

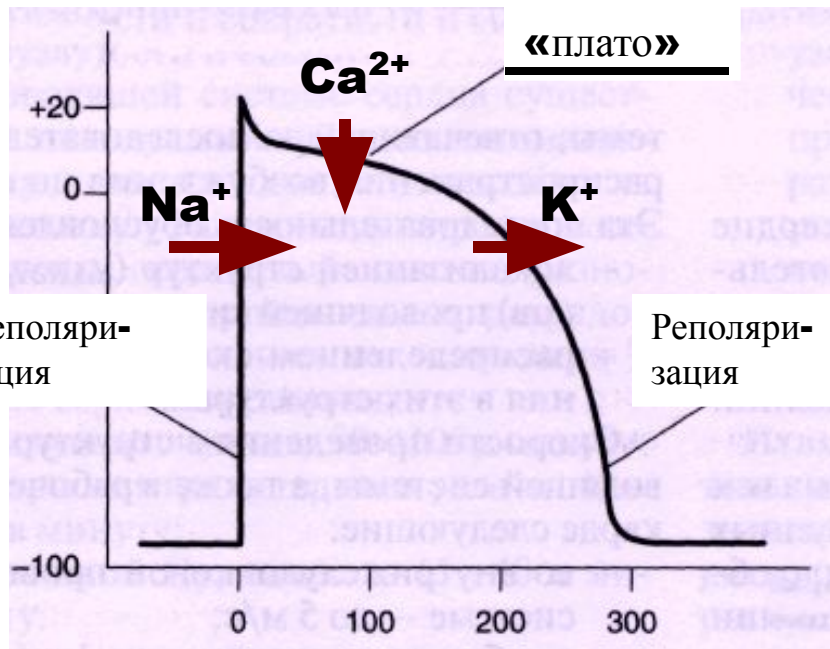
(а) ни за счёт временной суммации (тетанус),  
(б) ни за счёт пространственной суммации (вовлечение новых моторных единиц в сократительный процесс).

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



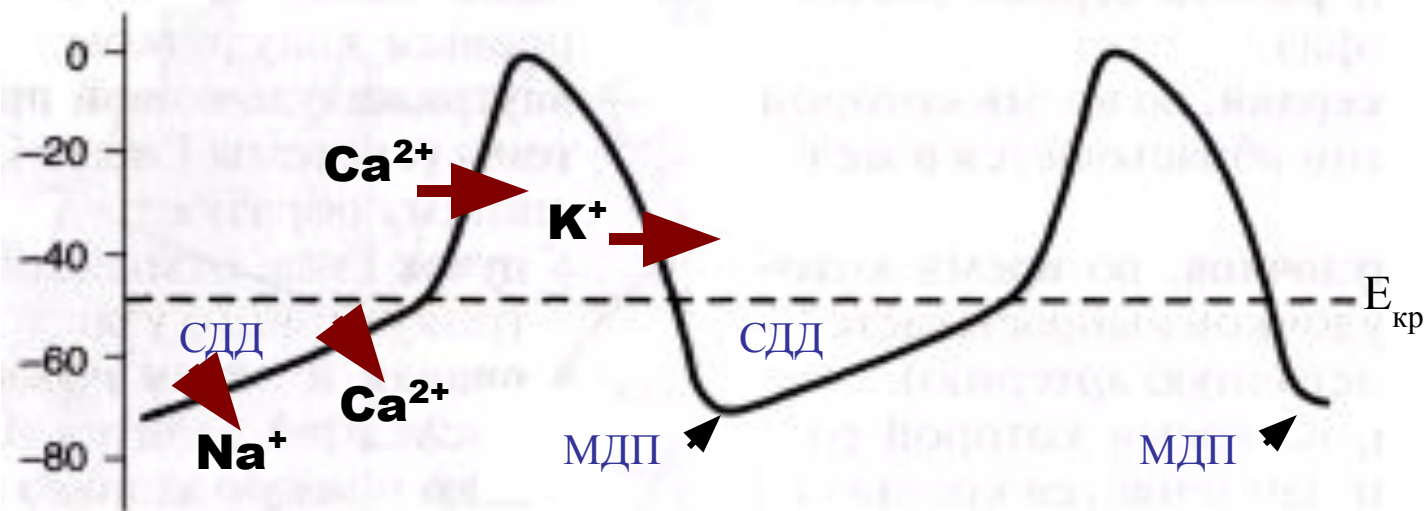
- Потенциал покоя = **-90 мВ**

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

- Потенциал действия:

1. Деполяризация за счёт входа **Na<sup>+</sup>** в клетку  
(активированы быстрые натриевые каналы)
2. Фаза «плато» за счёт входа **Ca<sup>2+</sup>** в клетку  
(активированы медленные кальциевые каналы)
3. Реполяризация за счёт выхода **K<sup>+</sup>** из клетки  
(активированы медленные калиевые каналы)

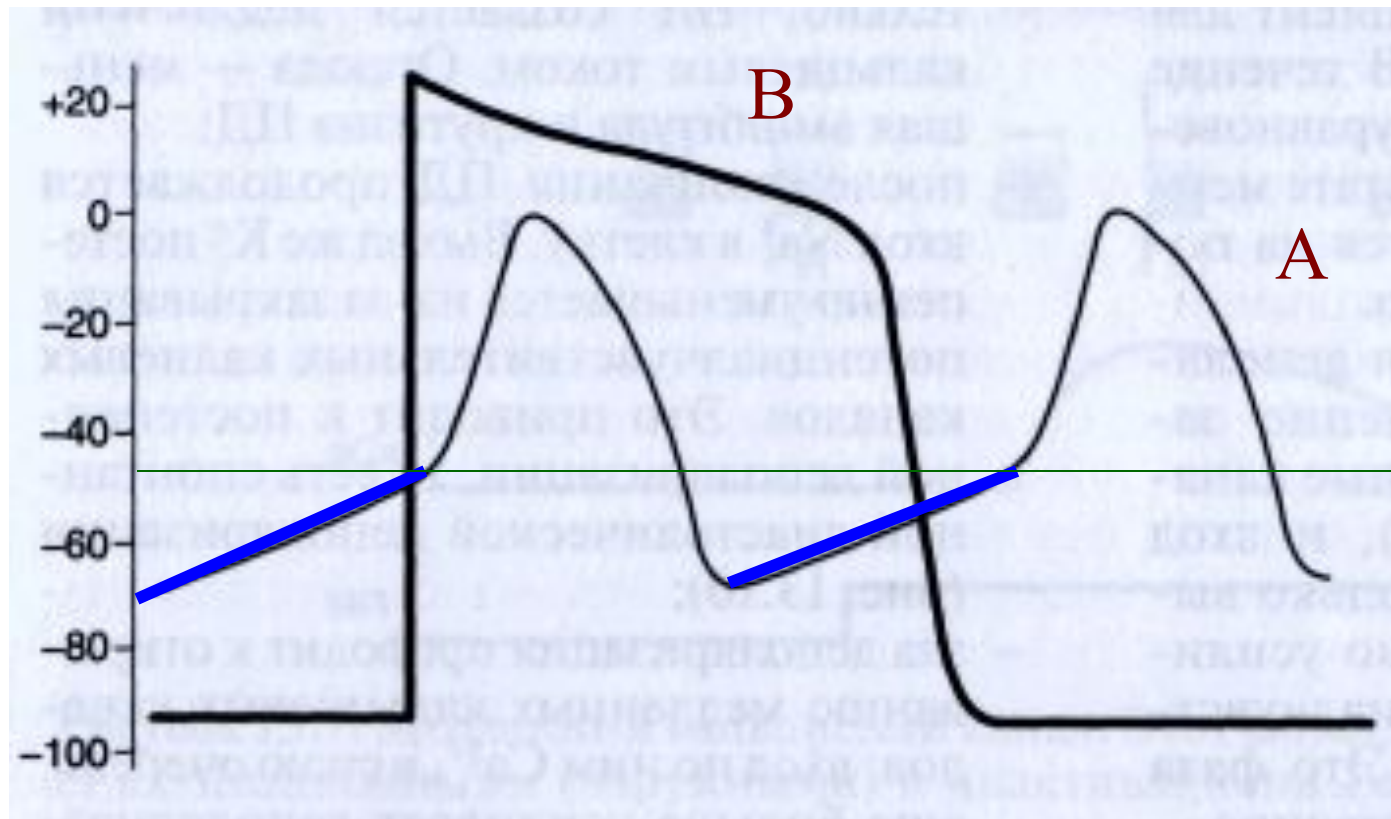
# МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕЙСМЕКЕРНОЙ КЛЕТКИ



- Мембрана клетки имеет высокую проницаемость для ионов **Na<sup>+</sup>** и низкую проницаемость для ионов **K<sup>+</sup>**.  
Поэтому **МДП (максимальный диастолический потенциал) = - 70 мВ.**
- За счёт диффузии **Na<sup>+</sup>** в клетку происходит **СДД (спонтанная диастолическая деполяризация)**.
- Начинают открываться медленные потенциалчувствительные Ca-каналы. Появляется входящий Ca-ток.
- Когда деполяризация достигает до критического уровня (**E<sub>кр</sub>**), возникает **ПД** за счёт входа в клетку ионов **Ca<sup>2+</sup>**
- Реполяризацию вызывает выходящий калиевый ток.

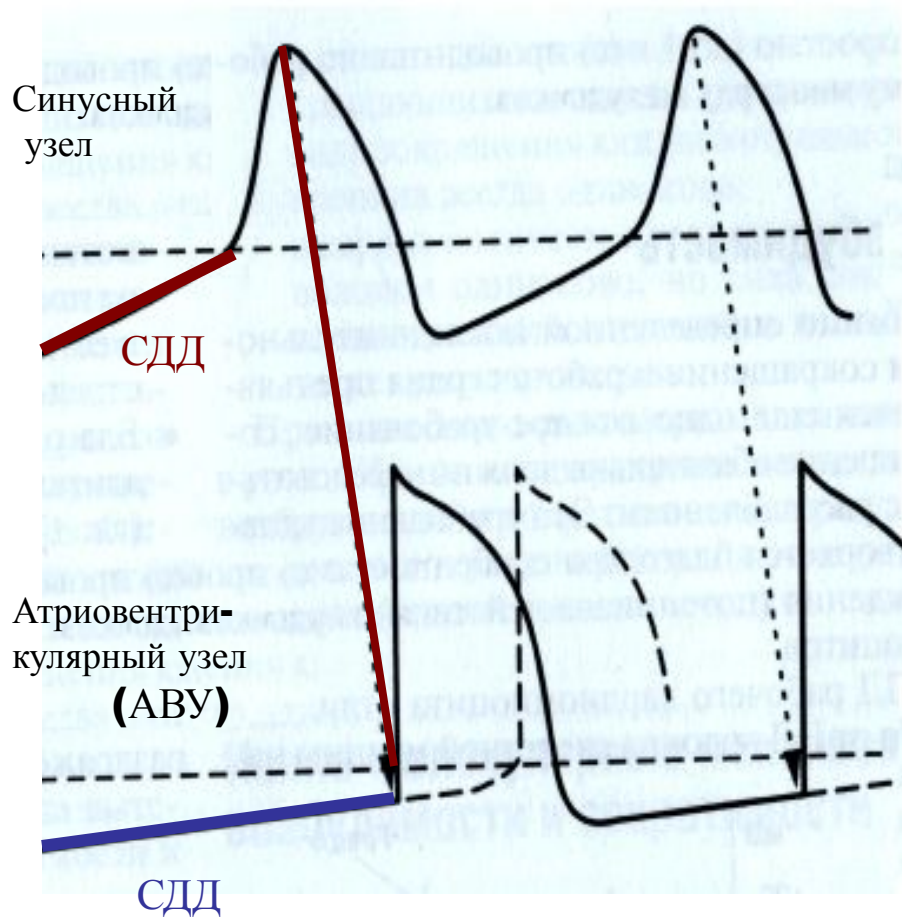
А – потенциал действия клетки  
синусного узла

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  $E_{кр}$ .

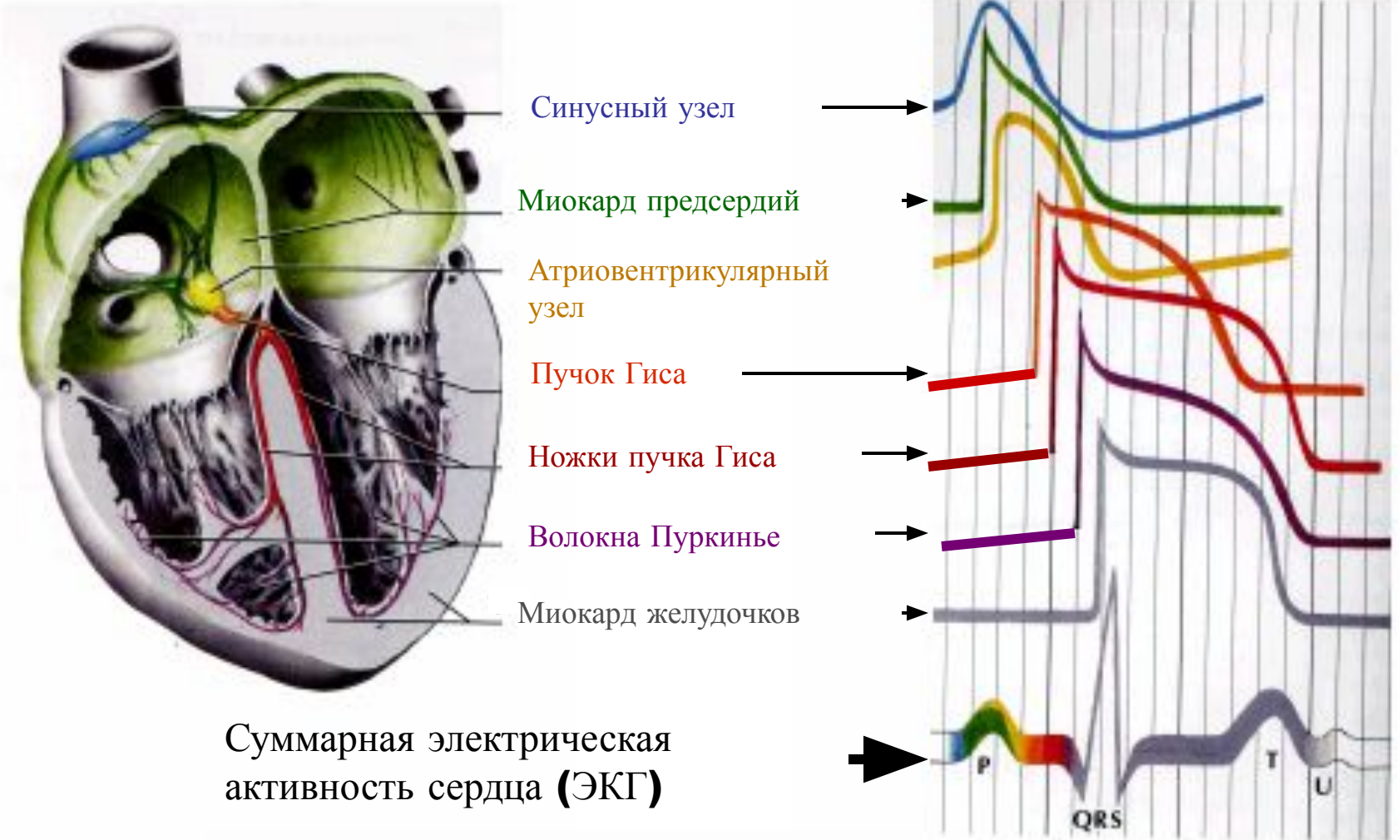
Поэтому автоматия АВУ в норме не проявляется.

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