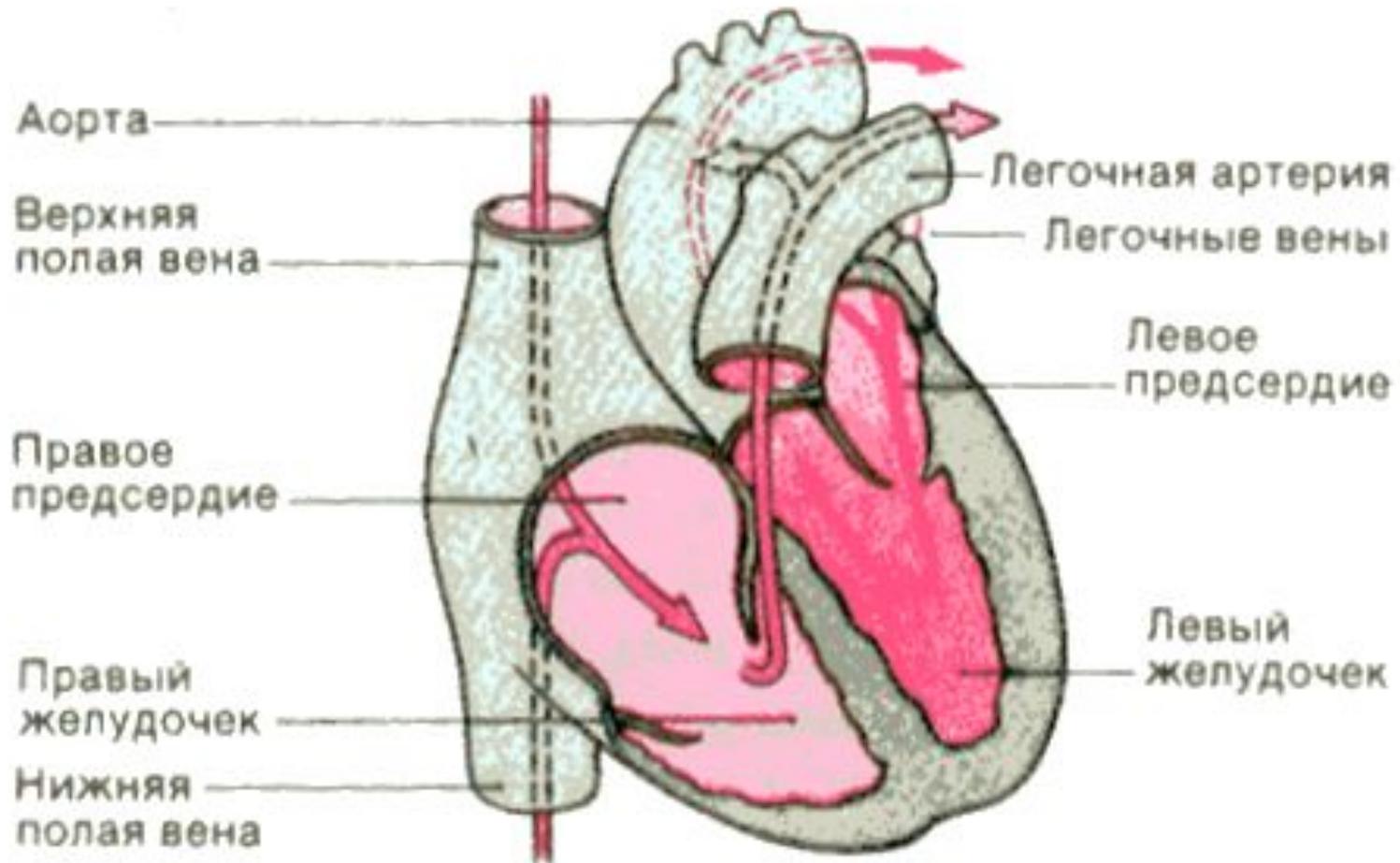


*клиническая физиология и  
патофизиология кровообращения*



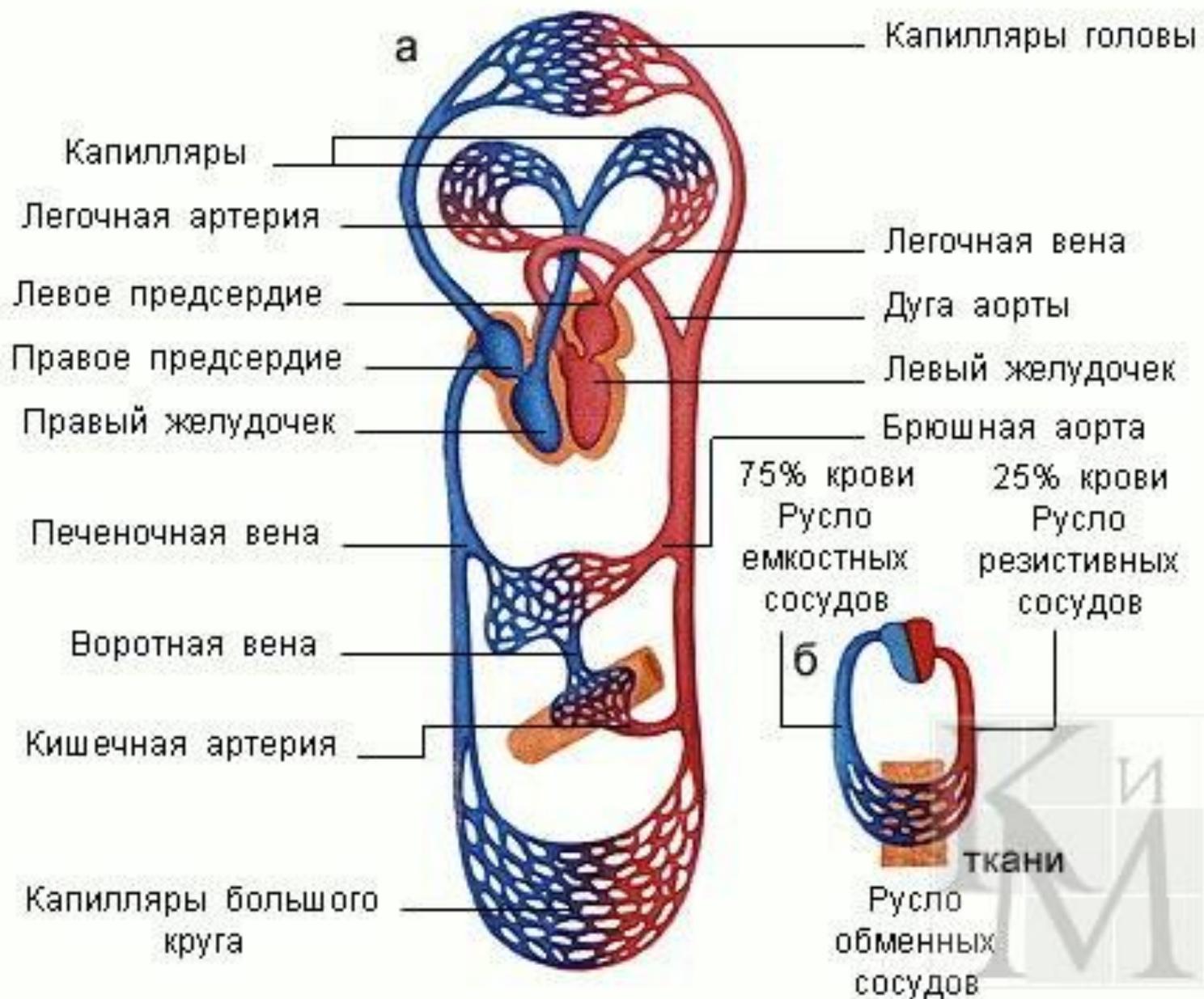
- Сердце.
- Сердце человека - полый мышечный орган. Сплошной вертикальной перегородкой сердце делится на левую и правую половины. Горизонтальная перегородка вместе с вертикальной делит сердце на четыре камеры. Верхние камеры - предсердия, нижние - желудочки.
- Стенка сердца состоит из трех слоев. Внутренний слой представлен эндотелиальной оболочкой (эндокард, выстилает внутреннюю поверхность сердца). Средний слой (миокард) состоит из поперечнополосатой мышцы. Наружная поверхность сердца покрыта серозной оболочкой (эпикард), являющейся внутренним листком околосердечной сумки - перикарда. Перикард (сердечная сорочка) окружает сердце, как мешок, и обеспечивает его свободное движение.

# Камеры сердца и крупные сосуды



А

- К системе кровообращения относятся сердце и сосуды - кровеносные и лимфатические. Основное значение системы кровообращения состоит в снабжении кровью органов и тканей.
- Сердце представляет собой биологический насос, благодаря работе которого кровь движется по замкнутой системе сосудов. В организме человека имеется 2 круга кровообращения.



- **Большой круг кровообращения** начинается аортой, которая отходит от левого желудочка, и заканчивается сосудами, впадающими в правое предсердие. Аорта дает начало крупным, средним и мелким артериям. Артерии переходят в артериолы, которые заканчиваются капиллярами. Капилляры широкой сетью пронизывают все органы и ткани организма. В капиллярах кровь отдает тканям кислород и питательные вещества, а из них в кровь поступают продукты обмена веществ, в том числе и углекислый газ. Капилляры переходят в венулы, кровь из которых попадает в мелкие, средние и крупные вены. Кровь от верхней части туловища поступает в верхнюю полую вену, от нижней - в нижнюю полую вену. Обе эти вены впадают в правое предсердие, где заканчивается большой круг кровообращения.

- **Малый круг кровообращения (легочный)** начинается легочным стволом, который отходит от правого желудочка и несет в легкие венозную кровь. Легочный ствол разветвляется на две ветви, идущие к левому и правому легкому. В легких легочные артерии делятся на более мелкие артерии, артериолы и капилляры. В капиллярах кровь отдает углекислый газ и обогащается кислородом. Легочные капилляры переходят в венулы, которые затем образуют вены. По четырем легочным венам артериальная кровь поступает в левое предсердие.

# 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.**

# 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.

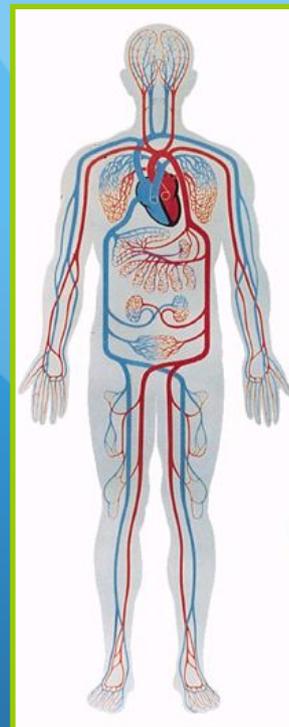
# Основные факторы:

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

# 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.

# 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**

- Сердечный цикл и его фазы.
- В деятельности сердца наблюдаются две фазы: систола (сокращение) и диастола (расслабление). Систола предсердий слабее и короче систолы желудочков. В сердце человека она длится 0,1-0,16 с. Систола желудочков - 0,5-0,56 с. Общая пауза (одновременная диастола предсердий и желудочков) сердца длится 0,4 с. В течение этого периода сердце отдыхает. Весь сердечный цикл продолжается 0,8-0,86 с.
- Систола предсердий обеспечивает поступление крови в желудочки. Затем предсердия переходят в фазу диастолы, которая продолжается в течение всей систолы желудочков. Во время диастолы предсердия заполняются кровью.

# Показатели сердечной деятельности.

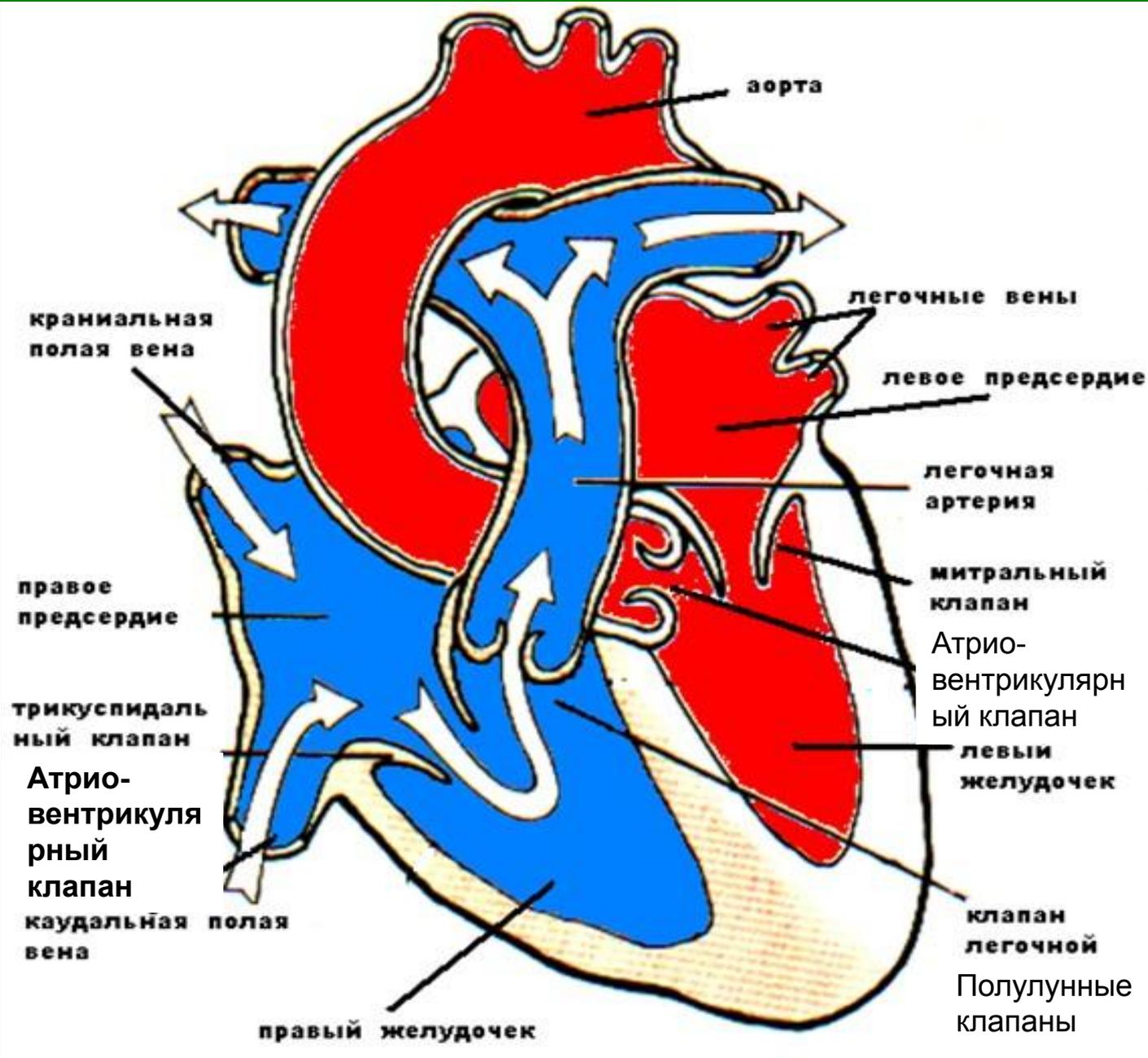
- **Ударный, или систолический, объем сердца** - количество крови, выбрасываемое желудочком сердца в соответствующие сосуды при каждом сокращении. У взрослого здорового человека при относительном покое систолический объем каждого желудочка составляет приблизительно **70-80 мл**. Таким образом, при сокращении желудочков в артериальную систему поступает 140-160 мл крови.
- **Минутный объем** - количество крови, выбрасываемое желудочком сердца за 1 мин. Минутный объем сердца - это произведение величины ударного объема на частоту сердечных сокращений в 1 мин. В среднем минутный объем составляет **3-5 л/мин**. Минутный объем сердца может увеличиваться за счет увеличения ударного объема и частоты сердечных сокращений.

- **Законы сердечной деятельности.**
- **Закон Старлинга - закон сердечного волокна.** Формулируется так: *чем больше растянуто мышечное волокно, тем сильнее оно сокращается.* Следовательно, сила сердечных сокращений зависит от исходной длины мышечных волокон перед началом их сокращений.

- Рефлекс Бейнбриджа (закон сердечного ритма). Это висцеро-висцеральный рефлекс: *увеличение частоты и силы сердечных сокращений при повышении давления в устьях полых вен*. Проявление этого рефлекса связано с возбуждением механорецепторов, расположенных в правом предсердии в области впадения полых вен. Механорецепторы, представленные чувствительными нервными окончаниями блуждающих нервов, реагируют на повышение давления крови, возвращающейся к сердцу, например, при мышечной работе. Импульсы от механорецепторов по блуждающим нервам идут в продолговатый мозг к центру блуждающих нервов, в результате этого снижается активность центра блуждающих нервов и усиливаются воздействия симпатических нервов на деятельность сердца, что и обуславливает учащение сердечных сокращений.

# ФИЗИОЛОГИЯ МИОКАРДА

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



# 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.

# 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.

# 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

- 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.

# 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.

Деполяризация мембран кардиоцитов



Увеличение концентрации внутриклеточного Са



Са + актин и миозин



**Сокращение мышцы**

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

# 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.

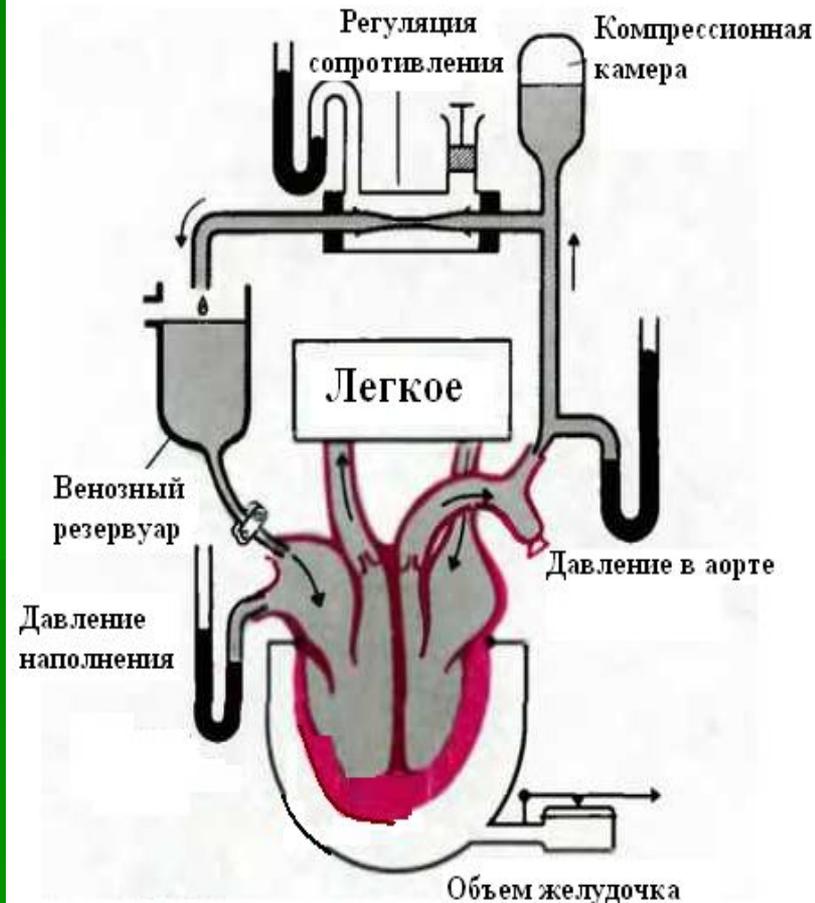
# **Механизм Франка – Старлинга** **(адаптация сердца к** **кратковременной нагрузке объемом)**

- **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**

# Закон Франка-Старлинга

- Франк опытами на сердце лягушки установил, что работа желудочка возрастает при увеличении давления физраствора, который растягивает полость желудочка. Старлинг на изолированном сердце собаки показал, что чем больше желудочки растягиваются кровью во время диастолы, тем сильнее их сокращение в следующую систолу.

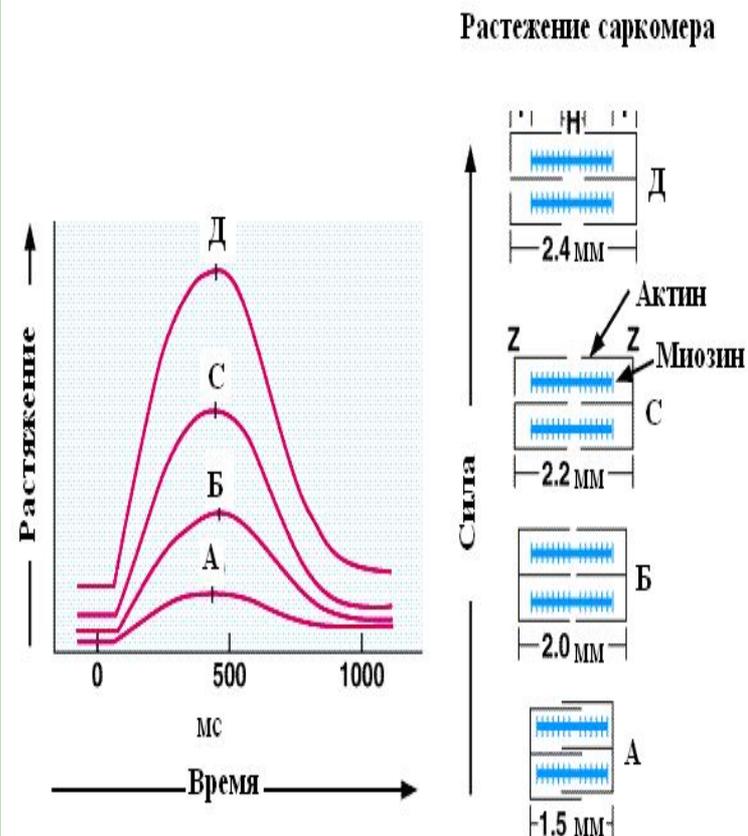
Схема сердечно-легочного препарата по Старлингу



# Суть закона Франка-Старлинга

- Отсюда был выведен "закон сердца" (закон Франка-Старлинга или гетерометрический механизм регуляции): сила сокращения волокон миокарда зависит от их конечно-диастолической длины.
- Из закона сердца следует, что увеличение заполнения сердца кровью ведет к росту силы сердечных сокращений. Уменьшение силы сокращения миокарда наблюдается при его розтяжении больше чем на 25 % исходной длины. В здоровом сердце такого розтяжения не происходит (только на 15-20 %).
- Гетерометрический механизм регуляции не является единственным механизмом саморегуляции работы сердца. В ходе сердечной деятельности в волокнах миокарда возникают изменения сократительности не обусловленные увеличением конечно-диастолической длины. Эти изменения сократительности названы гомеометрической регуляцией.

## Закон Франка-Старлинга



# Суть эффекта Анрепа

- При изучении влияния на сердечную деятельность повышенного давления в аорте, Анрепом было установлено, что увеличение давления в аорте ведет к росту силы сердечных сокращений.
- Сердце выбрасывало против увеличенного сопротивления такой же объем крови, который выбрасывался при меньшем давлении в аорте, выполняя большую работу. При неизменной частоте сокращений увеличивалась мощность каждой систолы. Возможно объяснение эффекта Анрепа заключается в том, что повышение давления в аорте ведет к увеличению коронарного кровотока и улучшению метаболизма миокарда и как следствие усиления сокращения.

# Феномен Боудичи

- Феномен Боудичи - это увеличение силы сердечных сокращений при увеличении частоты сокращений
- Феномен, или лестница Боудичи, предопределен увеличением концентрации ионов кальция в кардиомиоцитах, которые поступают им во время фазы медленной реполяризации (плато).
- Увеличение частоты сердечных сокращений приводит к уменьшению трансмембранного  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  - обмена.

- Преднагрузка

- Преднагрузка - это та сила, которая действует на мышечные волокна непосредственно перед их сокращением. Изменения преднагрузки влияют на конечно-диастолический объём, важную определяющую функции желудочка, которую можно получить через кривую конечно-диастолическое давление/ударный объём. Однако, конечно-диастолическое давление не всегда является точным отражением конечно-диастолического объёма, особенно у больных с ХОЗЛ.

- **Преднагрузка**
- Ударный объём зависит от преднагрузки, постнагрузки и сократимости.
- Преднагрузка - это мера напряжения стенки левого желудочка в конце диастолы. Она трудно поддаётся прямому количественному определению.
- Непрямыми показателями преднагрузки служат центральное венозное давление (ЦВД), давление заклинивания лёгочной артерии (ДЗЛА) и давление в левом предсердии (ДЛП). Эти показатели называют «давлениями наполнения».
- Конечно-диастолический объём левого желудочка (КДОЛЖ) и конечно-диастолическое давление в левом желудочке считаются более точными показателями преднагрузки, однако они редко измеряются в клинической практике. Ориентировочные размеры левого желудочка могут быть получены с помощью трансторакального или (точнее) чреспищеводного УЗИ сердца. Кроме того, конечно-диастолический объём камер сердца высчитывается с помощью некоторых методов исследования центральной гемодинамики (PiCCO).

- Постнагрузка

- Постнагрузка является постоянным давлением, оказываемым на стенку желудочка во время его активного сокращения. Оно прямо зависит от давления внутри полости желудочка и внутренних размеров желудочков и обратно пропорциональна толщине стенки желудочка. Постнагрузка для левого желудочка может быть измерена как средняя окружность середины стенки желудочка и её укорочение и коррелирует с фракцией выброса. Это измерение для правого желудочка недоступно в связи с его геометрическим строением.

- **Постнагрузка**

- Постнагрузка - это мера напряжения стенки левого желудочка во время систолы.

- Она определяется преднагрузкой (которая обуславливает растяжение желудочка) и сопротивлением, которое встречает сердце при сокращении (это сопротивление зависит от общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС), податливости сосудов, среднего артериального давления и от градиента в выходном тракте левого желудочка).

- ОПСС, которое, как правило, отражает степень периферической вазоконстрикции, часто используется как не прямой показатель постнагрузки. Определяется при инвазивном измерении параметров гемодинамики.