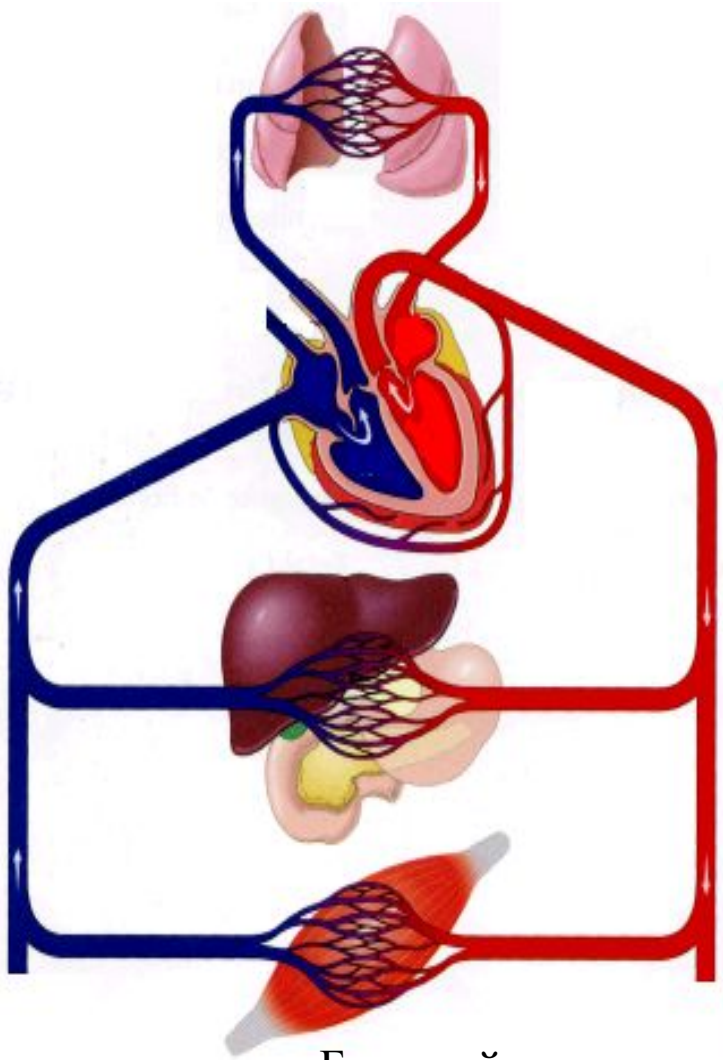
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

Лекция **1.**

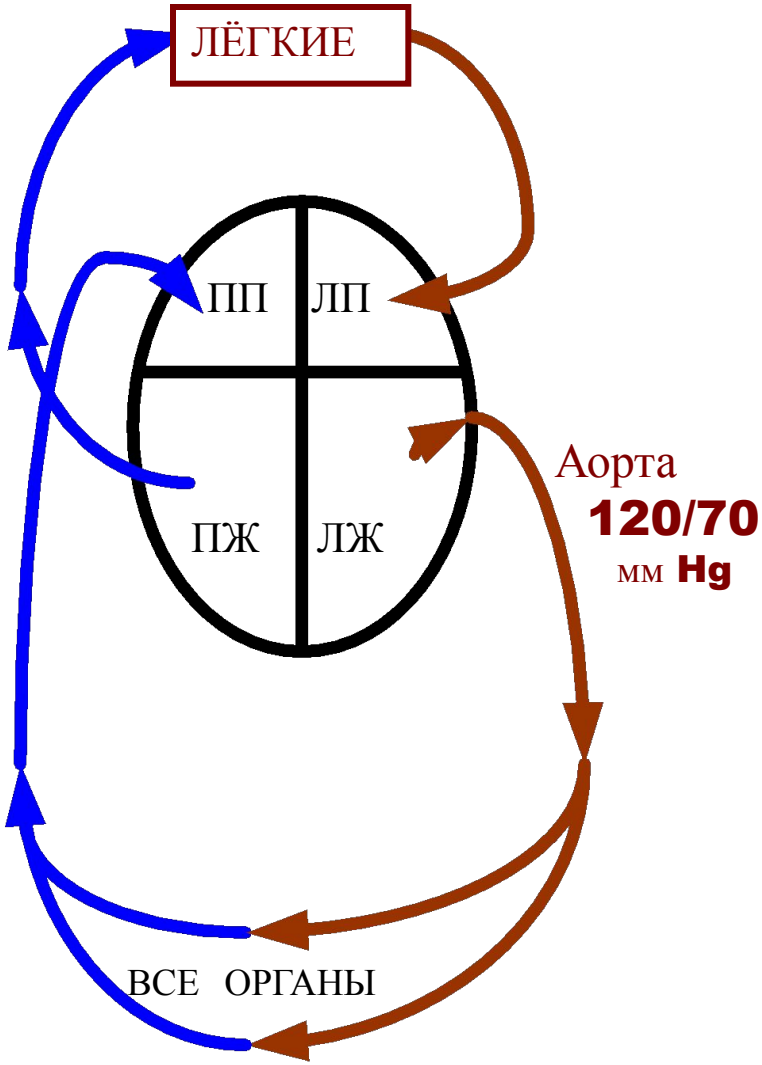
НАСОСНАЯ ФУНКЦИЯ СЕРДЦА

БОЛЬШОЙ И МАЛЫЙ КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Малый круг кровообращения



Лёгочная артерия **30/15** мм рт.ст.

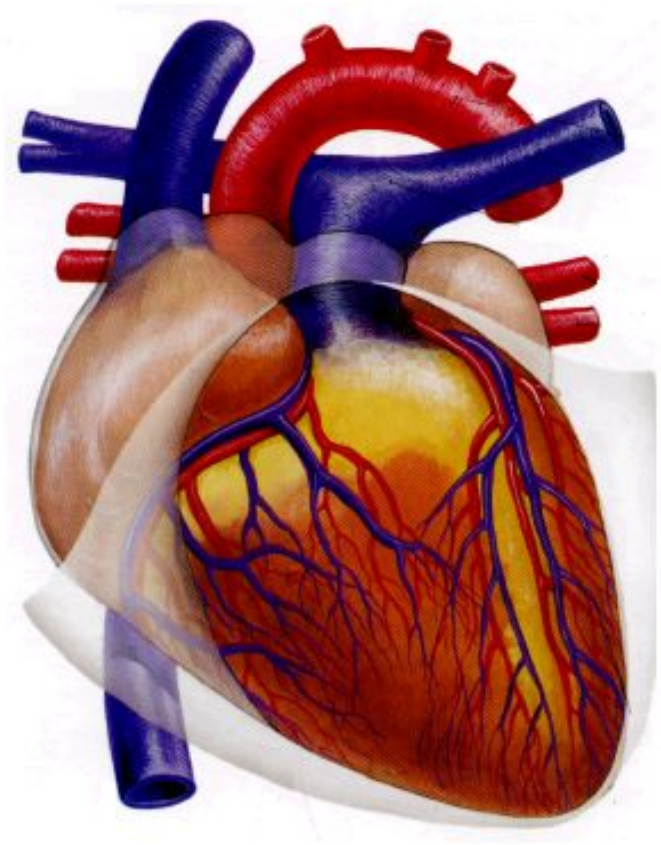


Большой круг кровообращения

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**:**

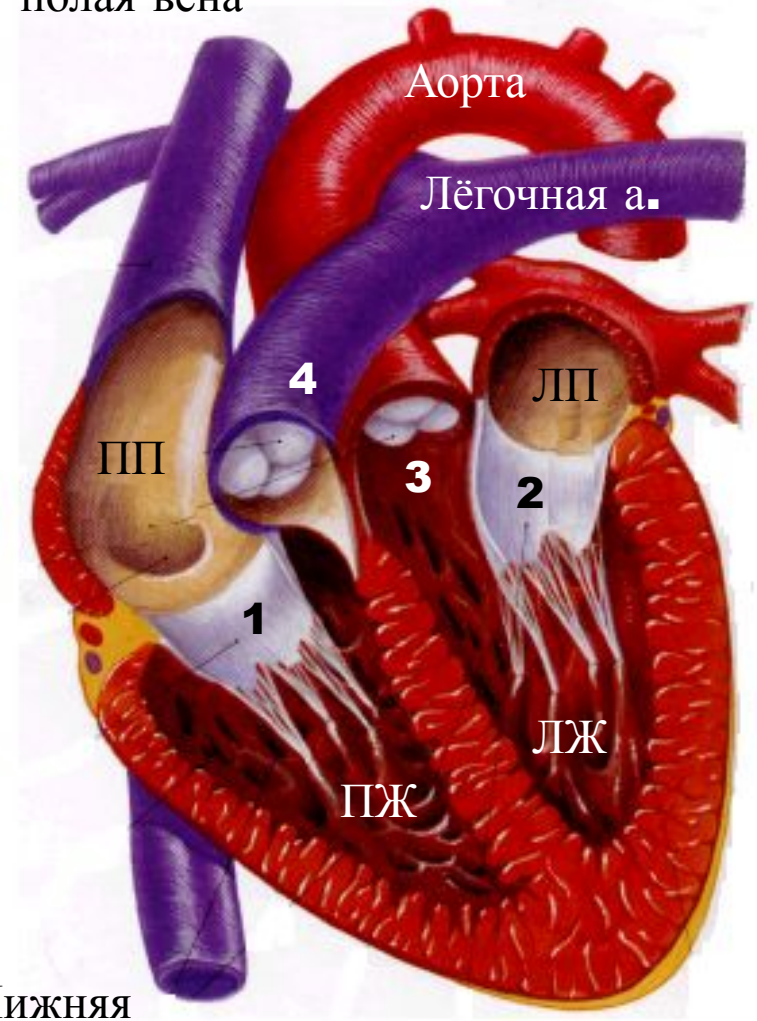
Аорта **120/70** мм рт.ст.

Лёгочная артерия **30/15** мм рт.ст.

Полые вены, Лёгочные вены **0** 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)

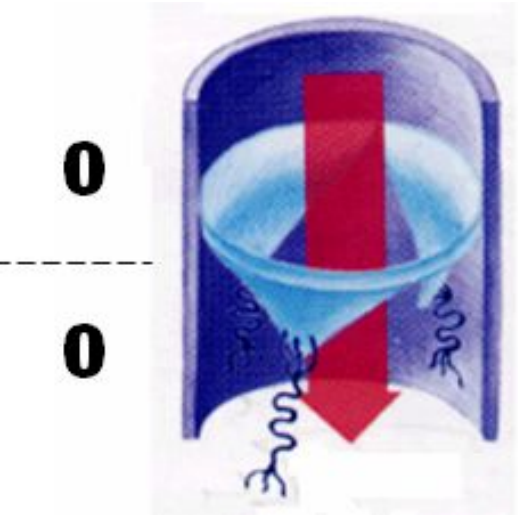
ПОЛУЛУННЫЕ КЛАПАНЫ:

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

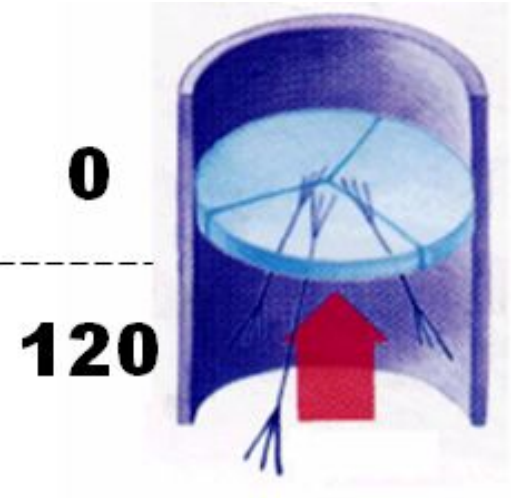


КЛАПАН ОТКРЫТ

(когда желудочки расслаблены**)**

КРОВЬ ИЗ ПРЕДСЕРДИЯ ПОСТУПАЕТ В ЖЕЛУДОЧЕК

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



Сухожильные нити натянуты

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.**)**

РАБОТА ПОЛУЛУННЫХ КЛАПАНОВ

КЛАПАН ОТКРЫТ

КРОВЬ ИЗ ЖЕЛУДОЧКА
ПОСТУПАЕТ В АРТЕРИЮ

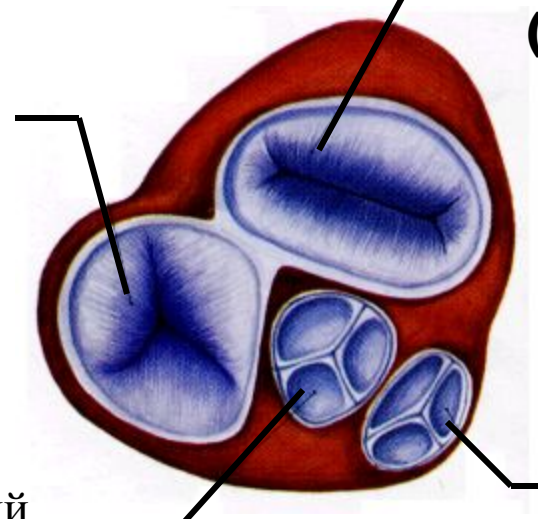
(давление в желудочке
выше**,** чем давление в артерии**)**

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,

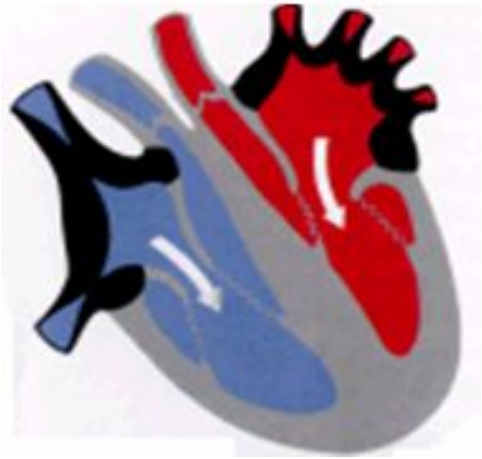
биохимических процессов,

которые происходят во время одного полного сокращения и расслабления сердца.

ТРИ ФАЗЫ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

Продолжительность цикла **0,8** сек

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

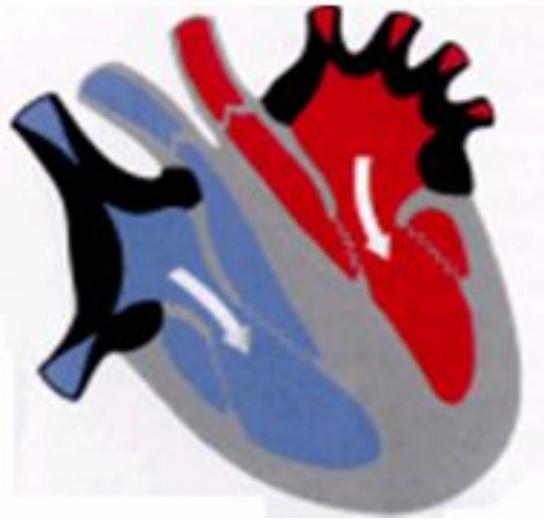


1. Систола предсердий

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
  - ФАЗА АСИНХРОННОГО СОКРАЩЕНИЯ
  - ФАЗА ИЗОМЕТРИЧЕСКОГО СОКРАЩЕНИЯ
- ПЕРИОД ИЗГНАНИЯ
  - 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.

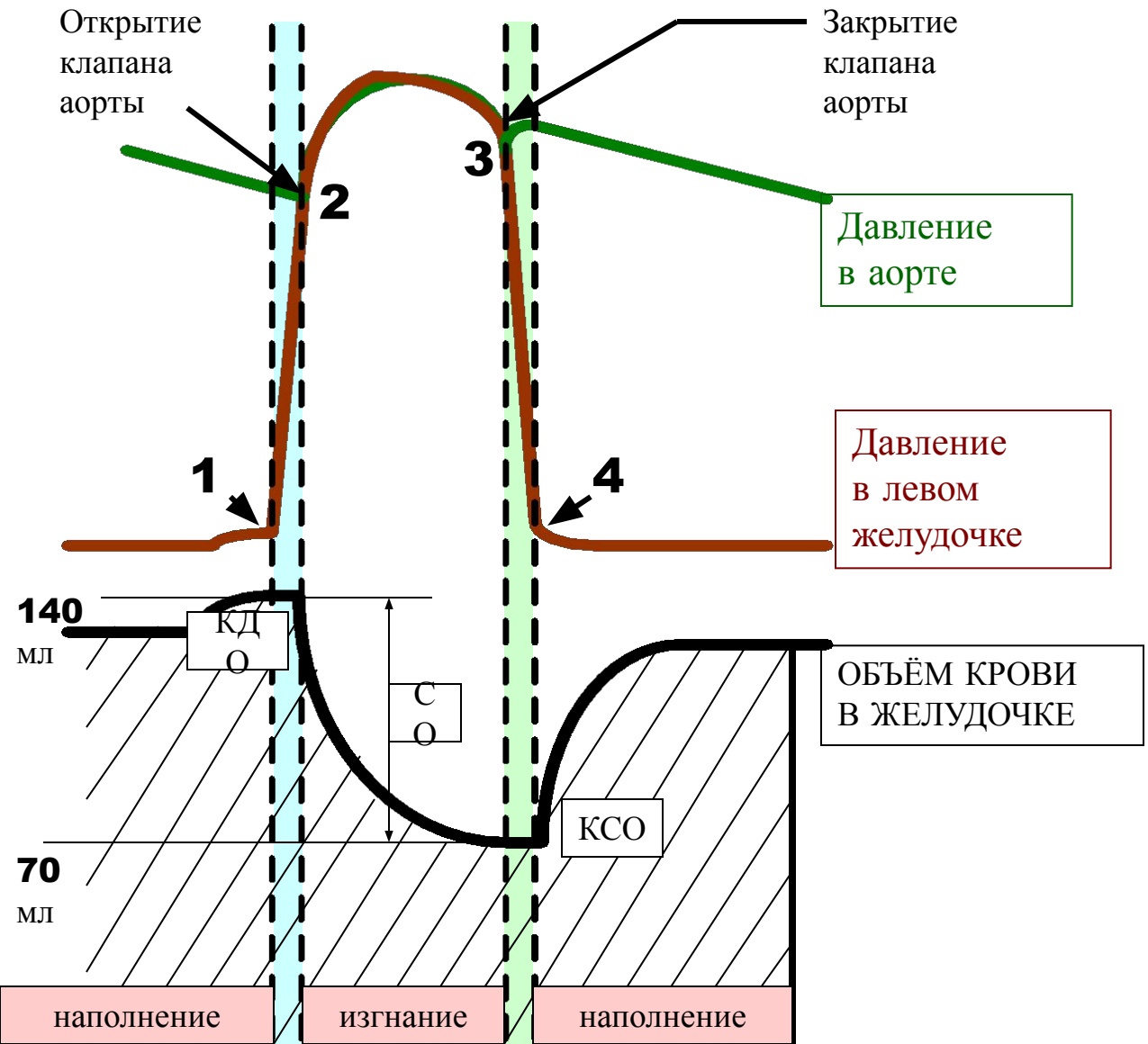
ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЁМА КРОВИ В ЖЕЛУДОЧКАХ ВО ВРЕМЯ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА

- 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-диастоли-ческому объёму:

ФВ = СО : КДО = **70 : 140 = 0,5** (или **50%**)

В норме ФВ = **50 – 70%**

Изменение давления и объёма крови в левом желудочке



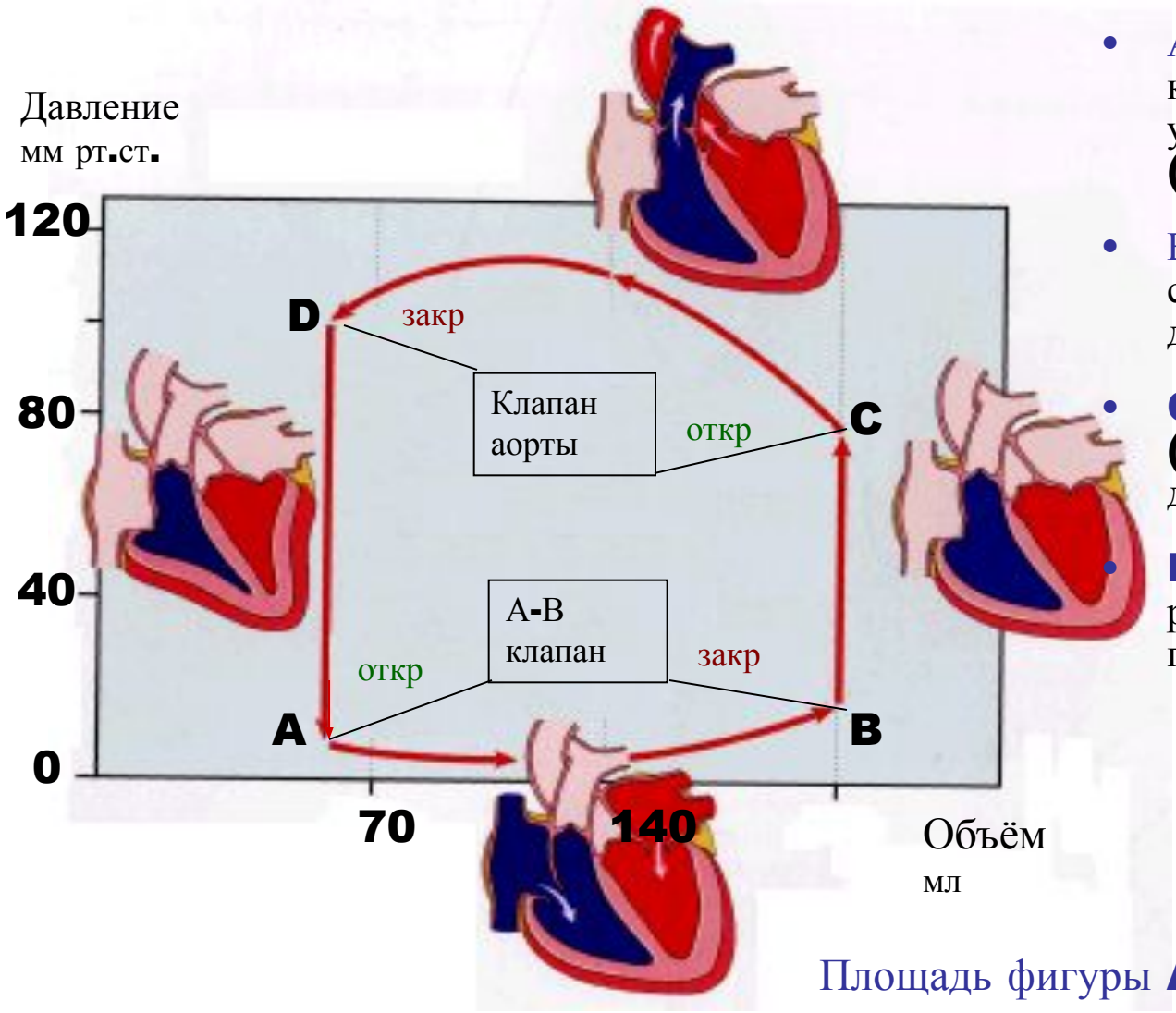
1 – 2
Фаза изометрического сокращения

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

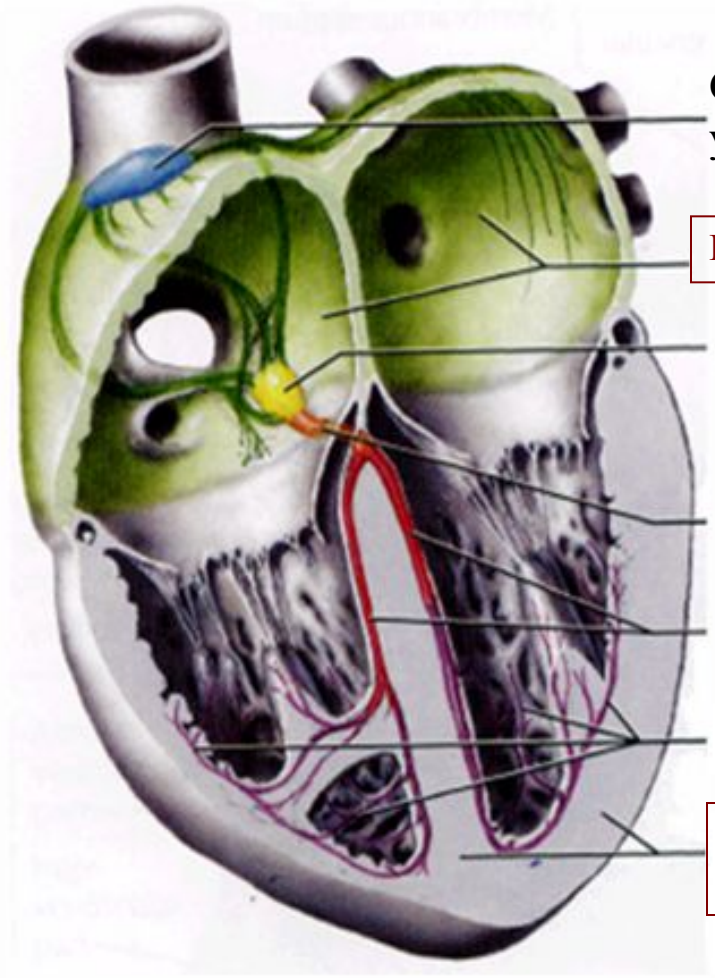
Два типа мышечной ткани в сердце:

- 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



Синоатриальный узел

ПРЕДСЕРДИЯ

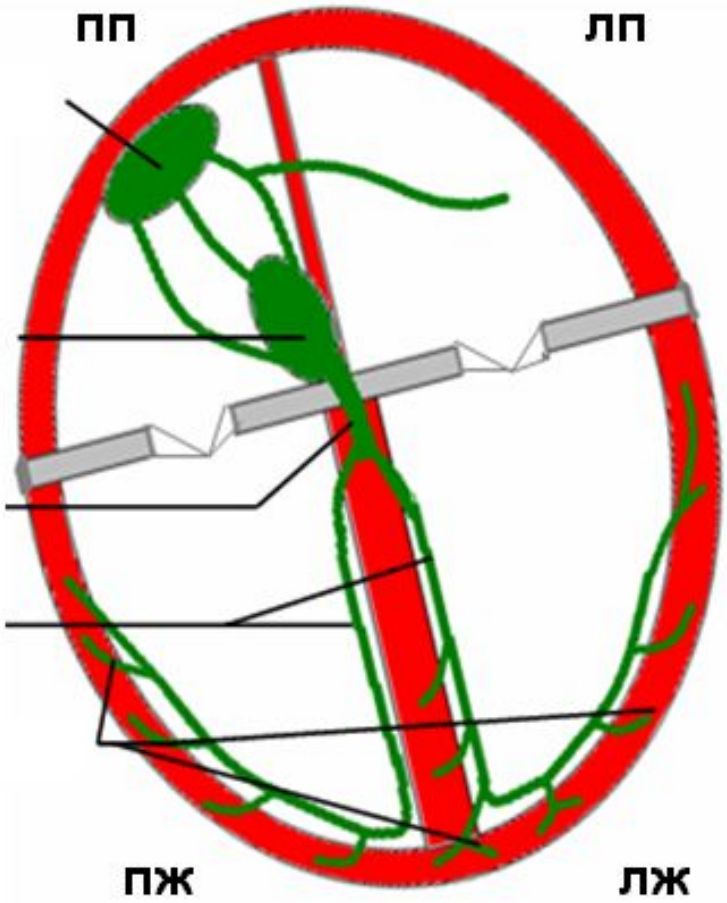
Атриовентрику-лярный узел

Пучок Гиса

Ножки пучка Гиса

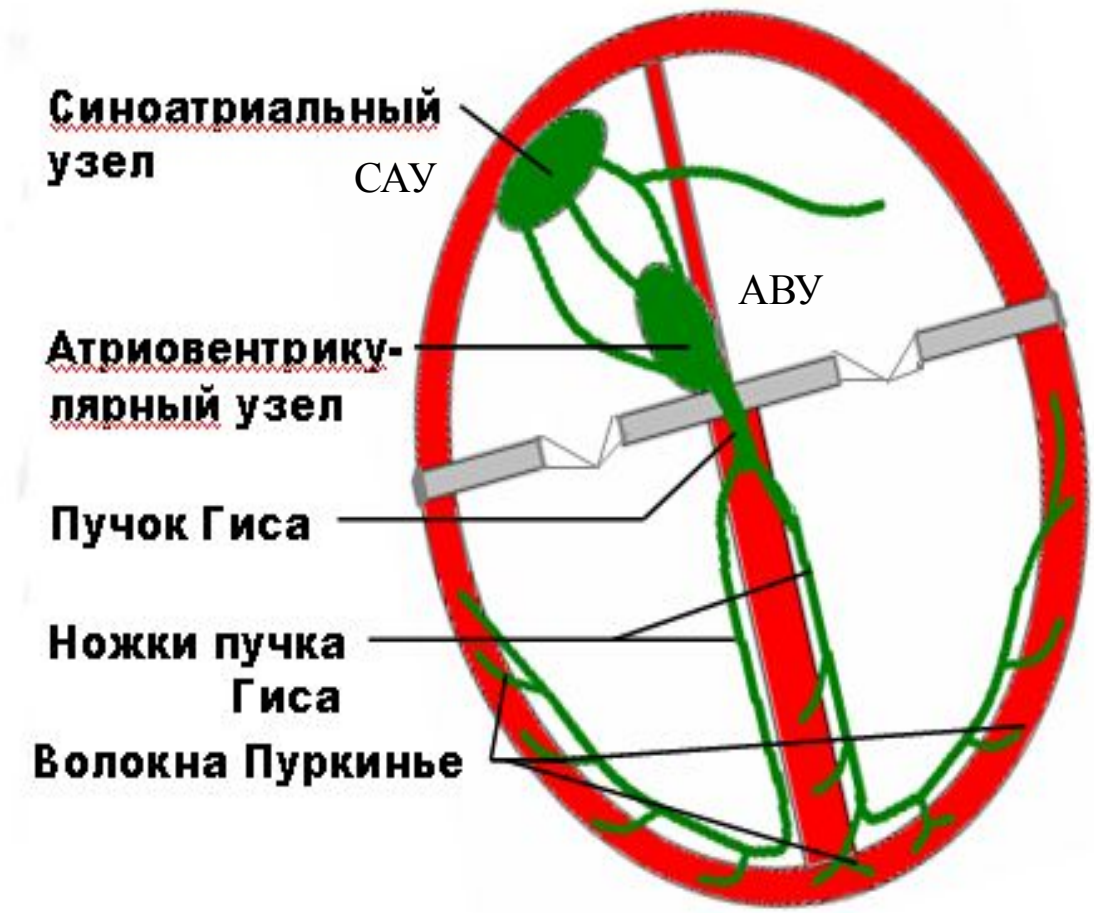
Волокна Пуркинье

МИОКАРД ЖЕЛУДОЧКОВ



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

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



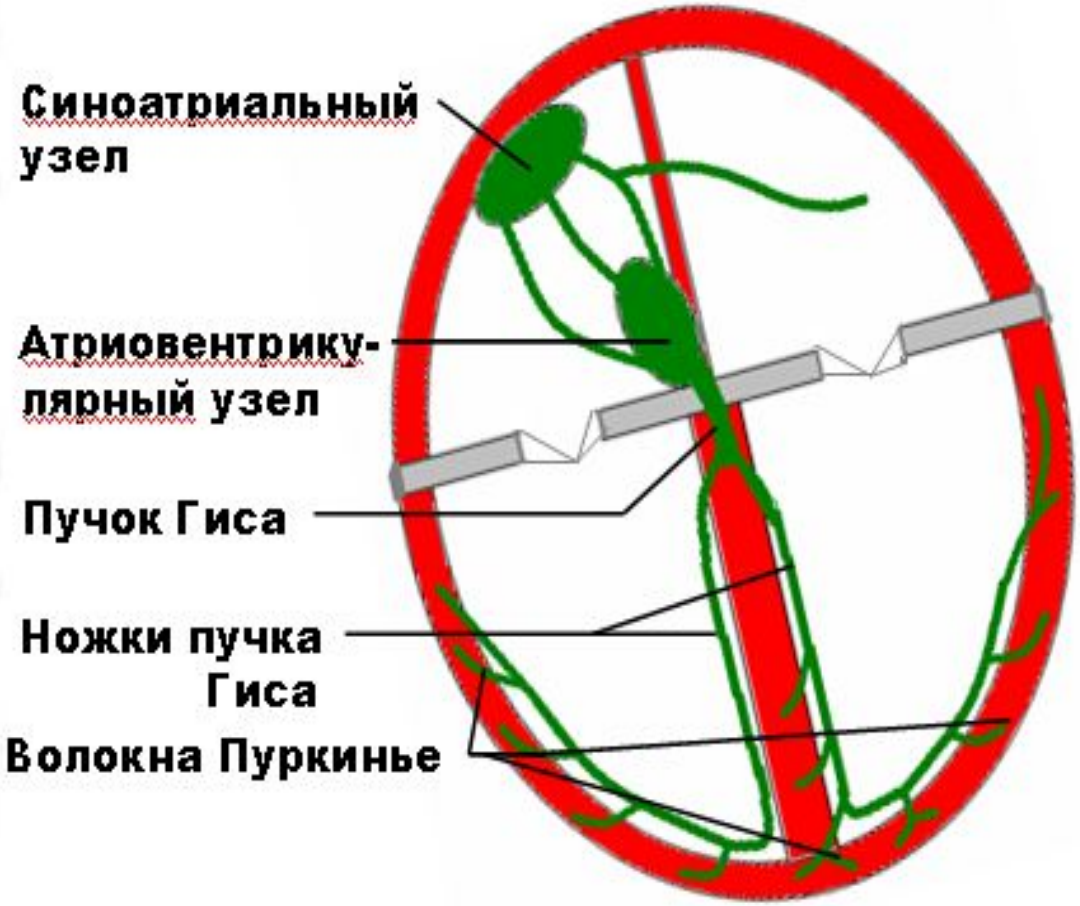
САУ – **60-80** имп/мин (водитель ритма или пейсмекер)

АВУ – **40-50** имп/мин

Пучок Гиса – **30-40** имп/мин

Волокна Пуркинье – **10-20** имп/мин

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В РАЗНЫХ ОТДЕЛАХ СЕРДЦА



МИОКАРД ПРЕДСЕРДИЙ

1 м/сек

Для одновременного возбуж-дения 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

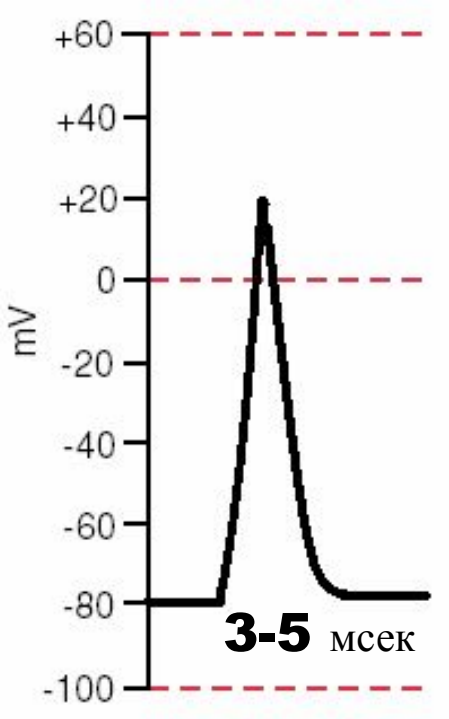
около **1** м/сек

Для одновременного возбуж-дения и сокращения обоих желудочков

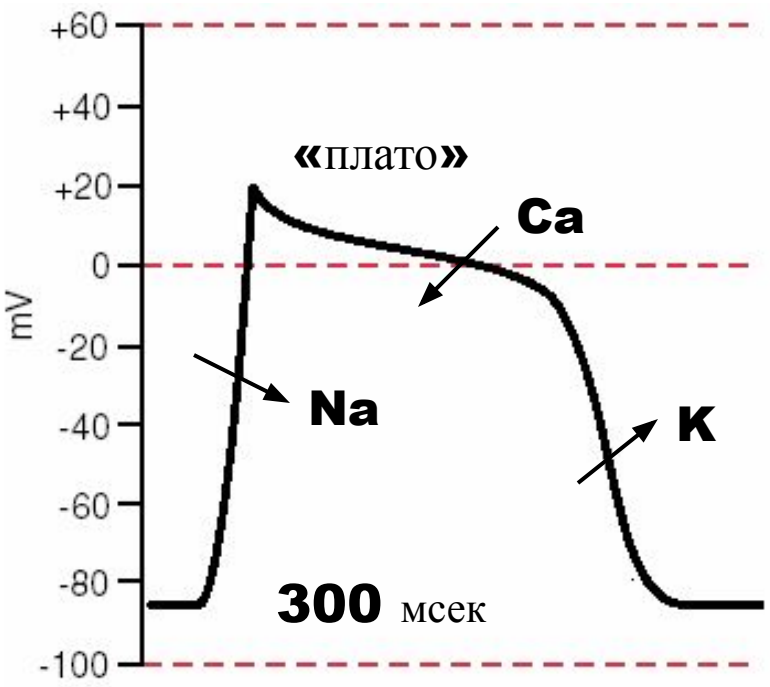
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО МИОКАРДА

1. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ (ПД)

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



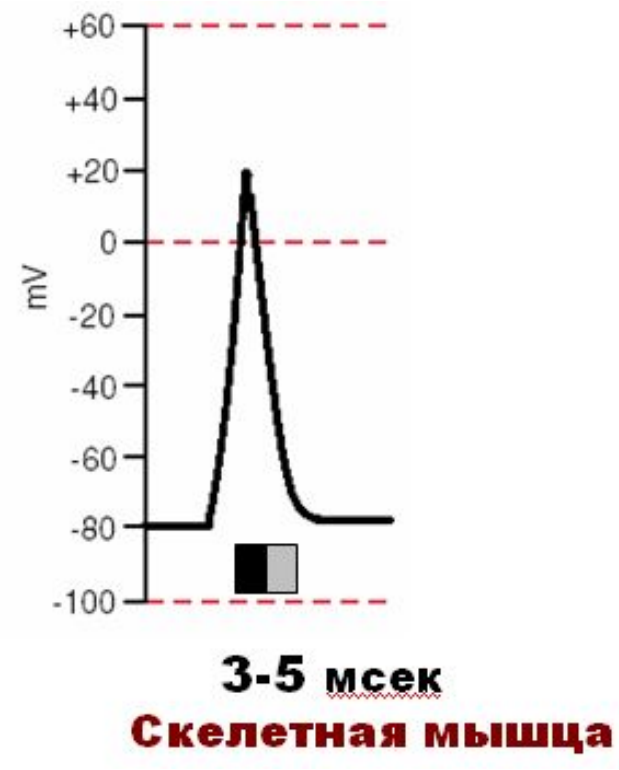
Скелетная мышца

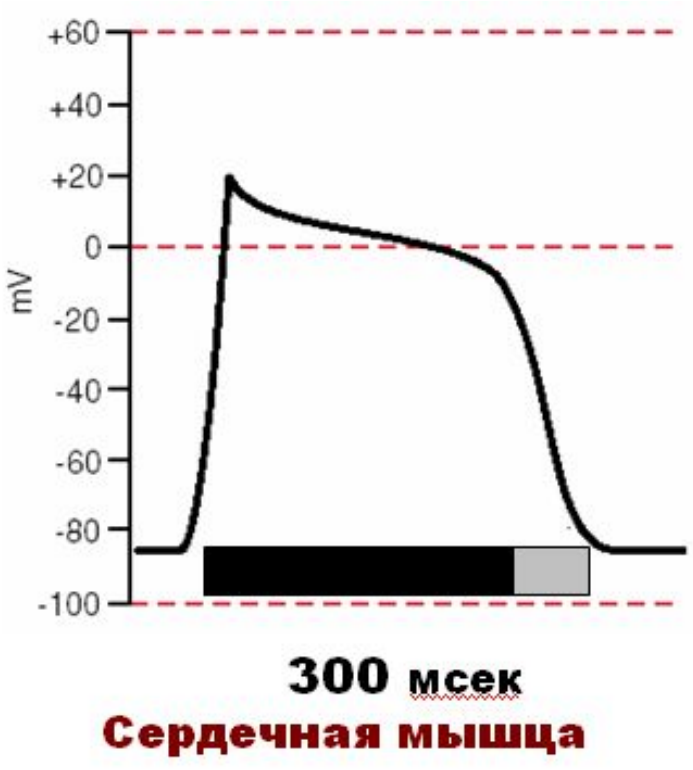


Сердечная мышца

2. ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТЕРНЫЙ ПЕРИОД

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



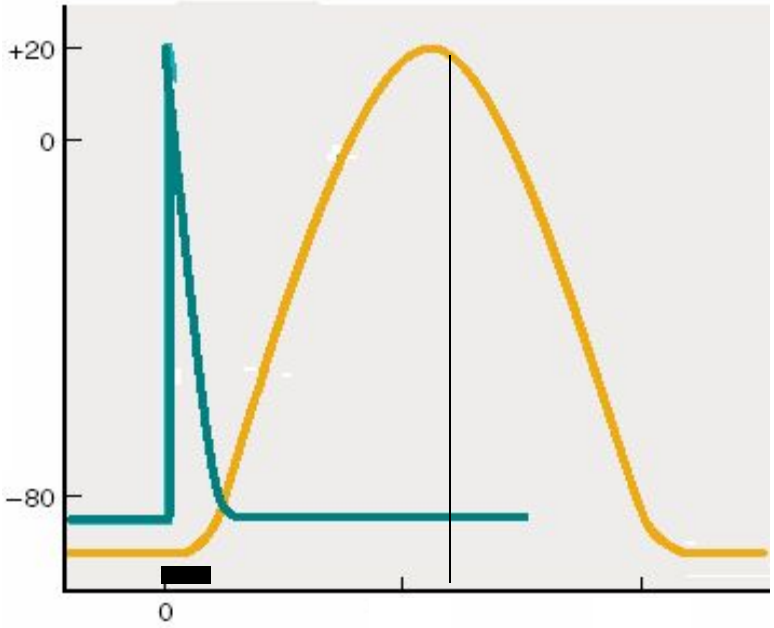


3. ОСОБЕННОСТЬ ПРОЦЕССА СОКРАЩЕНИЯ

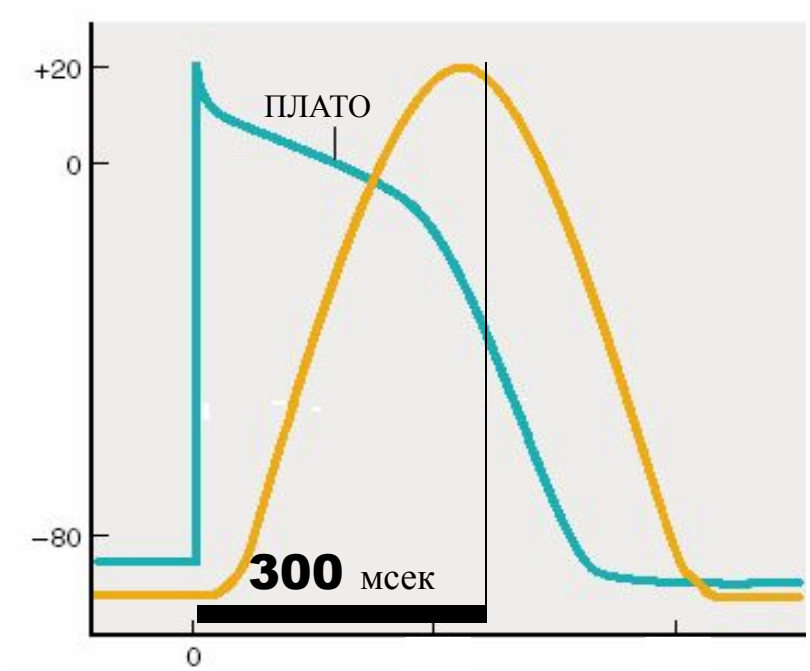
СЕРДЕЧНАЯ МЫШЦА СОКРАЩАЕТСЯ ТОЛЬКО В РЕЖИМЕ ОДИНОЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ. ТЕТАНУС НЕВОЗМОЖЕН.

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.

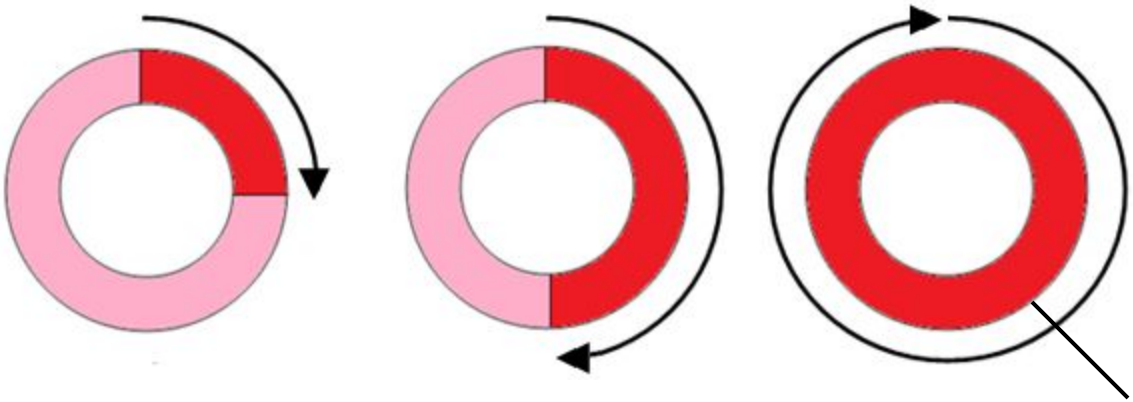
К нарушению ведёт (а) удлинении пути (дилятация сердца);

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

(в) укорочение рефрактерного периода

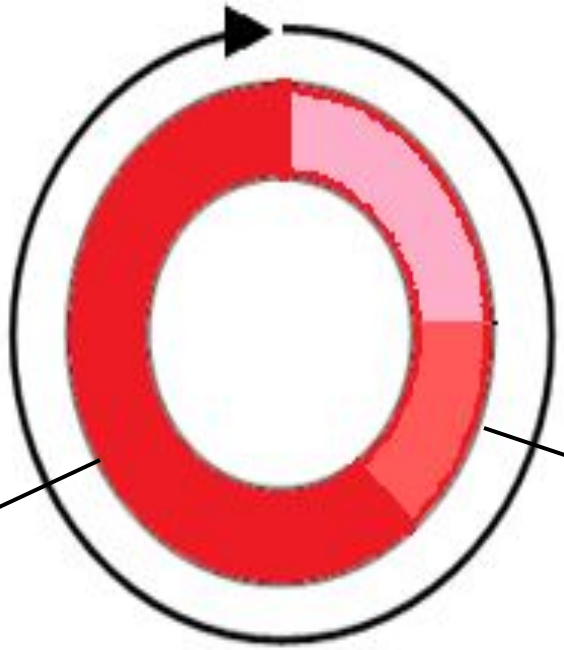
(при ранней экстрасистоле или при действии на сердце переменного тока **50** Гц).

НОРМАЛЬНЫЙ ПУТЬ



Абсолютная рефрактерность

ДЛИННЫЙ ПУТЬ



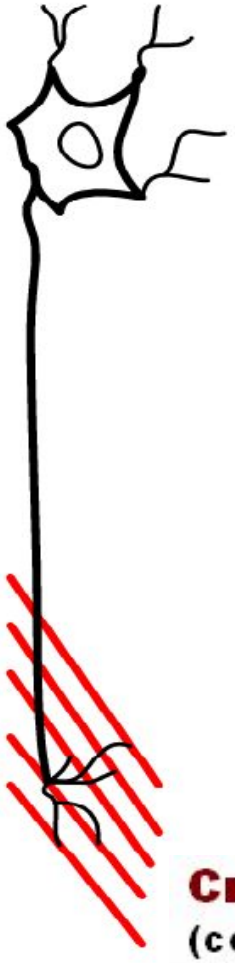
Абсолютная рефрактерность

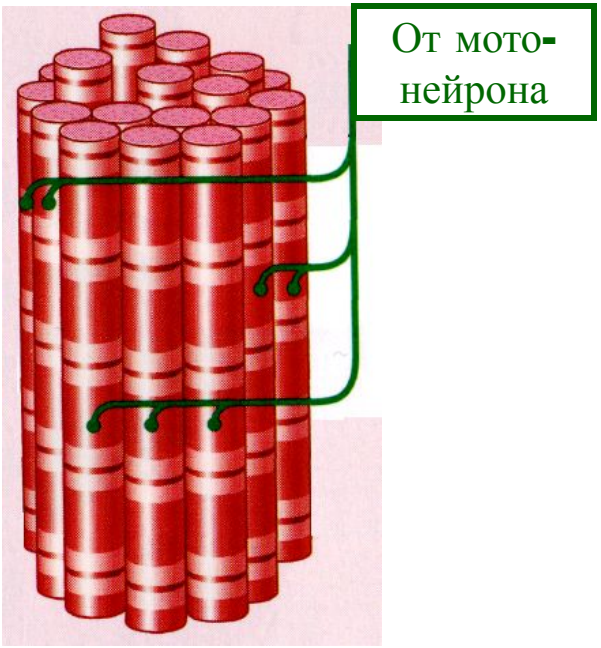
Относительная рефрактерность

4. ОСОБЕННОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИМПУЛЬСА

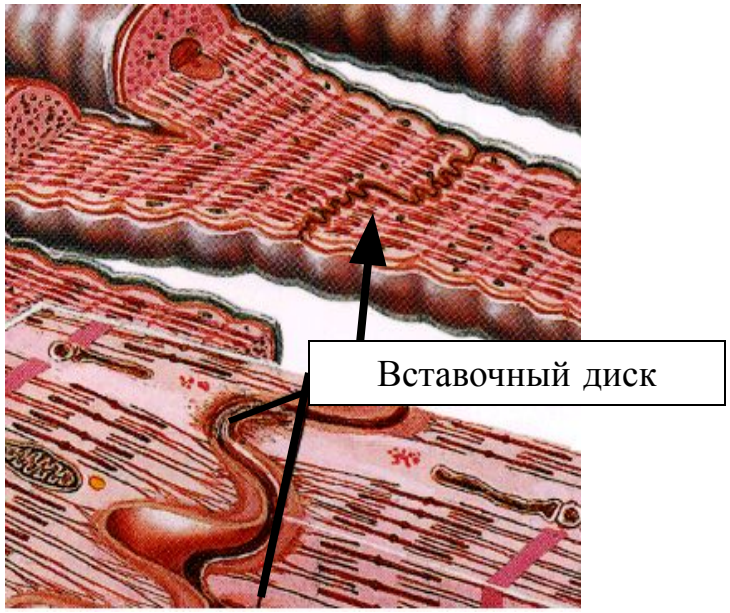
Импульс в миокарде передаётся от одной клетки к другой через электрические синапсы (нексусы).
Все клетки возбуждаются и сокращаются одновременно.
Состоящий из отдельных клеток, миокард функционирует как единое целое.

МИОКАРД – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИНЦИТИЙ



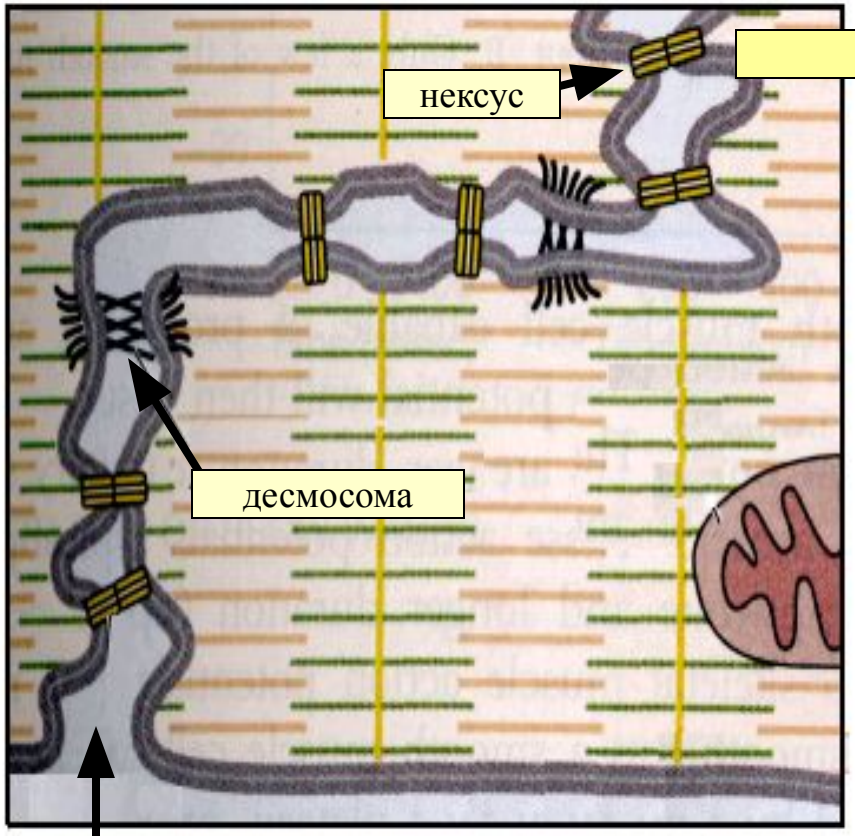


Скелетная мышца
(сокращаются только те волокна, которые получили нервный импульс)

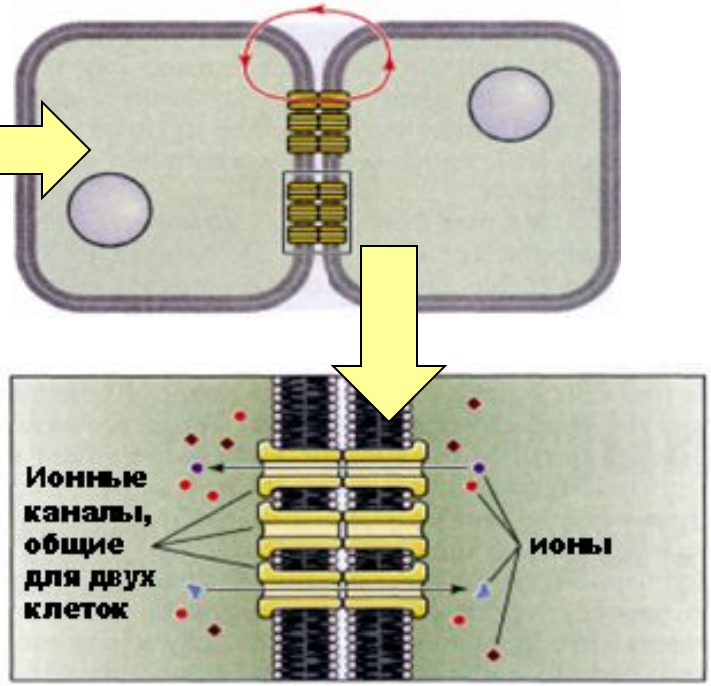


Сердечная мышца
(сокращаются все волокна, т.к. импульс передаётся от одной мышечной клетки к другой)

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 СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ

В отличие от скелетной мышцы сила сокращения миокарда не может увеличиваться

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

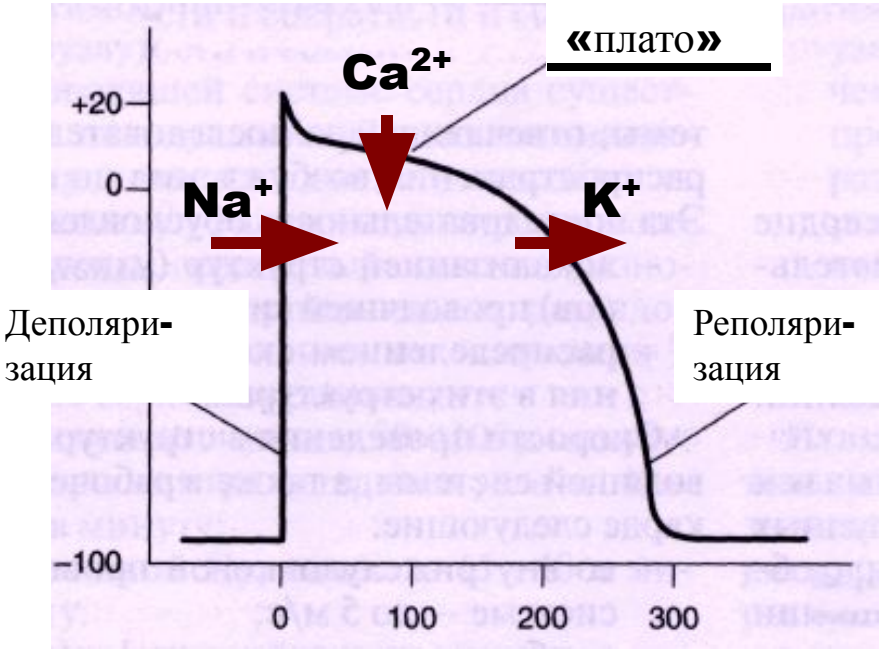
(б) ни за счёт пространственной суммации (вовлечение новых моторных единиц в сократительный процесс).

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^+ в клетку

(активированы быстрые натриевые каналы)

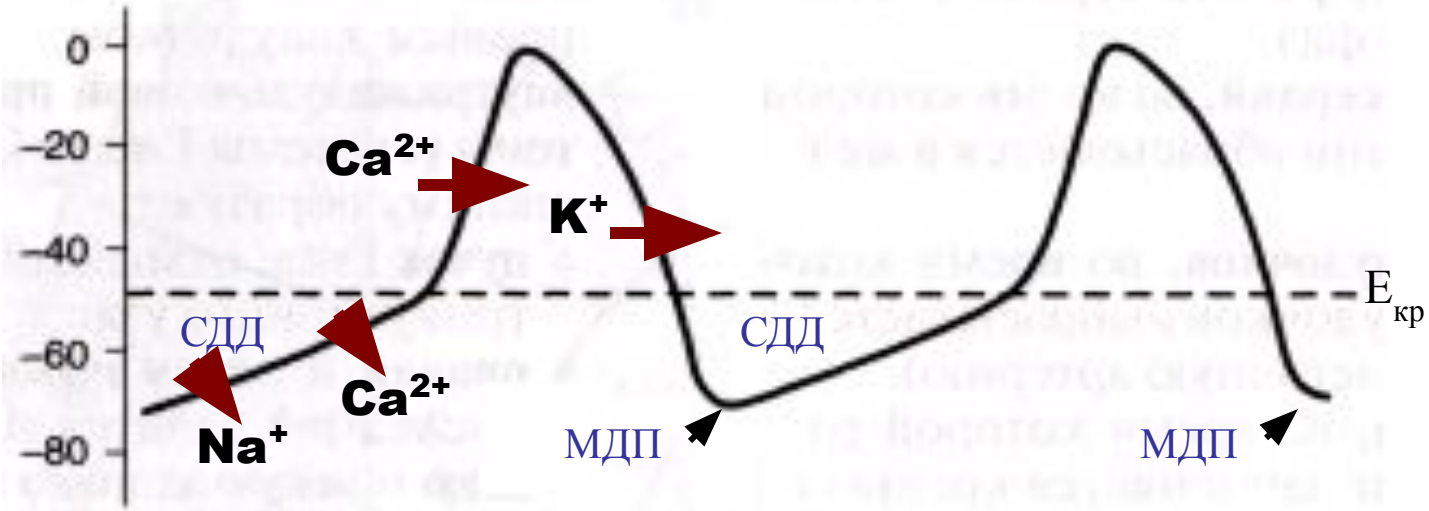
2. Фаза «плато» за счёт входа Ca^{2+} в клетку

(активированы медленные кальциевые каналы)

3. Реполяризация за счёт выхода K^+ из клетки

(активированы медленные калиевые каналы)

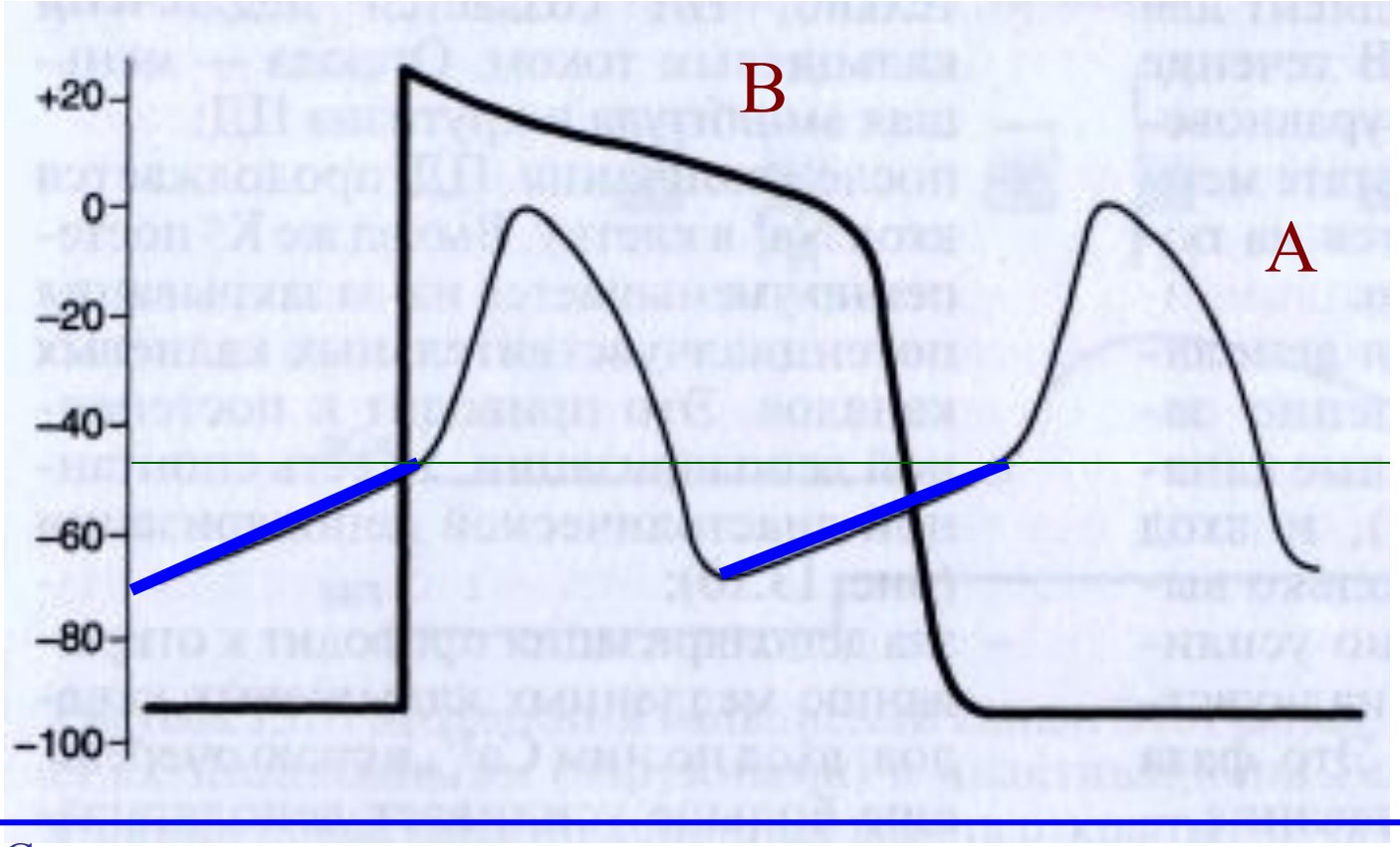
МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕЙСМЕКЕРНОЙ КЛЕТКИ



- Мембрана клетки имеет высокую проницаемость для ионов **Na+** и низкую проницаемость для ионов К**+.**
  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 **(**Екр**),** возникает ПД за счёт входа в клетку ионов Ca^{2+}
- Реполяризацию вызывает выходящий калиевый ток**.**

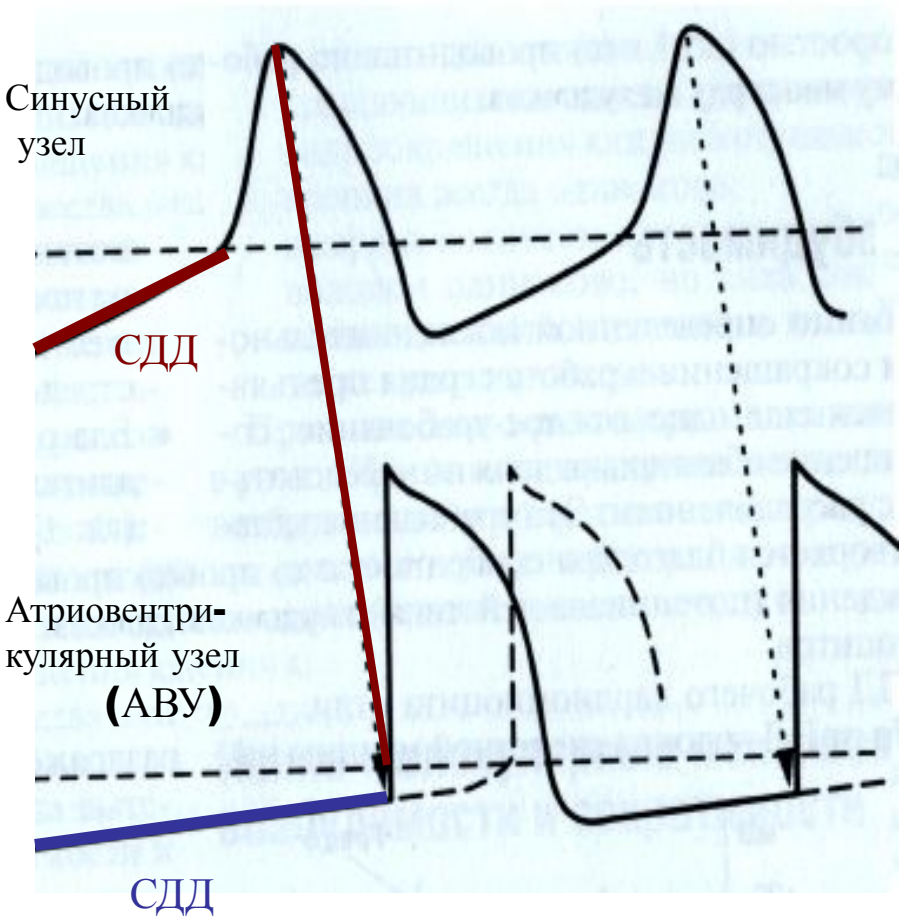
А – потенциал действия клетки синусного узла

В – потенциал действия клетки рабочего миокарда



Спонтанная диастолическая деполяризация является признаком автоматии миокардиальной клетки

МЕМБРАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ 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 $E_{кр}$.

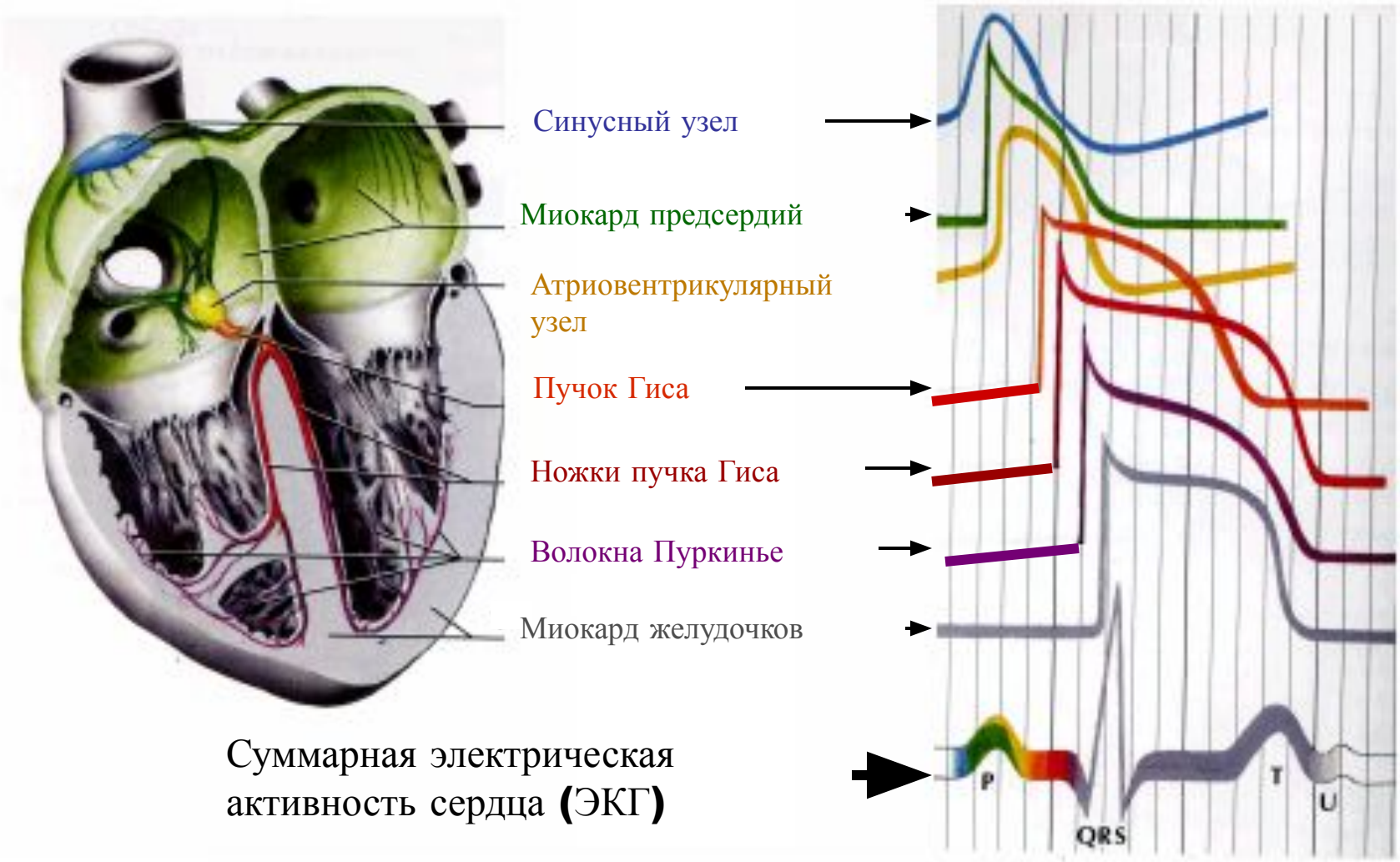
Поэтому автоматия АВУ в норме не проявляется.

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



Суммарная электрическая активность сердца **(**ЭКГ**)**

КОНЕЦ