

# **Кровообращение. Физиология сердца**

**доцент Е.В.Девайкин**

# Физиология кровообращения. Основные законы гемодинамики.

- **Кровообращение** – непрерывное движение крови по замкнутой системе полостей сердца и кровеносным сосудам, способствующее обеспечению всех жизненно-важных функций организма.
- Благодаря постоянному движению крови все обменные процессы, протекающие в каждой клетке организма, **объединяются в единое целое.**

# **Эффективность системы кровообращения обеспечивается:**

- **Возможностью многократного увеличения системного и регионарного кровотока.**
- **Свойствами самой крови.**
- **Уникальностью строения кровеносной системы.**
- **Оптимальным регулированием.**

# Основные законы гемодинамики

- Система кровообращения должна функционировать таким образом, чтобы отток крови от сердца был равен притоку крови к сердцу.
- Сердце является необходимым источником энергии, необходимым для обеспечения продвижения крови по сосудам.
- Гемодинамическая система – это система, в которой энергия химических соединений превращается в энергию движущейся крови.
- Гемодинамическая (насосная, нагнетательная) функция зависит от основных и вспомогательных факторов.

# Основные факторы:

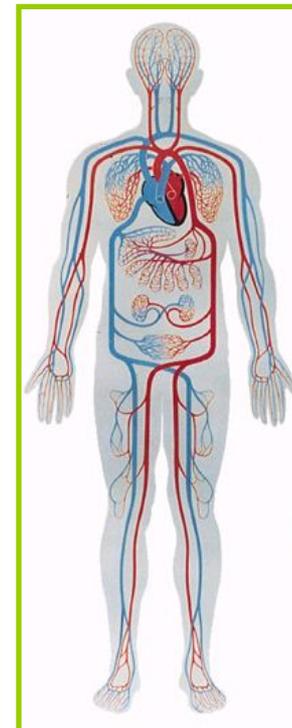
- Ритмические и последовательные сокращения миокарда.
- Наличие клапанов в сердце, которые обеспечивают однонаправленность кровотока.
- Особенности проводящей системы сердца, обеспечивающей определенную последовательность сокращений миокарда.

# Вспомогательные факторы:

- Остаток движущей силы крови, вызванной предыдущим сокращением.
- Присасывающее действие грудной клетки на вдохе.
- Отрицательное давление во внутриплевральной полости.
- Венозная помпа (насос) – сдавление вен при мышечной работе и наличие клапанов в венах.
- Расширение предсердий во время систолы желудочков: **присасывающая функция сердца.**

**Уильям Гарвей**  
1628 г.

# **Функции сердечно-сосудистой системы**



**Поддержание адекватного  
обмена веществ (метаболизма)  
во всех тканях**

**Своевременная и  
достаточная доставка  
крови, как переносчика  
энергетических,  
пластических,  
иммунных и  
нейрогуморальных  
веществ ко всем клеткам  
организма**

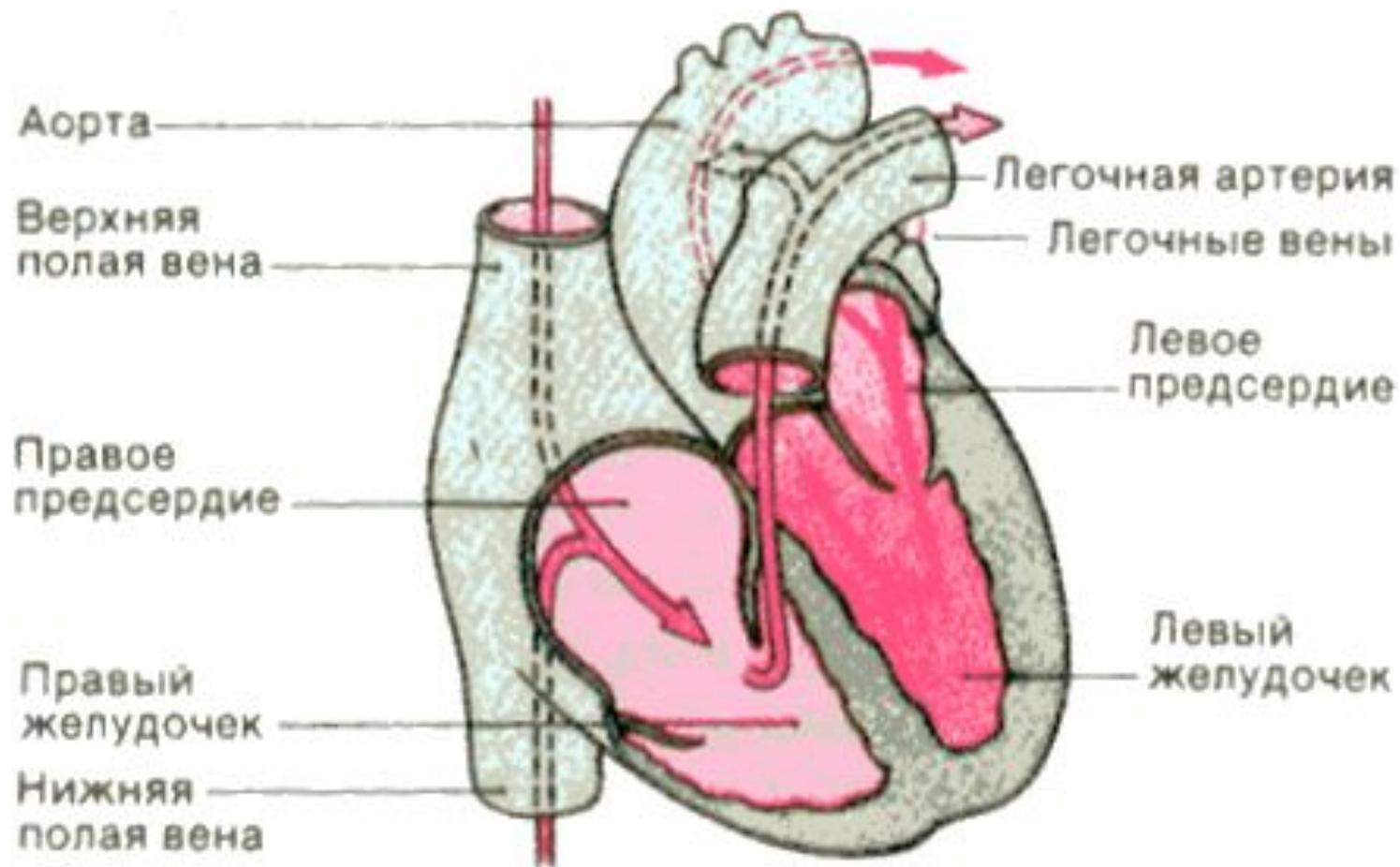
**Своевременный и  
эффективный отвод  
продуктов  
метаболизма из  
межклеточного  
пространства в  
кровь, а затем и из  
организма**

**Поддержание  
нормального  
качества и  
количества  
крови в организме**

# Физиология сердца

- **Основная функция сердца как насоса заключается в обеспечении постоянного движения крови по кровеносным сосудам.**
- **Анатомически сердце представляет собой единый орган, но функционально оно делится на правый и левый отделы, каждый из которых состоит из предсердия и желудочка.**
- **Предсердия служат как проводниками для крови, так и вспомогательными насосами для заполнения желудочков.**
- **Правое сердце перекачивает дезоксигенированную кровь, а левое оксигенированную.**

# Камеры сердца и крупные сосуды



А

# ФИЗИОЛОГИЯ МИОКАРДА

- Сердечная мышца является разновидностью поперечно-полосатой мускулатуры и имеет ряд особенностей.
- **Основные свойства:**
  - Возбудимость
  - Сократимость
  - Проводимость
  - Автоматизм

# **Особенности возбудимых мышечных волокон сердца:**

- 1. Обладают потенциалом покоя**
- 2. Отвечают на надпороговые стимулы генерацией потенциала действия**
- 3. Способны проводить эти потенциалы без затухания (бездекрементно)**
- 4. Мышечное волокно сердца ведет себя как функциональный синцитий, благодаря этому сердце подчиняется закону:**

**Все или ничего!**

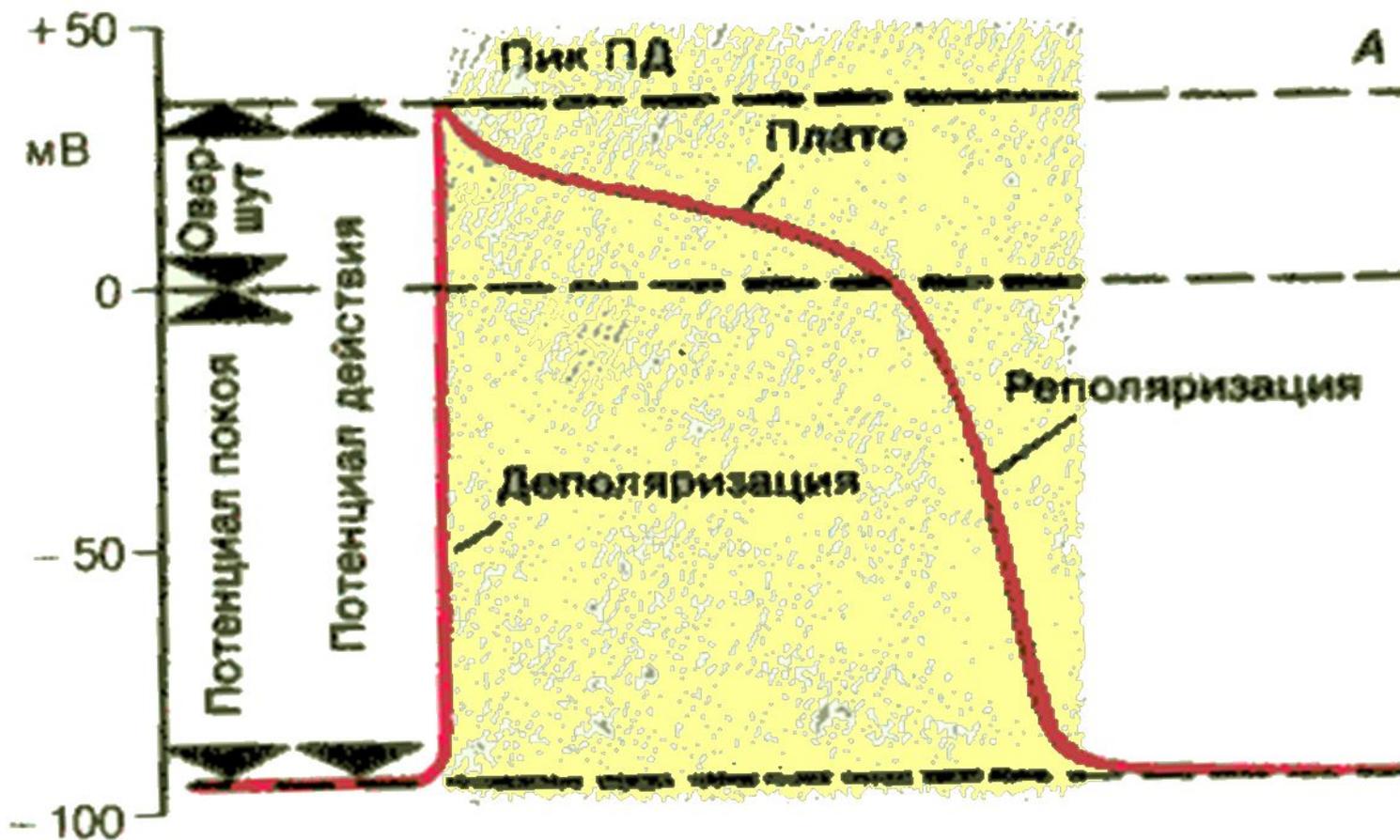
# Возбудимость

- Мышечные клетки сердца отличаются свойствами электрической активности.
- Разные по форме ПД регистрируются в различных клетках миокарда.
- **1. Рабочие волокна миокарда.**
  - 0 фаза деполяризации.
  - 1 фаза быстрой начальной реполяризации.
  - 2 фаза замедленной реполяризации (плато).
  - 3 фаза быстрой конечной реполяризации.
- Амплитуда 120 мВ;
- Мембранный потенциал – 90 мВ;
- Величина ПД 30 мВ.

# Возбудимость

- **2. Мышечные клетки миокарда предсердий.**
- Не четко выражена фаза плато, меньшая продолжительность (по сравнению с ПД миокарда желудочков).
- **3. Атипичные волокна сердца.**

# Конфигурация потенциала действия



# Возбудимость

**Фаза спонтанной (медленной) диастолической деполяризации. Причины :**

- Снижение активности натрий-калиевой АТФ-азы.
- Низкая проницаемость мембраны для ионов калия.
- Высокая проницаемость мембраны для ионов натрия

**Разнообразиие электрической активности:**

- Неоднородность процесса возбуждения.
- В отличие от скелетных мышц в генерации потенциала действия участвуют ионы кальция.

# Возбудимость

## Разнообразие электрической активности:

- Ионы кальция взаимодействуют с классическими ионными механизмами возбуждения.
- Установлено, что во время реполяризации происходит открытие кальциевых каналов
- Специальные методы позволяют зарегистрировать медленный входящий кальциевый ток,
- Который совпадает по времени с фазой плато,
- Он задерживает реполяризацию, формирует эту фазу и удлиняет по времени потенциал действия.
- Хорошо выражен в рабочих волокнах миокарда.

# Возбудимость

- **Возбудимость** – фундаментальное свойство клеточной мембраны, в зависимости от ряда факторов клетки могут возбуждаться при действии надпороговых стимулов.
- **Регуляция возбуждения** обеспечивается:
  - Нейромедиаторами;
  - Молекулами гормонов;
  - Изменением ионного состава Na, K, Ca в межклеточной жидкости.

# Проводимость

- Осуществляется электрическим путем с помощью специальных структурных образований,
- Которые получили название вставочных дисков – **участки тесного контакта двух мышечных клеток.**
- В нексусах сопротивление электрическому току минимально, импульс переходит на соседнюю мембрану без потерь.
- Распространение возбуждения идет не синаптическим, а электрическим путем.
- Электрический синапс: происходит быстрый охват возбуждением, **скорость проведения его в миокарде 0,8 – 0,9 м/с.**

# Проводимость

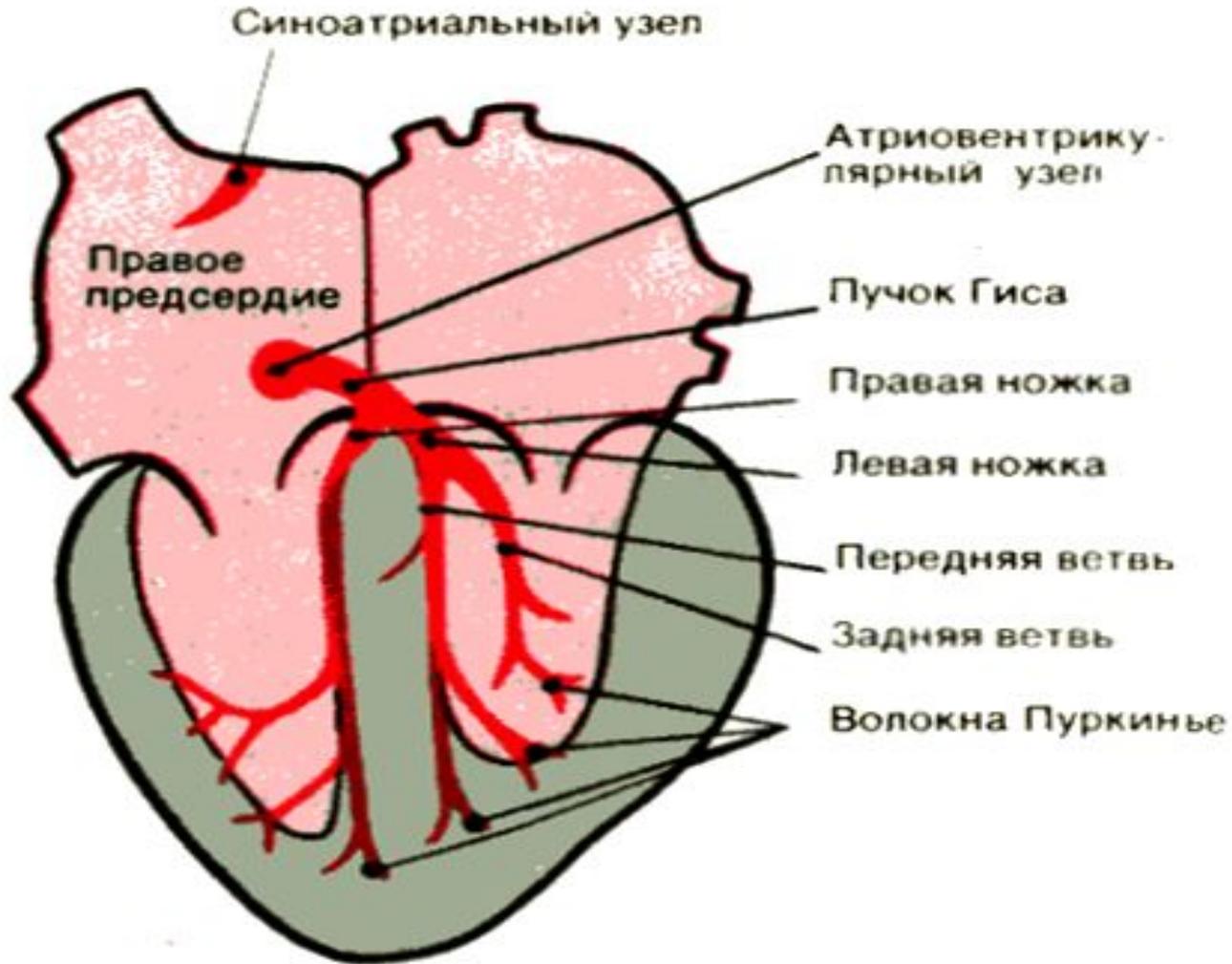
- При воспалении, специфических и неспецифических поражениях миокарда страдают нексусы
- И нарушается проведение, развивается дезинтеграция клеток миокарда.
- В норме миокард работает как единая мышечная клетка.
- Проведение возбуждения осуществляется еще и проводящей системой –
- Это совокупность мышечных волокон атипичной мускулатуры, специализируются на процессе проведения,

# Пейсмекеры и проводящая система сердца

- В норме водителем ритма служит синоатриальный узел (СА узел).
- В СА узле вырабатываются электрические импульсы.

**СА узел – группа специализированных клеток, мембрана которых характеризуется повышенной проницаемостью для Na и, возможно, Ca**

# Схема расположения пейсмекера и проводящей системы



# Проводимость

- Осуществляют закономерное движение сигналов возбуждения от предсердий к желудочкам.
- Возбуждение возникает в венозном синусе (место впадения полых вен в правое предсердие)
- От **синоатриального узла** возбуждение распространяется по волокнам правого и левого предсердия,
  - скорость проведения в предсердиях **0,8 – 0,9 м/с.**
- От предсердий достигает перегородки между предсердиями и желудочками и попадает в **атриовентрикулярный узел.**
- Значительно замедляется скорость проведения **0,02 – 0,05 м/с.**

# Проводимость

- Эта **атриовентрикулярная задержка** – необходима для того, чтобы задержать во времени процесс возбуждения в предсердиях и желудочках:
  - **камеры предсердий и желудочков работают поочередно.**
- При отсутствии **атриовентрикулярной задержки** происходит быстрое возбуждение в предсердиях и желудочках, **рассогласование функций и сердце не работает как насос.**
- Возбуждение распространяется по проводящей системе (**волокнам пучка Гисса**) межжелудочковой перегородки.
- **Скорость проведения 2 - 5 м/с.**

# Проводимость

- **Пучок Гисса** делится на правую и левую ножки, скорость проведения 2 – 4 м/с.
- От каждой ножки разветвление на множество пучков: **волокна Пуркинье**, которые находятся в стенке желудочков.
- Скорость проведения 2 м/с.
- Далее возбуждение передается на **рабочие волокна миокарда**, сигнал проводится с помощью нексуса.
- Скорость проведения 0,8 – 0,9 м/с.

# Заместительные ритмы

- При **синоатриальной блокаде** (когда возбуждение СА-узла не возникает, либо не может перейти на предсердие) – роль водителя ритма берет на себя АВ-узел.
- При **полной поперечной блокаде** (проведение возбуждения от предсердий к желудочкам полностью нарушено) предсердия и желудочки сокращаются независимо друг от друга:
  - предсердия – в ритме СА-узла
  - желудочки – в ритме пейсмекера третьего порядка

- При **внезапной ПШБ** желудочковые центры автоматизма начинают функционировать лишь через несколько секунд.
- За время этой предварительной паузы кровоснабжение головного мозга ухудшается: **потеря сознания, судороги.**

**приступы Адамса - Стокса**

# Блокада ножек пучка Гиса

- При нарушении проведения из ножек пучка Гиса, а вторая ножка или одна из ветвей левой ножки функционируют нормально, возникает **неполная блокада**.
- Возбуждение при этом распространяется на миокард обоих желудочков от терминалей непораженных ветвей.
- Процесс охвата возбуждением при этих более длителен, чем в норме.

# **Действие ингаляционных анестетиков на СА-узел и АВ-узел:**

- **Угнетают автоматизм СА-узла;**
- **Умеренно увеличивают время проведения возбуждения по АВ-узлу;**
- **Такое сочетанное влияние этих эффектов объясняет высокий риск возникновения АВ-узловой тахикардии в тех случаях, когда на фоне ингаляционной анестезии для купирования синусовой брадикардии применяют холиноблокаторы.**

# Сократимость

## Особенности:

- Мышца сердца работает в режиме одиночных ритмических сокращений, не бывает длительной контрактуры.
- Это обусловлено тем, что продолжительность потенциала действия 300 мсек, а периода абсолютной рефрактерности 270 мсек.
- Большую часть времени клетка закрыта для внеочередного сокращения и возбуждения.
- Существует зависимость силы сокращений от частоты - **хроноинотропная зависимость**.  
«Хронос» – время, «инос» – сила.

# Сократимость

- При повышении частоты сокращений увеличивается и сила сокращений, которая нарастает ступенчато: **феномен хроноинотропной зависимости или «лестница Боудича»**.
- При низкой частоте сила постепенно уменьшается.
- Сила сокращения зависит от исходной длины мышечного волокна.
- Чем больше величина растяжения мышцы во время диастолы, тем больше сила сокращений во время систолы.
- **Гетерометрическая зависимость** или закон **Франка - Старлинга**.
- Сила сокращения определяет степень выброса.

**Деполаризация мембран кардиоцитов**



**Увеличение концентрации внутриклеточного Са**



**Са + актин и миозин**



**Сокращение мышцы**

- **Во время сокращения клетка не способна ответить на возникающие дополнительные стимулы.**
- **Реполаризация мембран приводит к возникновению потенциала покоя.**

- Ритмические сокращения сердца возникают под действием импульса, зарождающихся в нем самом.
- Если изолированное сердце поместить в соответствующие условия, оно будет продолжать биться с постоянной частотой. Это свойство называется **автоматизмом!**

# Автоматизм

*Способность к самопроизвольному возбуждению и сокращению.*

## Синоатриальный узел.

- Волокна атипической мускулатуры генерируют потенциалы действия с частотой **60 – 80 в минуту** и навязывают нормальный ритм деятельности сердца.
- Узел автоматии или водитель ритма первого порядка.
- При его повреждении работает водитель ритма второго порядка.

# Автоматизм

## Атриовентрикулярный узел.

- Водитель ритма второго порядка, частота импульсов 30 – 40 в минуту.

## Волокна Пуркинье.

- Частота импульсов 15 – 20 в минуту.
- Водитель ритма третьего порядка.
- Отмечается убывание градиента автоматии.

# Сердечный цикл

- Частота сердечных сокращений 75 ударов в минуту.
- Продолжительность сердечного цикла 0,8 сек.
- Предсердный цикл:
  - Систола 0,1 сек;
  - Диастола 0,7 сек.
- Желудочковый цикл:
  - Систола 0,3 сек;
  - Диастола 0,5 сек.
- Общая пауза сердца 0,4 сек.

# Сердечный цикл

## Систола

Период  
изоволюм.  
сокращения  
(период  
напряжения)

От начала  
QRS до  
начала фазы  
изгнания

Период  
изгнания  
 $УО = \frac{1}{2} КДО$  т.  
е.  $УО = \frac{1}{2} 130 =$   
 $40 - 60 - 70$

Рез. объем = 70

$ФВ = УО/КДО$   
 $= 0,46$

## Диастола

Период  
изоволюм.  
расслабления  
(период  
замкнутых  
клапанов)

Продолжитель  
ность = 50 мс

Внутрижелу-  
дочковое  
давление  
снижается до  
нуля

Период  
наполнения  
↓  
Фаза быстрого  
наполнения

↓  
Фаза  
медленного  
наполнения

# Желудочковый цикл

- **Систола желудочков:**
  - Период напряжения.
  - Период изгнания.
- **Диастола желудочков:**
  - Период расслабления.
  - Период наполнения.

# Систола желудочков

## Период напряжения

### 1 фаза асинхронного сокращения:

- Идет постепенный охват возбуждением и сокращением клеток миокарда.
- Клетки работают неодновременно.
- Давление крови в желудочках **равно 0**.
- Клапаны закрыты.
- Митральный и трехстворчатый клапаны закрываются в конце этой фазы.

# Систола желудочков

## 2 фаза изометрического напряжения.

- Увеличивается напряжение мышц.
- Повышается внутрижелудочковое давление крови, волокна работают одновременно.
- Клапаны закрыты, желудочки не могут сжаться и истинного укорочения не происходит.
- Увеличивается напряжение стенки.
- Давление в левом желудочке возрастает **до 65 – 75 мм рт. ст.**
- В правом желудочке **до 5 – 12 мм рт. ст.**

# Систола желудочков

## Период изгнания:

**3 фаза протосфигмический интервал** – это время на открытие полулунных клапанов в аорте и легочной артерии.

## **4 фаза быстрого изгнания.**

- Еще больше увеличивается напряжение стенки.
- Клапаны открыты – давление в желудочках возрастает.
- В левом желудочке **125 – 130 мм рт. ст.**
- В правом желудочке **30 мм рт. ст.**
- Перепад давления вызывает быстрое изгнание.

# Систола желудочков

Период изгнания:

**5 фаза медленного изгнания.**

- Напряжение мышцы постепенно ослабевает, давление между желудочками и сосудами уменьшается.
- В левом желудочке **65 мм рт. ст.**
- В правом желудочке **15 мм рт. ст.**
- Кровь изливается, так как приобретает кинетическую энергию движения.

# Диастола желудочков

**Период расслабления:**

**6 фаза протодиастолический интервал** – это время на закрытие полулунных клапанов в аорте и легочной артерии.

**7 фаза изометрического расслабления.**

- В желудочках остаток неизлившейся крови.
- Мышца расслабляется в изометрическом режиме.
- Давление в желудочках **падает до 0.**
- В конце этой фазы открываются митральный и трехстворчатый клапаны.

# Диастола желудочков

**Период наполнения:**

**8 фаза быстрого наполнения.**

- **Кровь из предсердий «проваливается» в желудочки.**

**9 фаза медленного наполнения.**

- **Наполнение происходит за счет кинетической энергии.**
- **Давление в желудочках равно давлению в предсердиях.**

# Диастола желудочков

## Период наполнения:

**10 фаза дополнительного наполнения желудочков** - за счет систолы предсердий.

- Активный мышечный механизм, дополнительно наполняет желудочки кровью.
- Давление в предсердиях **5 мм рт. ст.**
- Предсердия выполняют в основном резервуарную функцию.
- Незначительно проявляют активный механизм наполнения

# Вегетативная иннервация сердца

## Характеристика работы сердца

- Деятельностью сердца непосредственно управляют **сердечные центры** продолговатого мозга и моста.
- Их влияние передается по симпатическим и парасимпатическим нервам и касается следующих характеристик работы сердца:
  1. Частоты сокращений (**хронотропное действие**);
  2. Силы сокращений (**инотропное действие**);
  3. Скорости атриовентрикулярного проведения (**дромотропное действие**)

# Вегетативная иннервация сердца

## Характеристика работы сердца

- 4. Батмотропное действие:** изменение возбудимости различных структур сердца:
  - **положительный** батмотропный эффект: повышение возбудимости;
  - **отрицательный** батмотропный эффект: снижение возбудимости.
- 5. Люситропное действие:** улучшающие расслабление сердца в диастолу и снижающий КДД в желудочках

# Парасимпатическая иннервация

- ПС иннервация осуществляется nn.Vagus
- Волокна правого n.Vagus иннервируют преимущественно **правое предсердие и САУ**
- Левый n.Vagus – главным образом **АВУ**
- Правый n.Vagus влияет на ЧСС, а левый n.Vagus на **АВ – проведение**
- ПС иннервация желудочков выражена слабо

# Симпатическая иннервация

- Преганглионарные симпатические волокна берут начало:
  1. в боковых рогах верхних грудных сегментов спинного мозга;
  2. в шейных и верхнегрудных ганглиях симпатического ствола;

в звездчатом ганглии эти волокна переключаются на постганглионарные нейроны.
- Отростки последних проходят к сердцу в составе сердечных нервов.
- Симпатическая иннервация сердца равномерная

# Хронотропный эффект

## Отрицательный

- Раздражение n.Vagus или воздействие ацетилхолином на САУ

- Снижение ЧСС
- Остановка сердца при сильном воздействии

## Положительный

- Раздражение симпатических нервов или воздействие норадреналином

- Увеличение ЧСС

# Инотропный эффект

```
graph TD; A[Инотропный эффект] --> B[Отрицательный]; A --> C[Положительный]; B --> D[Вагусный эффект]; D --> E[Уменьшается сила сокращений предсердий]; D --> F[Укорачивается потенциал]; C --> G[Симпатический эффект]; G --> H[Усиливается сила сокращений предсердий и желудочков];
```

## Отрицательный

- Вагусный эффект



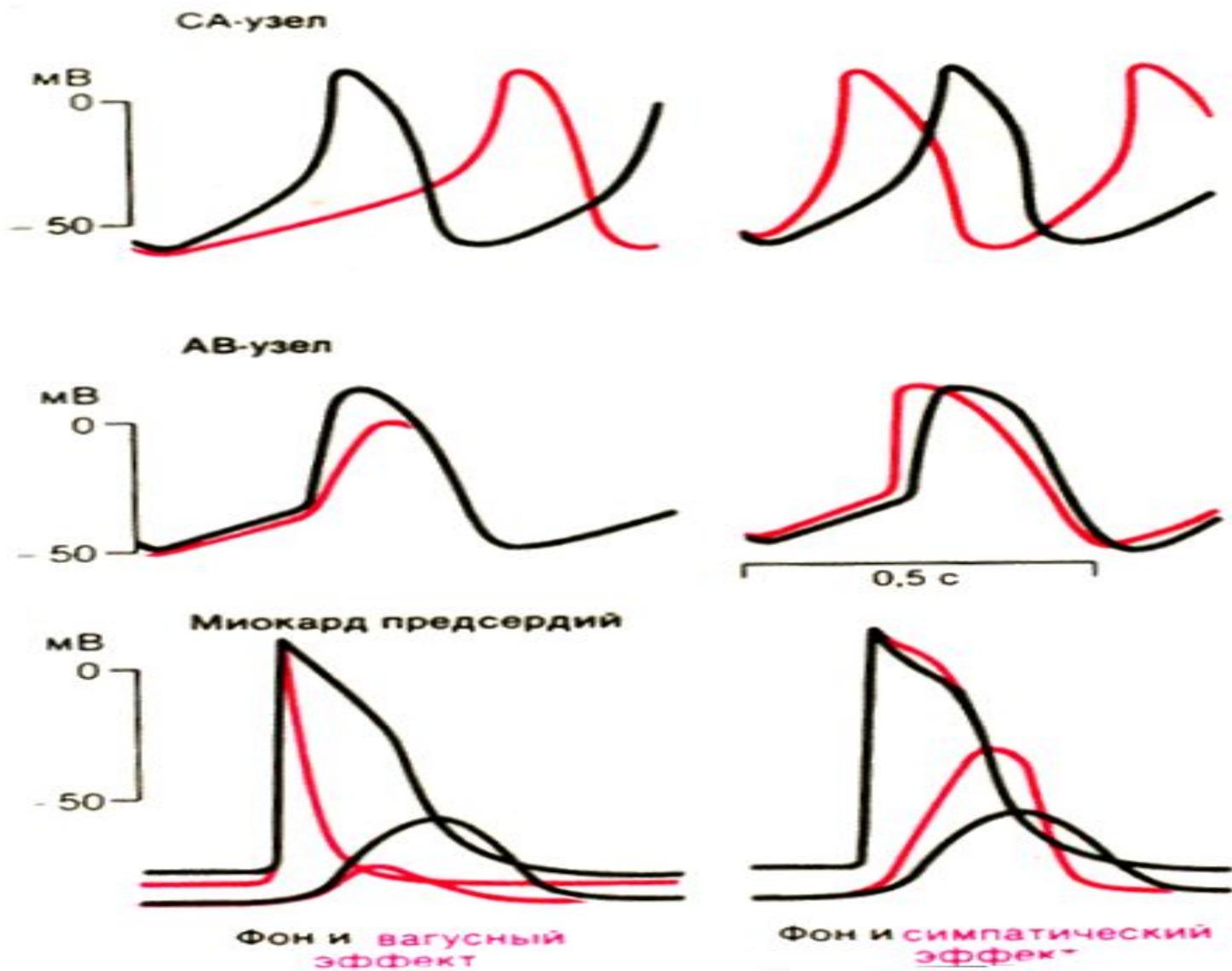
- Уменьшается сила сокращений предсердий
- Укорачивается потенциал

## Положительный

- Симпатический эффект



- Усиливается сила сокращений предсердий и желудочков



# Дромотропный эффект

## Отрицательный n.Vagus (левый)

- Задержка АВ – проведения
- Полная преходящая АВ - блокада

## Положительный

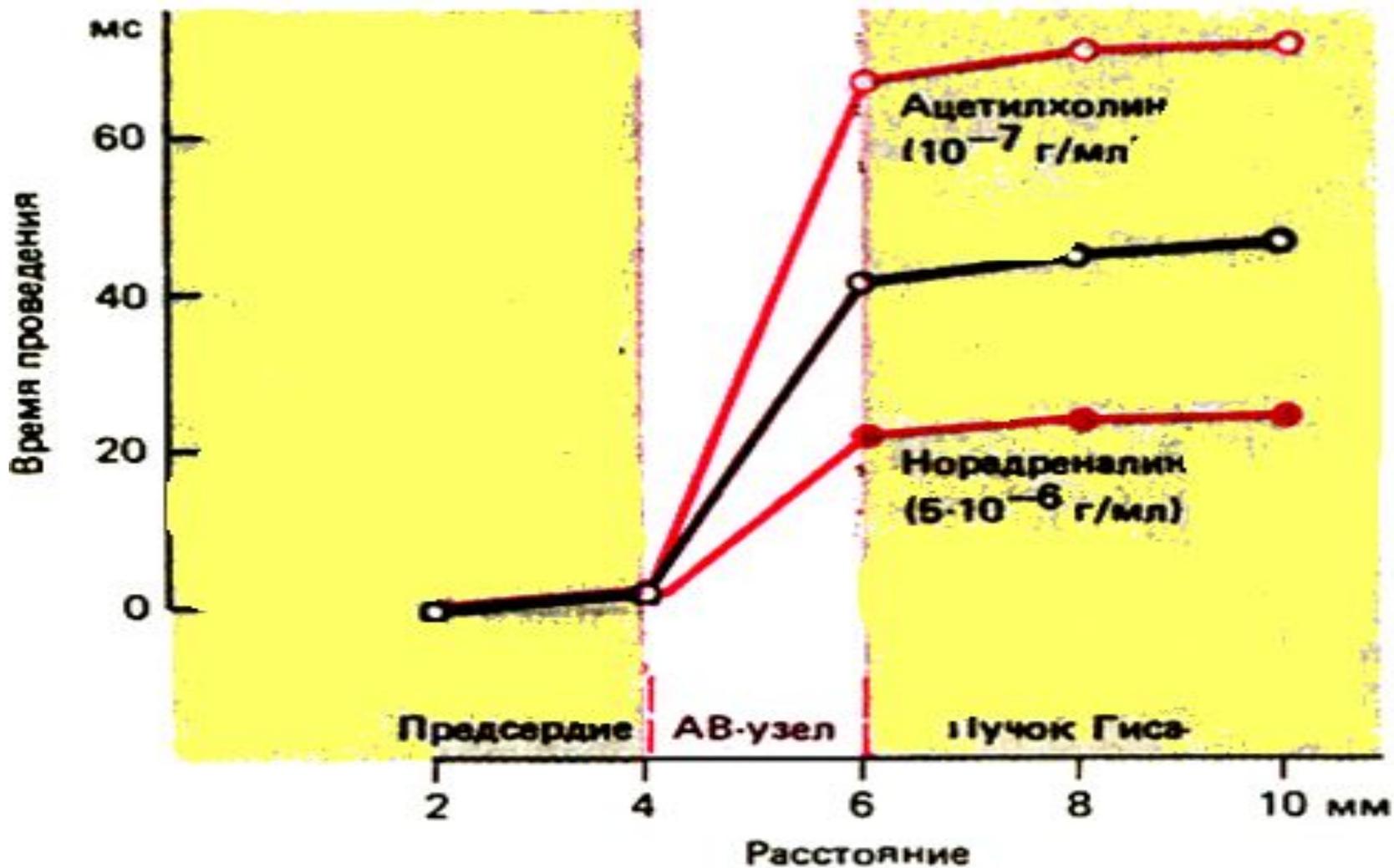
- Симпатические нервы

- Стимуляция АВ – проведения
- Сокращение интервала между сокращениями предсердий и желудочков

# Дромотропный эффект

- Такое влияние вегетативных нервов объясняется особенностями АВУ:
- Нет быстрого натриевого тока
- Крутизна нарастания ПД и скорость распространения возбуждения низки

# Время АВ - проведения



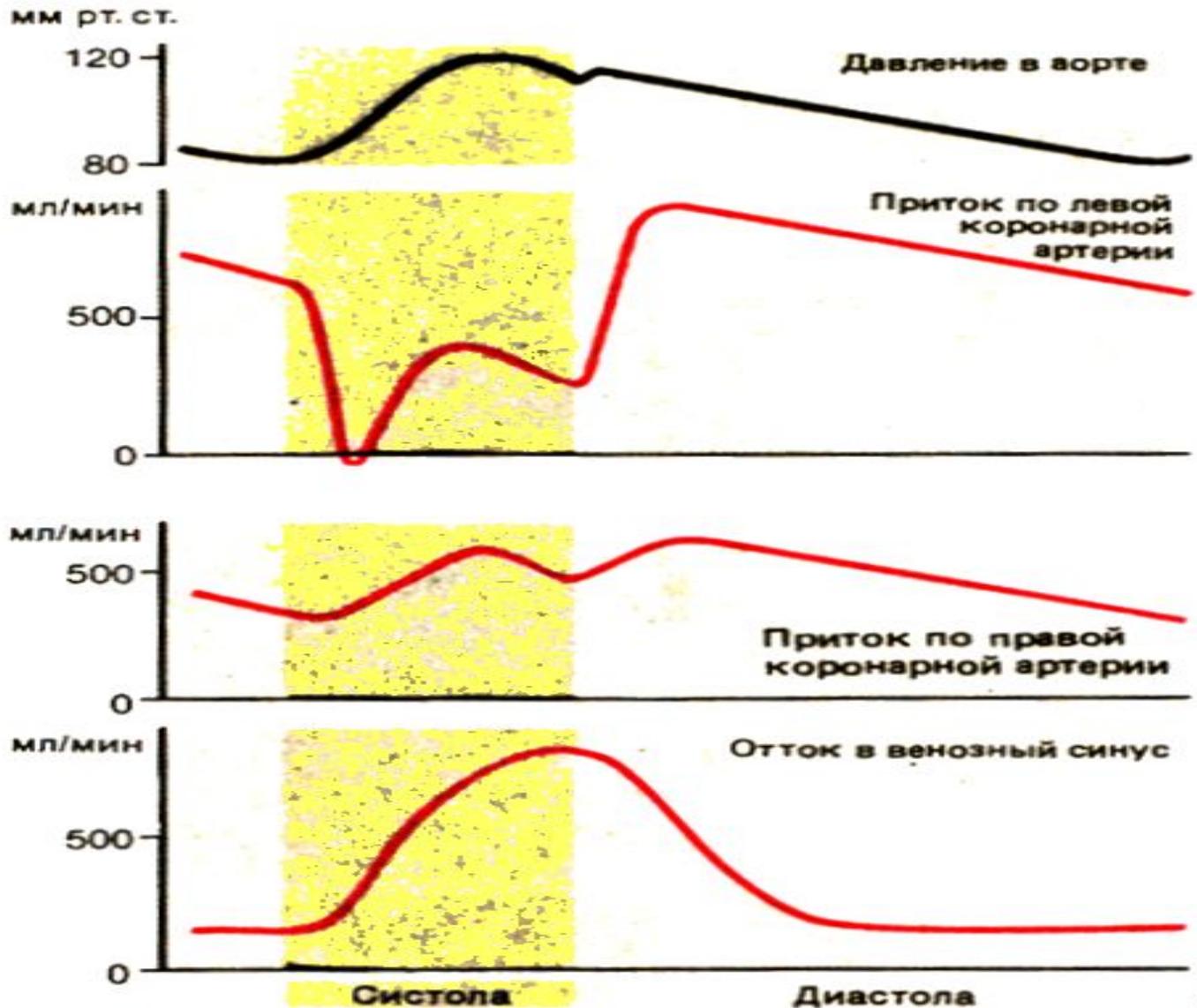
# Потребление кислорода

1. В покое потребление кислорода примерно 0,08 – 0,1 мл/г/мин
2. Факторы влияющие на потребление кислорода:
  - напряжение волокон миокарда;
  - увеличение периода сокращения;
  - ЧСС ( $PO_2 = \sqrt{ЧСС}$ )
3. КПД – доля энергии, идущая на совершение механической работы  
КПД ~ 15 – 40 %

# Коронарный кровоток

Показатели	В покое	При нагрузке
Коронарный кровоток мл/г/мин	0,8	3,2
A – B p O <sub>2</sub> мл/дл крови	14	16
Содержание O <sub>2</sub> в коронарных венах	6	4

# Изменение коронарного кровотока



# Влияние ЧСС на кардиодинамику

<b>ЧСС</b>	<b>Систола</b>	<b>Диастола</b>	<b>«Чистое» раб. время</b>
<b>70</b>	<b>0,28</b>	<b>0,58</b>	<b>19,6</b>
<b>150</b>	<b>0,25</b>	<b>0,15</b>	<b>37,5</b>

Пируват  
Кетоновые тела  
Аминокислоты



Покой

Пируват  
Кетоновые тела  
Аминокислоты



Физическая нагрузка

# **Особенности метаболизма сердца:**

- 1. Значительная доля СЖК среди потребляемых веществ**
- 2. Способность использования лактата.  
Расщепляя МК, сердце не только получает энергию, но и поддерживает постоянное рН.**
- 3. Кроме АДФ и неорганического фосфата в сердце обнаружен макроэргический фосфат – креатинфосфат.**

# Кислородное и бескислородное энергообеспечение тканей энергией

Глюкоза  $\Rightarrow$  2 АТФ + Лактаты +  $H^+$



Глюкоза + O<sub>2</sub>  $\Rightarrow$  32 АТФ + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

**Тканевая гипоксия**  
(гипоксическая, циркуляторная, гемическая)



**Дефицит  $O_2$  в тканях**  $\rightarrow$  **Дефицит энергии**

**Глюкоза**  $\rightarrow$  **2 АТФ + Лактаты +  $H^+$**



**Метаболические**  
**ГИПЕРЛАКТОЗ + АЦИДОЗ ( $\downarrow$ pH)**  
(внутриклеточный, тканевой, системный)

**Уровень гиперлактатемии - маркер выраженности**  
**дефицита потребления  $O_2$  тканями**

# Регуляция деятельности сердца

- **Приспособление деятельности сердца к изменяющимся потребностям организма при помощи ряда регуляторных механизмов.**
- **Надежность регуляции обеспечивает надежную деятельность системы кровообращения.**

## Виды регуляции:

- **Батмотропные:** влияние на возбудимые поверхности мембраны сердца:
- **Инотропные:** влияние на силу сокращений.
- **Дромотропные:** влияние на проводящую систему сердца, характеризует ее работу.
- **Хронотропные:** влияние на частоту сердечных сокращений.
- *При взаимодействии 4 эффектов изменяются конечные результирующие показатели деятельности сердца.*

# Механизмы регуляции

- **Посредством внутрисердечных периферических рефлексов возможна регуляция силы сокращения миокарда.**
- **Различают 2 механизма регуляции силы сокращений миокарда:**
  - 1. Гетерометрическая регуляция**
  - 2. Гомеометрическая регуляция**

# Гетерометрическая регуляция

- В 1895 г. О. Франк выявил зависимость: **чем больше растянуто сердце, тем сильнее оно сокращается.**
- Окончательно такую зависимость проверил в 1918 г. Е. Старлинг.
- В последующем это явление получило название закона Франка-Старлинга.
- Суть его заключается в том, **что чем больше (до определенной величины) растягивается мышца желудочков (и предсердий) во время фазы наполнения, тем сильнее оно будет сокращаться во время систолы.**

# Гетерометрическая регуляция

- Установлено, что максимальное сокращение сердечная мышца совершает при длине **саркомера 1,9 – 2,2 мкм.**
- В этом случае число активно функционирующих мостиков достигает максимального значения.
- При дальнейшем растяжении мышцы взаимодействующие части актиновых и миозиновых нитей разъединяются,
- Число мест генерации силы уменьшается, сила сокращения падает.
- При длине саркомера, **равной 3,6 мкм**, сила сокращений **равна 0**, так как взаимодействие полностью отсутствует.
- Этот способ регуляции силы сокращений получил название **гетерометрической регуляции.**

# Внесердечный механизм

- Это центр нейрогенного влияния на мышцу сердца и гуморальные влияния.
- Механизмы влияют на саморегуляцию деятельности сердца,
- Наиболее ярко проявляются при возмущающих воздействиях.
- Обеспечивает адаптивную регуляцию деятельности сердца (**психоэмоциональное напряжение, высокие температуры, болевые раздражители**).
- Взаимодействие функций сердца с деятельностью сосудистой системы.

# Внесердечный механизм

- Обеспечивают интегративную регуляцию в связи с особенностями поведения и других физиологических процессов.
- Работа сердца с:
- дыхательной системой;
- пищеварительной системой;
- выделительной системой.
- Нервная экстракардиальная

# Результирующие показатели деятельности сердца

- **Систолический объем сердца:**
- В покое 75 мл;
- При работе 150 мл.
- **Минутный объем крови:**
- В покое 4 – 5 л;
- При нагрузке 25 – 30 л.
- **Частота сердечных сокращений:**
- В покое 60 – 80 ударов в минуту;
- При физической нагрузке 180 – 200 ударов в мин.
- **Системное артериальное давление**

# Результирующие показатели деятельности сердца

- **Ударный объем (УО) – количество крови, выбрасываемое сердцем за систолу.**

$$\text{УО} = 1,0 - 1,5 \text{ мл/кг м.т.}$$

- **Величина УО зависит от :**
  - 1. преднагрузки**
  - 2. постнагрузки**
  - 3. сократимости миокарда**

**1. Преднагрузка – объем желудочков в конце диастолы, т.е. это конечно – диастолический объем (КДО).**

- **Увеличение преднагрузки → увеличение УО**
- **Преднагрузка зависит от:**
  - 1. венозного возврата крови**
  - 2. ОЦК**

# Закон Старлинга

- Если ЧСС постоянна, то СВ прямо пропорционален преднагрузке до тех пор, пока не будет достигнут определенный КДО. По достижению этого объема СВ не изменяется, а затем уменьшается.
- закон Старлинга –

$$\frac{\text{КДО}}{\text{УО}}$$

## 2. Постнагрузка – сопротивление работе желудочков, которое возникает в большом круге кровообращения – системное сопротивление или ОПСС

- Величина ОПСС определяется прежде всего, диаметром артериол и прекапиллярных сфинктеров

$$\text{ОПСС} = \frac{\text{САД} \cdot 1333 \cdot 60}{\text{СВ}} = \text{дин} \cdot \text{см} / \text{сек}^{-5}$$

### **3. Сократимость – способность миокарда сокращаться при постоянных величинах пред- и постнагрузки**

**Сократимость миокарда снижается при:**

- **Гипоксемии**
- **Ацидозе**
- **Истощении запасов катехоламинов**
- **Большинство ингаляционных анестетиков и антиаритмических препаратов**

**Сердечный выброс (СВ) или МОС – количество крови, выбрасываемое правым и левым желудочками в единицу времени.**

- **СВ левого и правого желудочков равны**

$$\text{СВ} = \text{УО} \cdot \text{ЧСС}$$

**У взрослого СВ = 70 • 70 = 4900 мл.**

- **СИ =  $\frac{\text{СВ}}{S \text{ (м}^2\text{)}} = 2,5 - 4 \text{ л/мин/м}^2$**

# **Механизм Франка – Старлинга** **(адаптация сердца к** **кратковременной нагрузке объемом)**

- **Изолированное сердце при постоянной ЧСС может самостоятельно – посредством саморегуляции приспособлять свою деятельность к возрастающей нагрузке объемом, отвечая на нее увеличением СВ.**
- **Этот механизм лежит в основе приспособления сердца к увеличению нагрузки давлением**

# Сердечная недостаточность

**СН – состояние, при котором сердце не может перекачать столько крови, сколько необходимо для организма, хотя венозный приток при этом может быть достаточен и компенсаторные механизмы действуют.**

**Различают СН:**

- недостаточность покоя – СН наблюдается в покое;**
- недостаточность напряжения – СН развивается при физической нагрузке.**

# **Сердечная недостаточность**

- 1. Недостаточность левого желудочка → застой крови в легких.**
- 2. Недостаточность правого желудочка → застой в системных венах (отеки, асцит)**

**СН – снижение сократительной способности сердца  
(недостаточность миокарда)**

# **Основные причины развития сердечной недостаточности**

- 1. Хроническая перегрузка сердца давлением или объемом.**
- 2. Гипоксия миокарда (коронарный склероз, инфаркт миокарда).**
- 3. Воспаление (миокардит).**
- 4. Отравление некоторыми ядами**
- 5. Передозировка лекарственных препаратов**

## **2 типа недостаточности миокарда**

**1 тип** Угнетение ресинтеза креатинфосфата вследствие недостаточности выработки энергии (гипоксия миокарда, метаболические яды)

**2 тип** Запасы макроэргических фосфатов достаточны, но они не могут эффективно использоваться из-за нарушения активности процессов электромеханического сопряжения (передозировка антагонистов  $Ca^{2+}$ ; отравление местными анестетиками, барбитуратами и т.д.)

# Как увеличить сократимость миокарда ?

## 1. При первом типе СН:

- доставка кислорода
- оптимизация потребления кислорода
- макроэргические фосфаты

## 2. При втором типе СН:

- улучшение процессов электромеханического сопряжения (катехоламины, сердечные гликозиды)

## 3. При всех типах СН:

- снижение энергозатрат (уменьшение преднагрузки или постнагрузки)

**Спасибо за внимание !**