

# Сердечно-сосудистая система

## Физиологические свойства и функции сердца



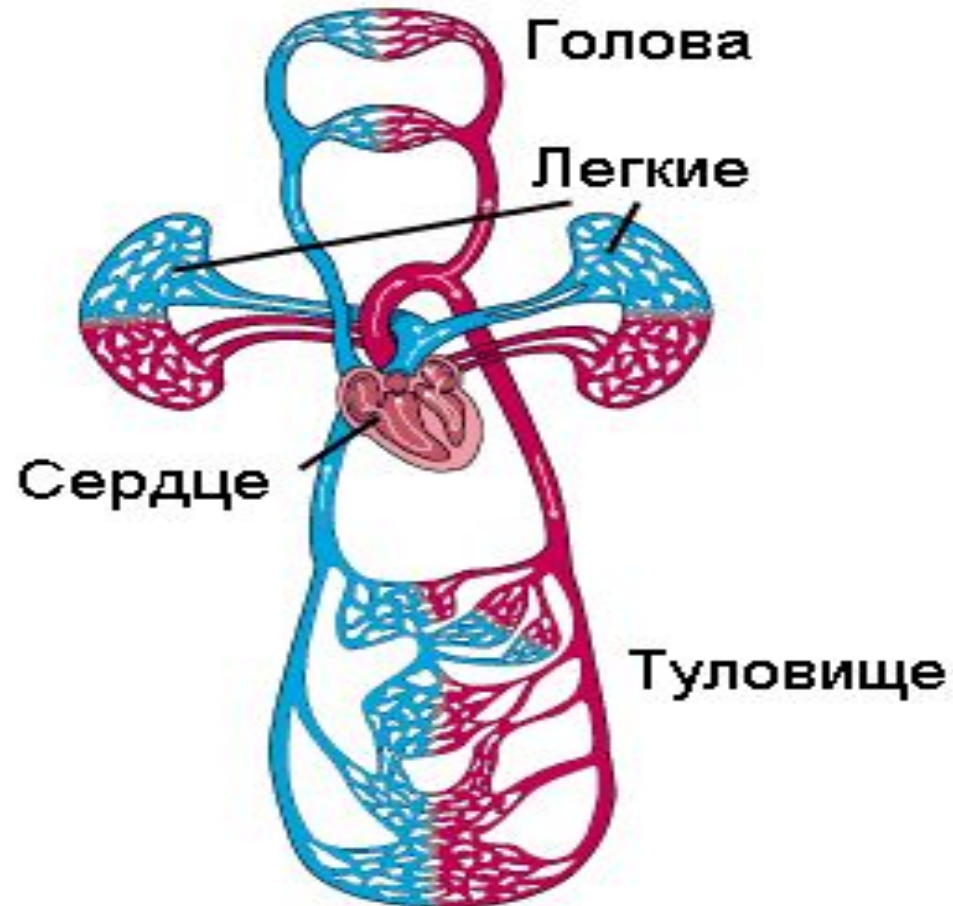
Презентация подготовлена к.б.н., доц. Логвин В.П.

# План:

1. Строение и функции сердечно-сосудистой системы.
2. Факторы кровообращения.
3. Строение сердца, функции клапанного аппарата.
4. Физиологические особенности миокарда и его функциональные свойства:
  - автоматия,
  - возбудимость,
  - проводимость
  - сократимость.
5. Фазы сердечного цикла, их рабочие изменения.

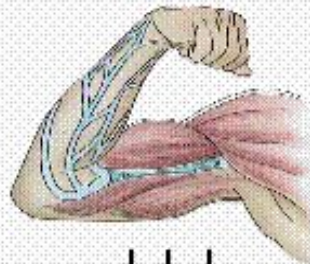
- ◆ Непрерывное движение крови в организме обеспечивается системой **органов кровообращения**, к которым относятся сердце и сосуды.
- ◆ Сосуды у человека образуют замкнутую систему, состоящую из **двух кругов** кровообращения: большого и малого.
- ◆ Круги кровообращения были открыты У. Гарвеем в 1625 г.

# Круги кровообращения



- ◆ Основным источником **кинетической** энергии для движения крови по сосудам является сердце, сокращения которого создают ускорение крови при ее выбросе из желудочков.
- ◆ Определенную роль в движении крови играет *эластическое сопротивление сосудов*, обеспечивающее **потенциальную** энергию, а также т.н. *внесердечные факторы*.
- ◆ Направление движению крови задается градиентом давления от желудочков к предсердиям.

Мышца сокращена  
клапан закрыт



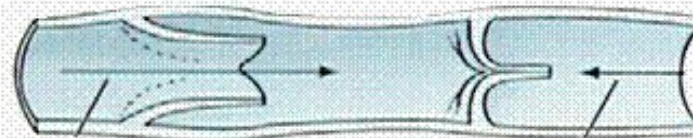
Клапан открыт



Мышца расслаблена  
клапан открыт



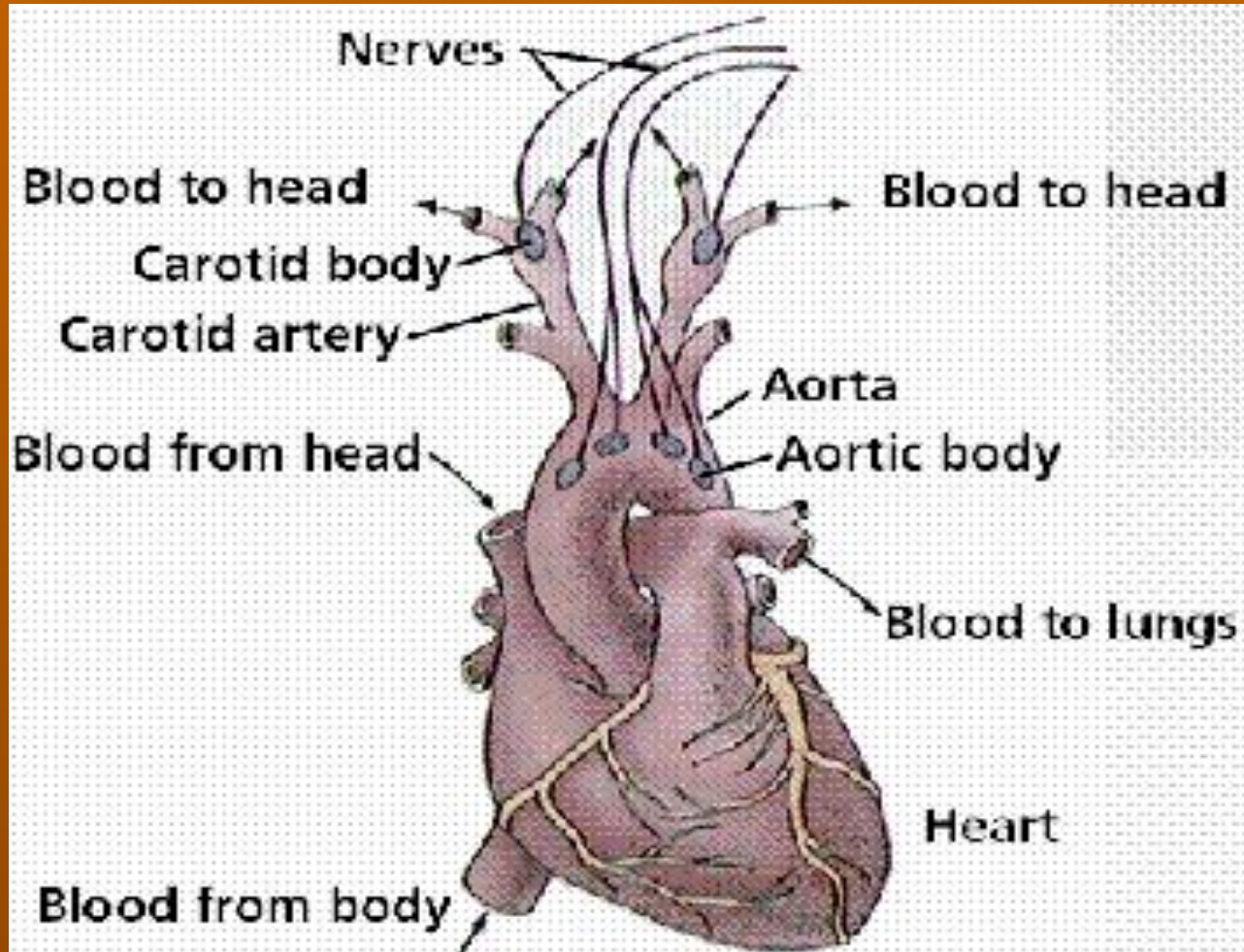
Клапан закрыт



Кровь проталкивается вперед  
сокращением мышцы и,  
возможно, гравитацией

Обратный ток крови и,  
возможно, гравитация закрывает  
венозный клапан

# Сердце (внешний вид)

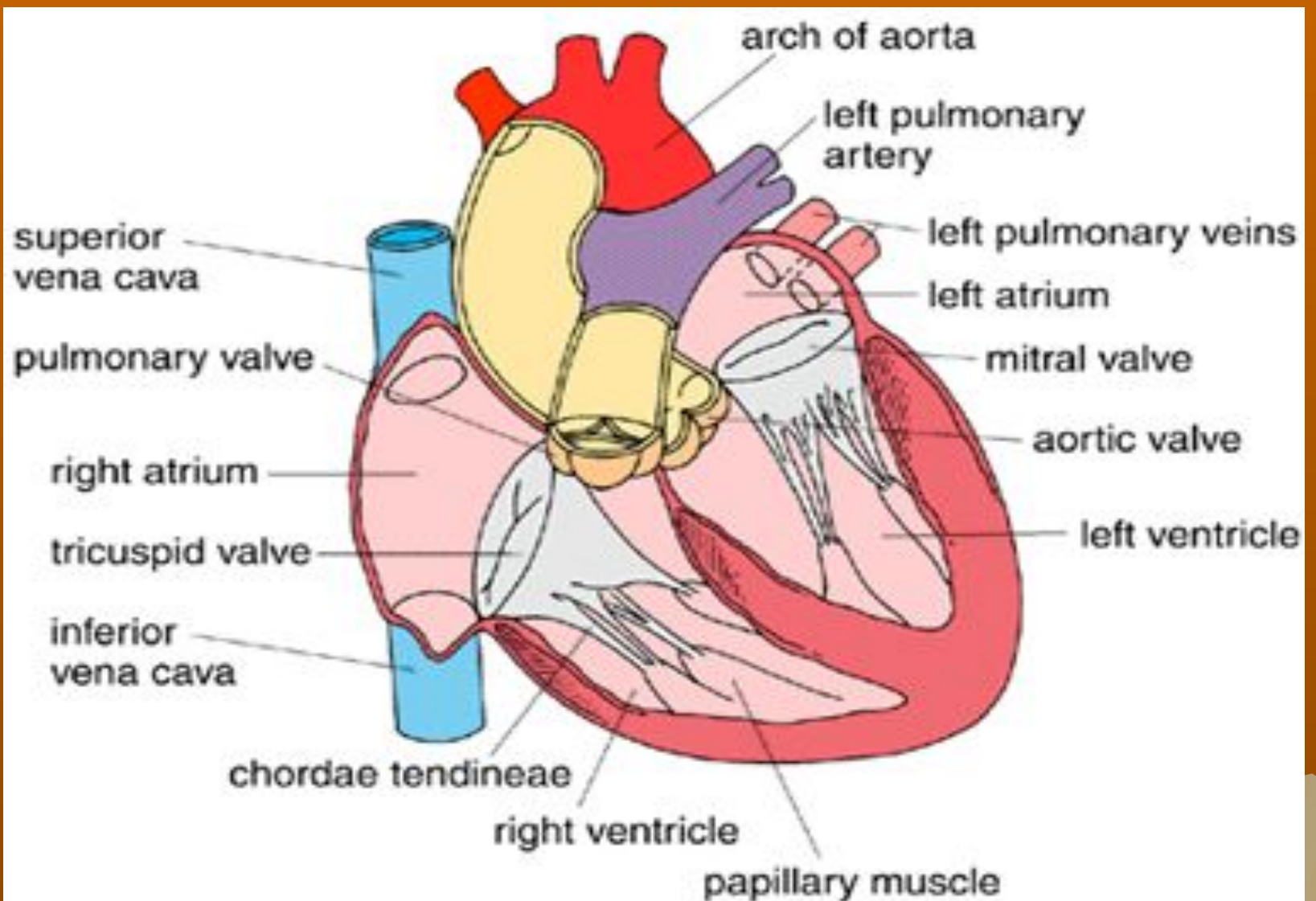


# Строение сердца

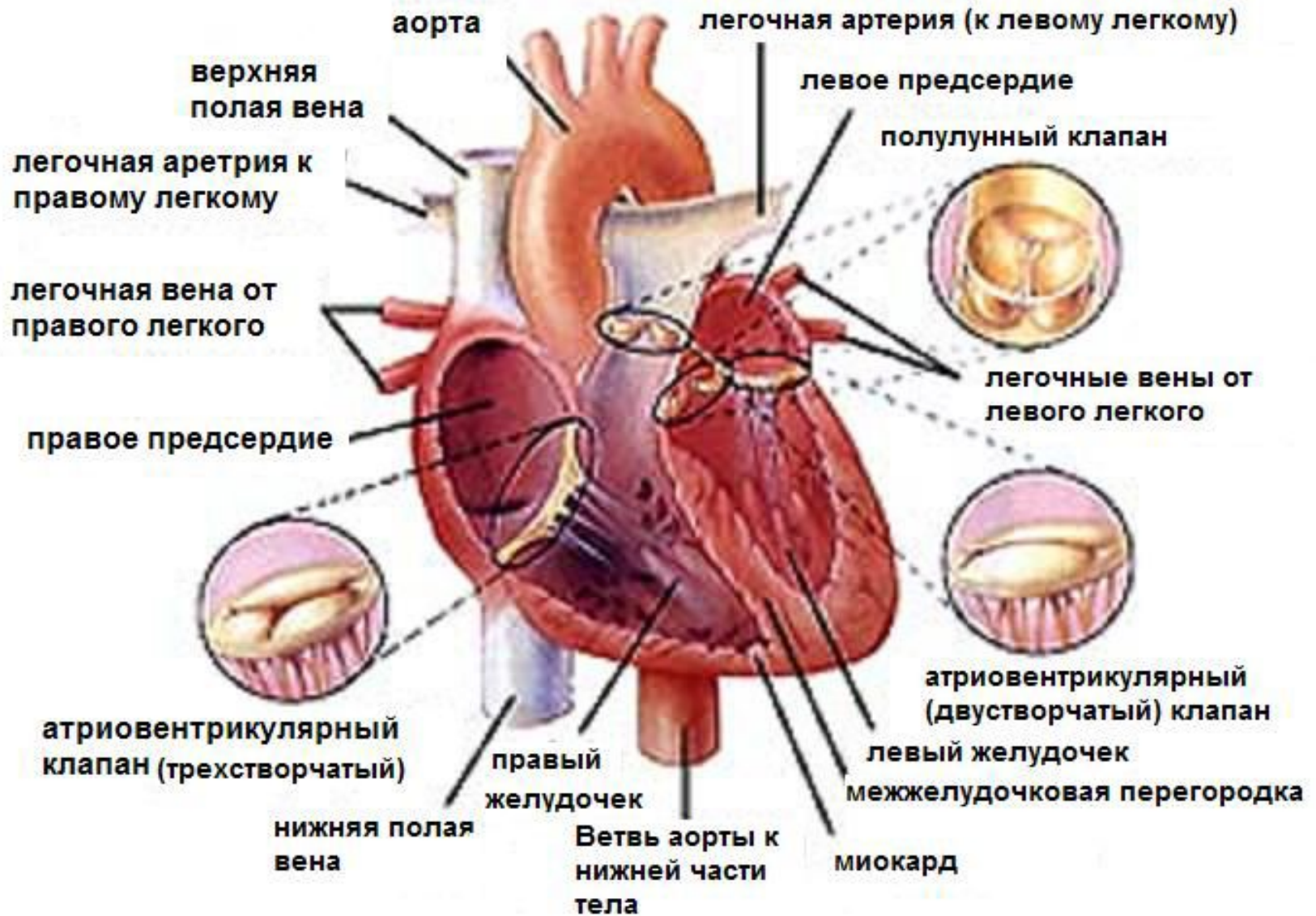
- ◆ Сердце человека состоит из двух половин, разделенных сплошной перегородкой.
- ◆ Между предсердиями и желудочками есть предсердно-желудочковая перегородка с **атриовентрикулярным отверстием**.
- ◆ Его закрывают **атриовентрикулярные клапаны**:
  - слева **двухстворчатый (митральный)**,
  - а справа – **трехстворчатый**,*которые* открываются лишь в сторону желудочков.
- ◆ Кроме клапанов отверстия имеют также кольцевые мышцы.
- ◆ От левого желудочка отходит **аорта**, а от правого – **легочная артерия**.
- ◆ Выходы из желудочков закрываются **полулунными** клапанами-кармашками, которые открываются током крови при сокращении желудочков и закрываются при их расслаблении.



# Строение сердца



# Строение сердца

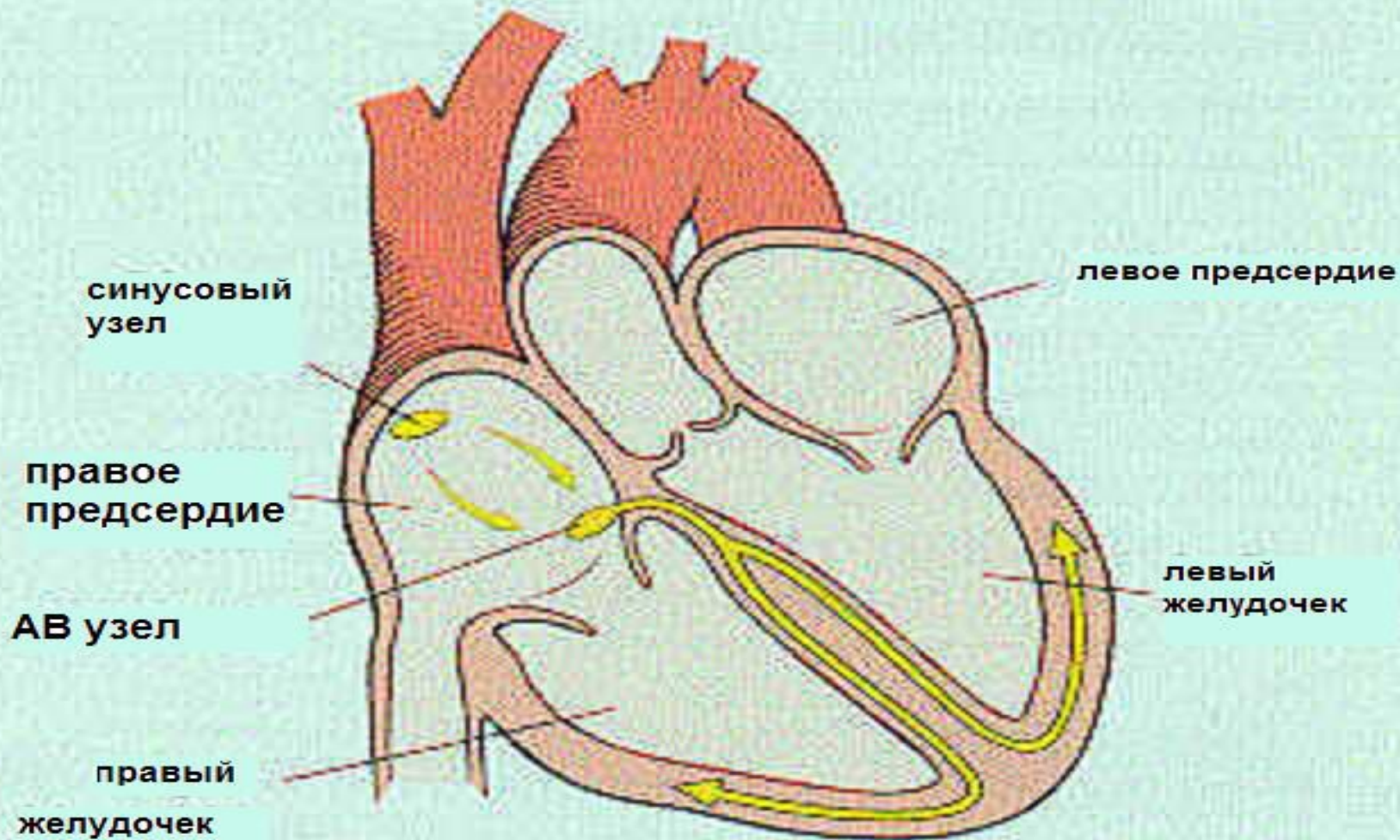


# Строение сердца

- ◆ В стенке сердца 3 слоя:
  - эндокард
  - миокард
  - перикард (эпикард).
- ◆ Основную массу сердца составляет **миокард**.
- ◆ Мышечный слой желудочков (особенно левого) более толстый, чем предсердий.
- ◆ Клетки миокарда имеют поперечнополосатую структуру, но рядом особенностей отличаются от скелетных мышц.
- ◆ Отдельные мышечные волокна соединены между собой в последовательную цепочку с общей мембраной, в них намного больше митохондрий.

# Физиологические особенности миокарда

- ◆ В миокарде есть **атипичные** мышечные единицы с высокой спонтанной активностью и способностью передавать возбуждение ко всем мышечным слоям и координировать последовательное сокращение камер сердца.
- ◆ Эти волокна обеспечивают **автоматию** и образуют **проводящую систему** сердца.
- ◆ Сократительные волокна миокарда также способны передавать возбуждение между собой благодаря специальным вставочным дискам с очень низким электрическим сопротивлением



**Электрическая система сердца**

# Автоматия сердца

- ◆ Атипичные волокна образуют **узлы автоматии** (водители ритма).
- ◆ Всеводители ритма находятся в соподчиненном положении в соответствии с **градиентом их автоматии**.
  - Узел 1-го порядка генерирует 60-80 разрядов в минуту,
  - второго - 40-50,
  - пучок Гиса - 30-40 и
  - волокна Пуркинье - 20 имп/мин.
- ◆ В норме частоту сокращений сердца определяет **синусовый узел**, а все остальные ему подчиняются.

# Возбудимость сердца

1. Сердце может возбуждаться электрическими, химическими, термическими раздражителями.
2. Подпороговые раздражители не могут вызвать возбуждения сердца (**закон «все или ничего»**).
3. Во время сердечного цикла (0,3 с) в сердце наблюдается **рефрактерный** период и оно невосприимчиво к повторным раздражителям.
  - ПД в 150 раз >, чем в скелетной мышце и рефрактерный период миокардиальной клетки в 100 раз >.
  - Т.о. 20-30 мс сердечная мышца **невосприимчива** к повторным раздражителям.

# Возбудимость сердца

- ◆ До окончания систолы сердце не может отвечать на последующие раздражения
  - Это исключает тетанический режим сокращений сердца.
- ◆ Затем 0,03 с фаза относительной рефрактерности, за ней – супернормальная возбудимость.

В это время может возникнуть внеочередное сокращение – **экстрасистола**, а за ней – компенсаторная пауза, т.к. очередной импульс возбуждения придет в фазу абсолютной рефрактерности.



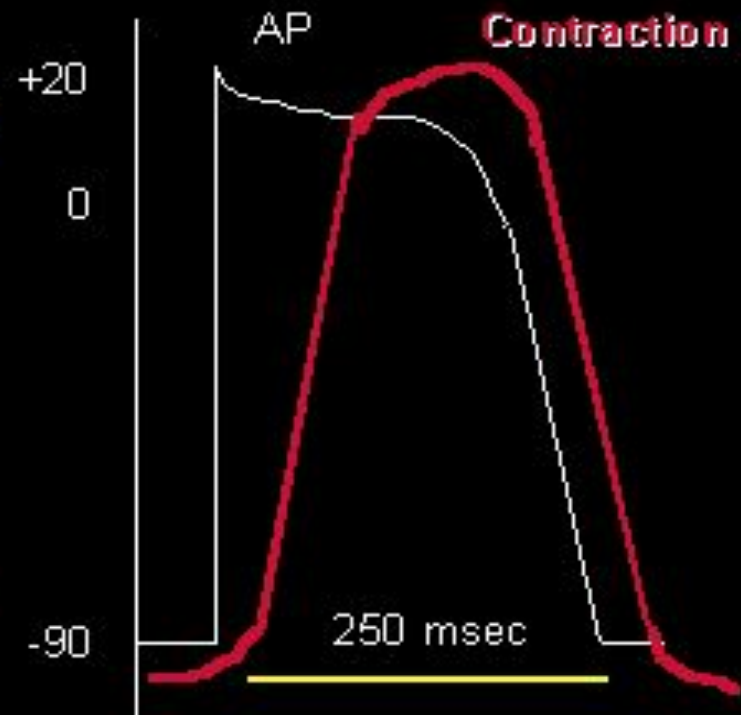
# Рефрактерность миокарда



## Refractory Period

- ◆ **L-O-N-G** (*250 msec*)
- ◆ membrane is refractory to further stimulation until the contraction is over

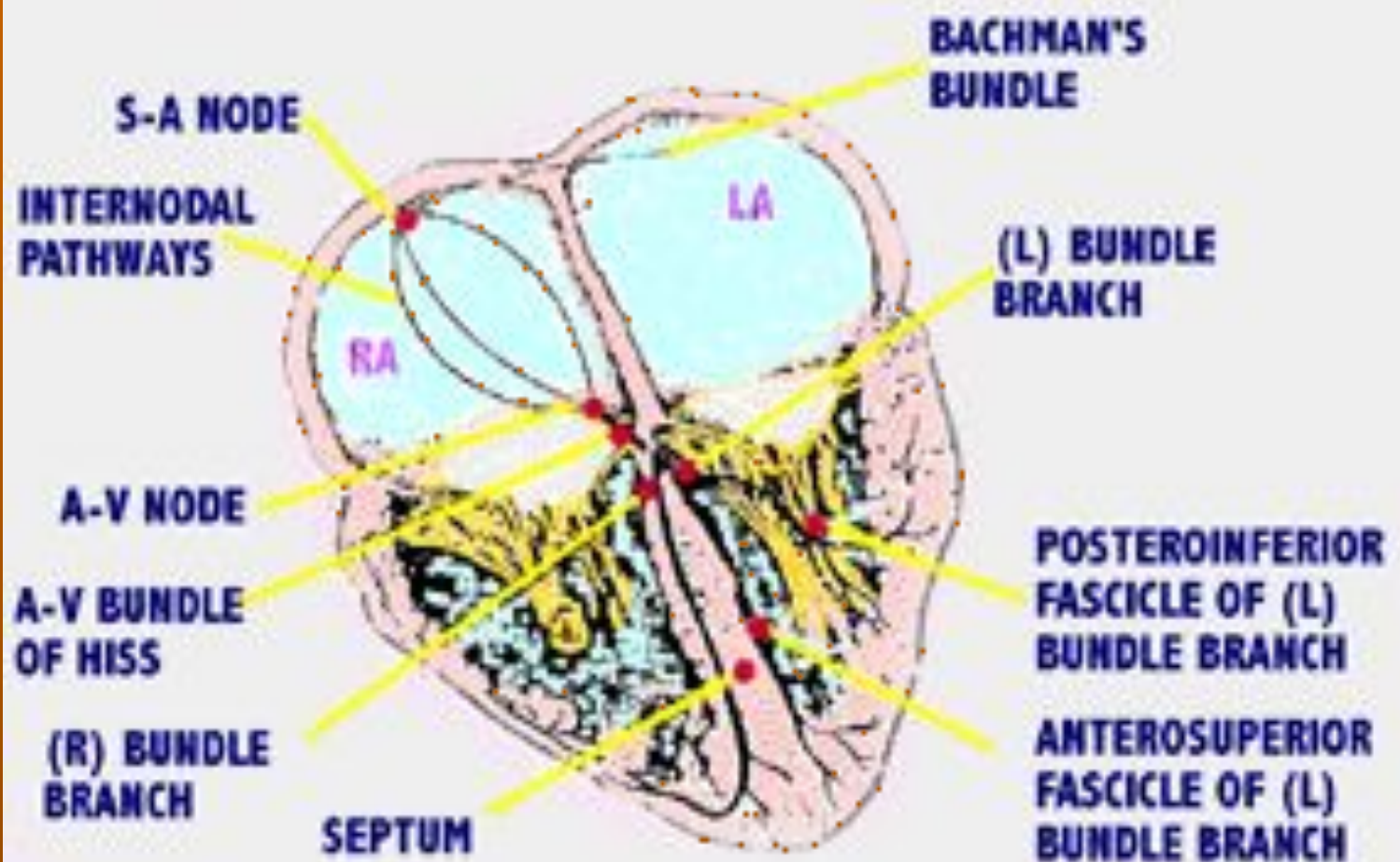
➔ **NO SUMMATION OR TETANY POSSIBLE!**



# Проводимость

1. Возбуждение из узла автоматии распространяется по всему миокарду, но **с разной скоростью**:
  - по волокнам Пуркинье – 2-4,2 м/с;
  - по пучку Гиса – 1-1,5 м/с;
  - по миокарду
    - предсердий – 1 м/с; желудочков – 0,8-0,9 м/с;
  - от предсердий к АВ узлу – 0,02-0,05 м/с.
2. В АВ узле происходит **задержка** проведения на 0,02-0,04 с.

Благодаря ей желудочки полностью расслабляются и сокращаются **после** предсердий и обеспечивается насосная функция сердца.



# Сократимость.

1. Миокард сокращается **только в одиночном** режиме.
2. Сила сокращения волокон сердечной мышцы зависит от их исходной длины (**закон Франка-Старлинга** или закон сердца).

Чем больше сердце наполняется кровью - тем больше растягиваются его волокна - тем сильнее оно сокращается (гетерометрическая регуляция).

3. Сила сердечных сокращений растет при увеличении ЧСС (гомеометрическая регуляция).

4. Основным источником энергии для сердца является **окислительное фосфорилирование** углеводов, в т.ч. и лактата.

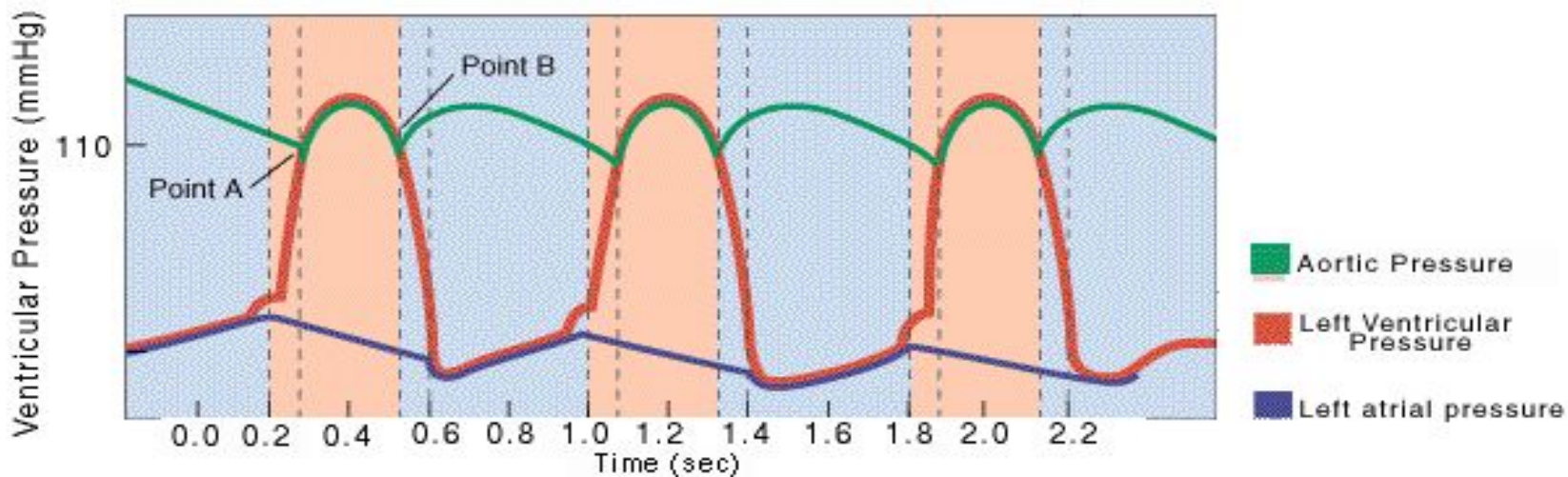
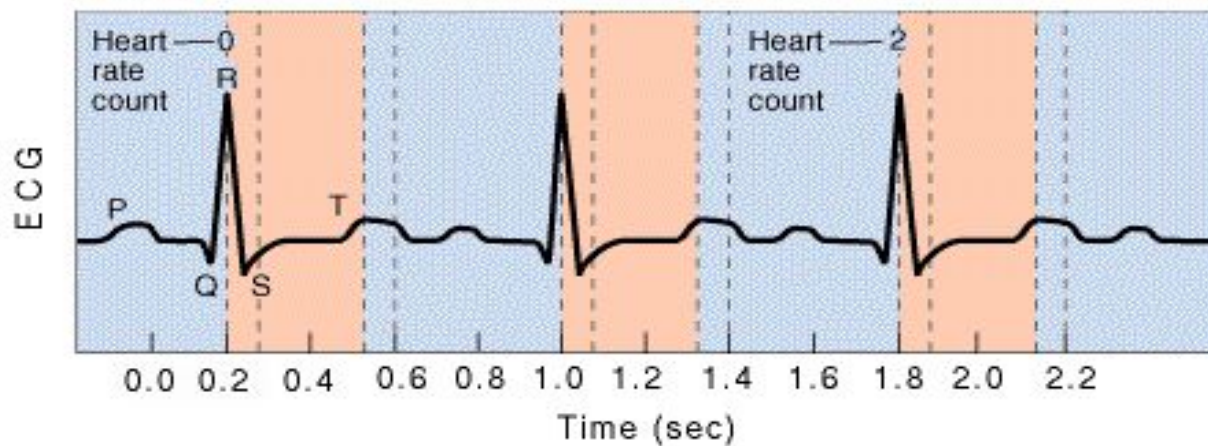
Гликолитическое фосфорилирование используется незначительно.

# Физиологические свойства и функции сердца

1. Электрические явления в сердце. ЭКГ.
2. Фазы сердечного цикла.
3. Показатели производительности сердца: ЧСС, СОК, МОК и работа сердца при мышечной активности.

- ◆ Запись изменения биопотенциалов сердца в определенных точках тела называют ЭКГ.
- ◆ На ней различают основные зубцы: P, Q, R, S, T.
- ◆ При анализе ЭКГ обращают внимание на высоту, форму зубцов и расстояния между ними, которые характеризуют процессы возбуждения и проведения по отделам сердца.

# Электрические явления в сердце. ЭКГ.

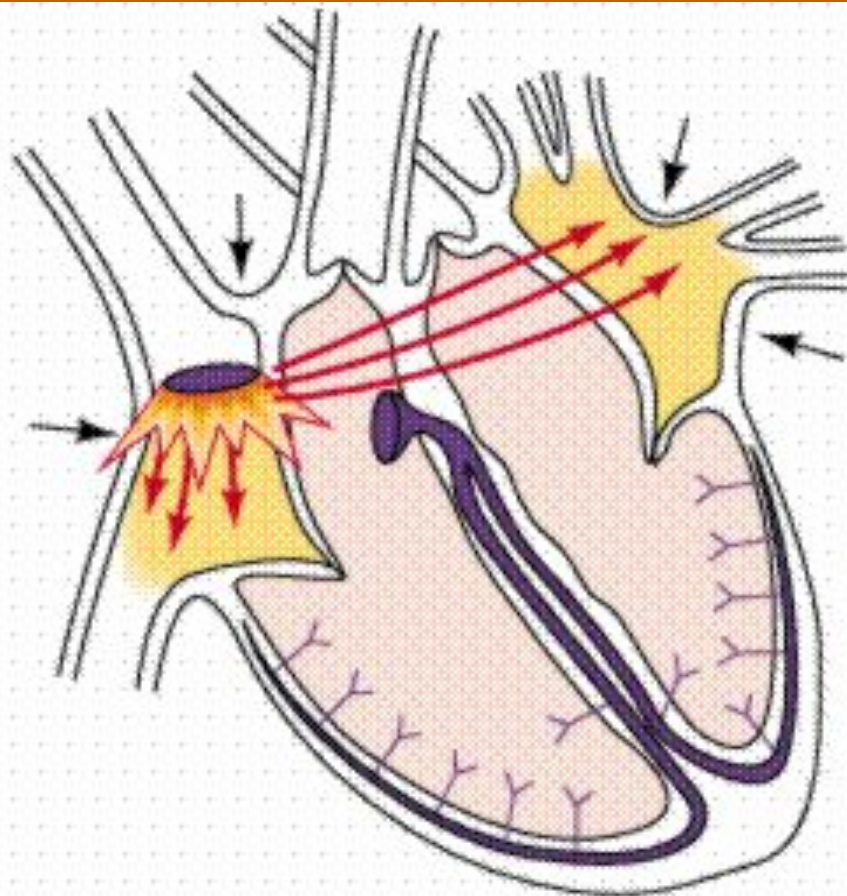


# Фазы сердечного цикла

- ◆ Весь цикл работы сердца состоит из **трех фаз**: систолы предсердий, систолы желудочков и общей паузы.
- ◆ Началом каждого цикла считается **систола предсердий**, которая длится 0,1 сек.
- ◆ Затем начинается **систола желудочков** (0,3 сек). Предсердия в это время расслаблены.
- ◆ В систоле желудочков различают 2 периода: напряжения и изгнания.

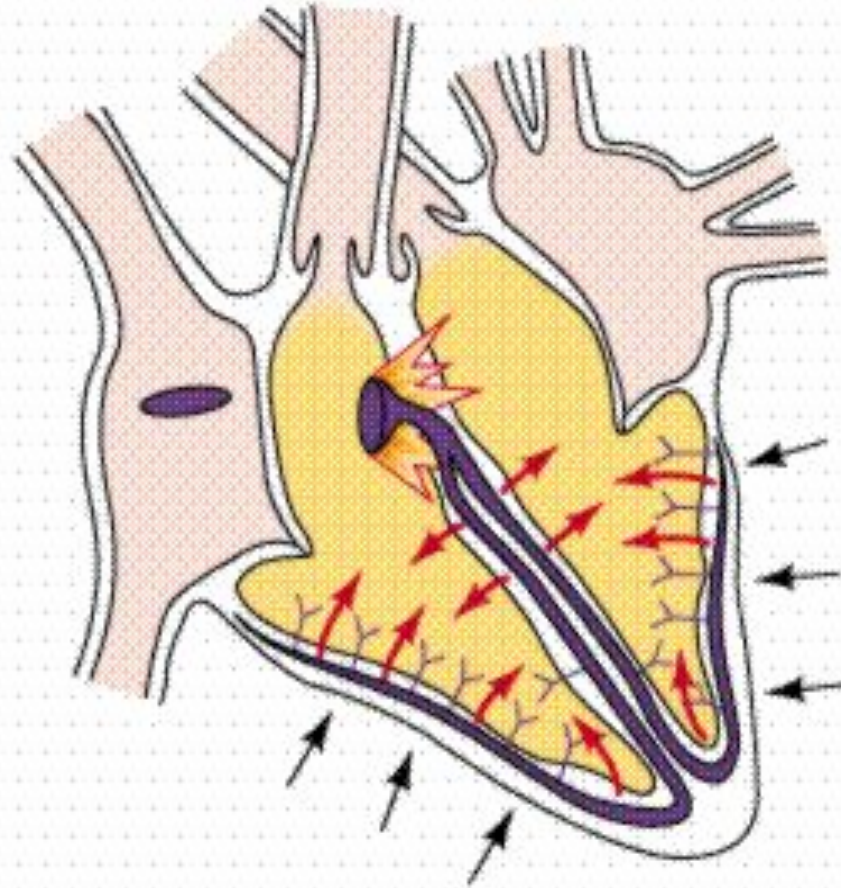


# Возбуждение предсердий



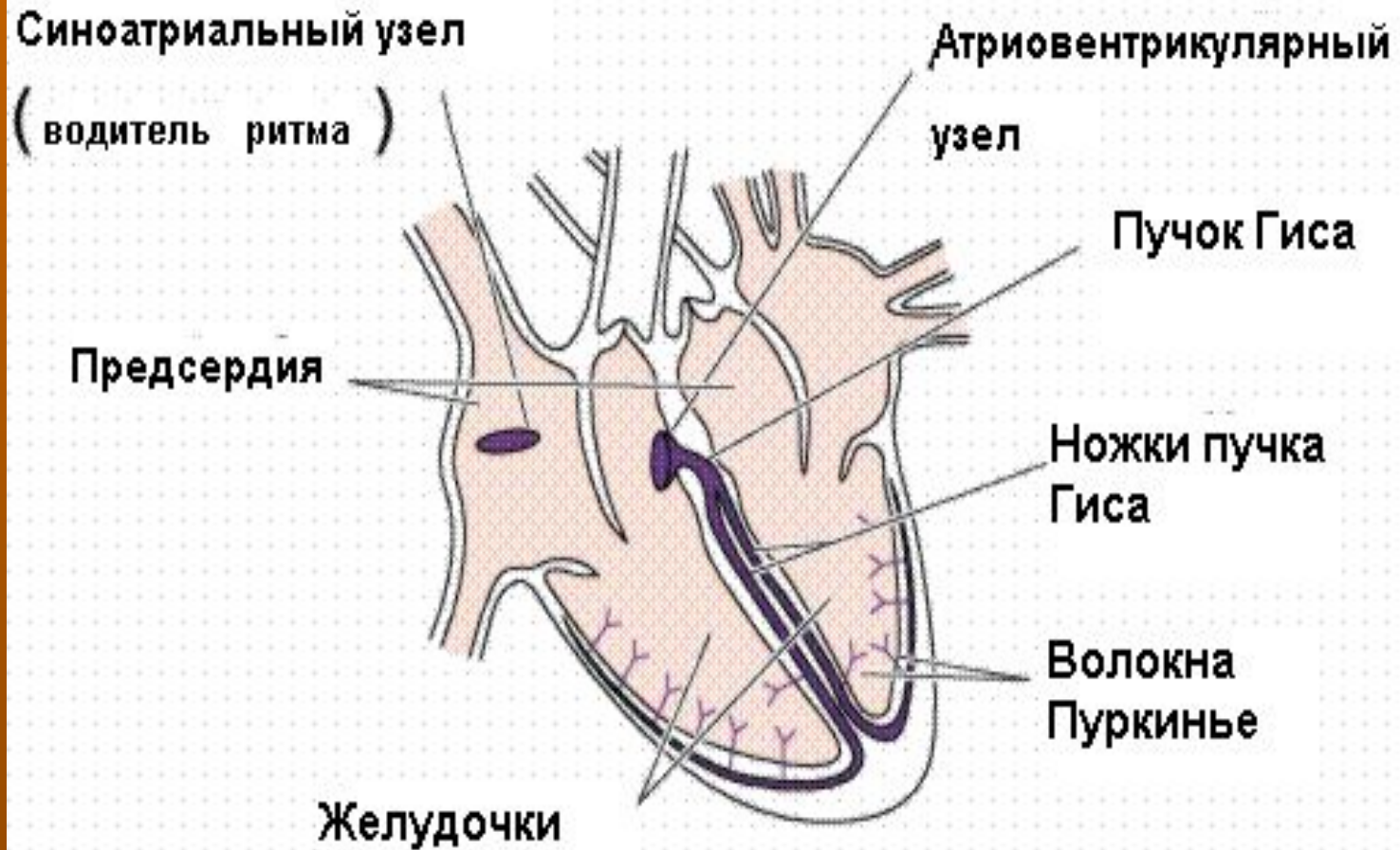
**Возбуждение синоatriального узла вызывает потенциал действия и сокращение предсердий**

# Возбуждение желудочков



**При возбуждении А-В узла импульсы распространяются по проводящей системе желудочков и вызывают их сокращение**

# Расслабление сердца

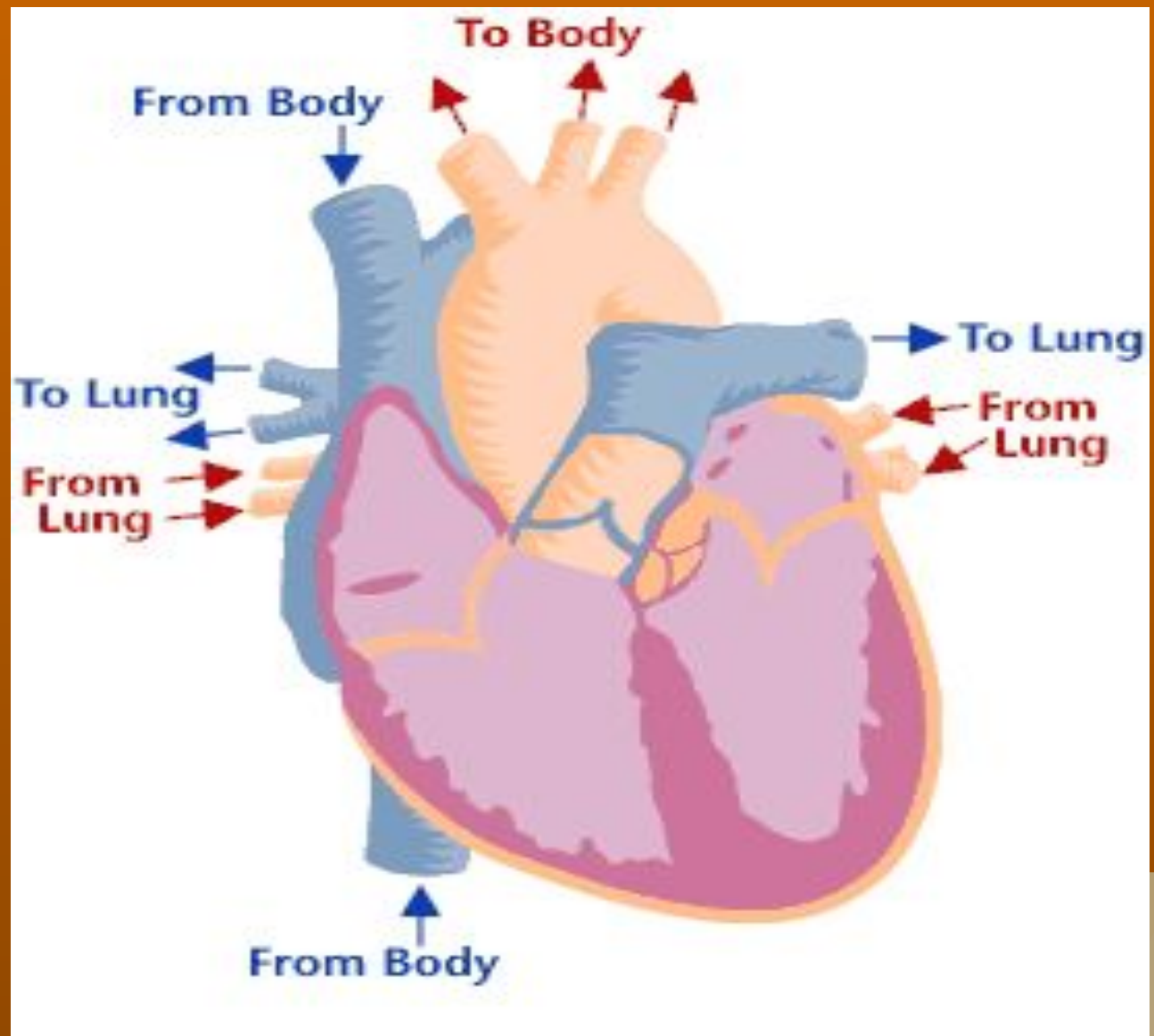


Сердце расслаблено (общая пауза)

- ◆ **Период напряжения** состоит из 2 фаз:
  - асинхронного сокращения,
  - изометрического сокращения.
- ◆ При *асинхронном сокращении* (0,047-0,075 с) не все волокна миокарда желудочков возбуждены, и давление в полостях не повышается.
- ◆ Когда возбуждение охватывает все волокна, давление резко растёт и достигает 70-88 мм рт.ст. в левом и 15-20 мм в правом.
- ◆ Кровь оказывается в замкнутом объеме.

- ◆ Начинается *изометрическое сокращение*.
- ◆ Давление продолжает расти, стенка левого желудочка растягивается и ударяет в грудную клетку - *сердечный толчок*.
- ◆ На ЭКГ это отражается в комплексе QRS.
- ◆ Когда давление в желудочках достигает 130 и 25 мм рт.ст. (выше, чем в аорте и легочной артерии) - полулунные клапаны открываются, и начинается *период изгнания* крови.
- ◆ В конце фазы быстрого изгнания на ЭКГ регистрируется Т-волна, отражающая *реполяризацию* желудочков.

# Фазы сердечного цикла



# Общая пауза

- ◆ По мере снижения давления в желудочках полулунные клапаны захлопываются, и миокард желудочков начинает расслабляться.
- ◆ В это время закрыты все желудочковые клапаны, а предсердия наполняются кровью и сокращаются.
- ◆ Когда давление в них становится выше, чем в желудочках - открываются атриовентрикулярные клапаны и начинается наполнение кровью желудочков.
- ◆ В это время и желудочки, и предсердия расслаблены и наблюдается **общая пауза**.
- ◆ Одновременно происходит закачка Са в СПР, обеспечивающая последующее сокращение миофибрилл.

- ◆ Длительность всех фаз сердечного цикла зависит от ЧСС, которая растет во время работы (рабочая тахикардия).
- ◆ В наибольшей степени **при тахикардии сокращается продолжительность диастолы и меньше - систолы.**



# Рабочие изменения фаз сердечного цикла

- ◆ Длительность периода изгнания уменьшается незначительно и только при работе максимальной мощности может укорачиваться **до 2 раз**.
- ◆ СОК при этом может даже расти.
- ◆ Диастола может укорачиваться в **5 раз** по сравнению с покоем. (0,1-0,5 с).
- ◆ При этом полностью исчезает фаза медленного наполнения желудочков, но из-за увеличения венозного устья и давления крови, наполнение сердца кровью долго сохраняется почти без изменений.

# Показатели работы сердца

- ◆ Средние величины СОК (при вертикальном положении):
  - у мужчин составляют 70-90 мл в покое и 130-150 при работе.
  - у женщин соответственно, - 50-70 и 90-120.
- ◆ При горизонтальном положении он и во время работы выше на 30-50% в покое, т.к. облегчается венозный возврат и работает механизм Франка-Старлинга.

- ◆ Максимальные величины СОК наблюдаются при аэробной работе субмаксимальной и максимальной мощности (160-170 уд/мин), но у некоторых людей может сохраняться и при 190-200 уд/мин.
- ◆ Это достигается высокой тренированностью и генетическими особенностями организма.
- ◆ В покое МОК = 4-6 л у мужчин и 3-5 л у женщин а при напряженной работе повышается до 30-35 л, т.е. в 6-8 раз.

# Сердечно-сосудистая система

## Гемодинамика

Презентация подготовлена к.б.н.,  
доцентом В.П.Логвин

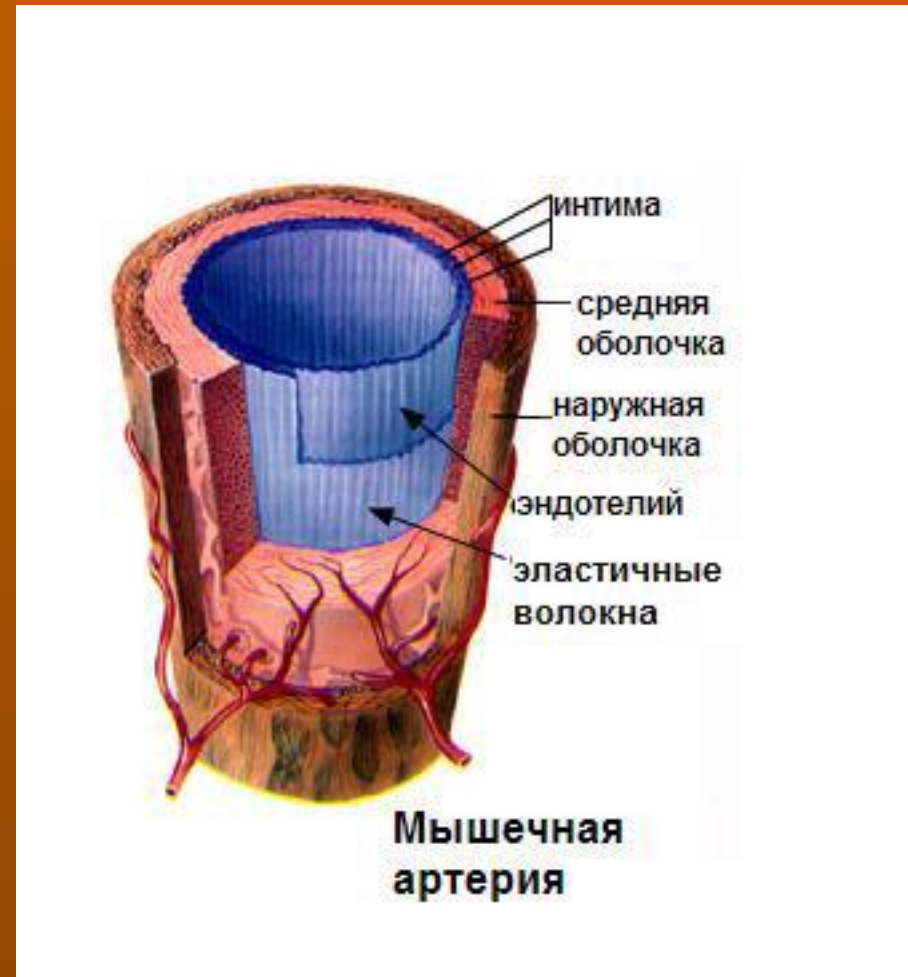
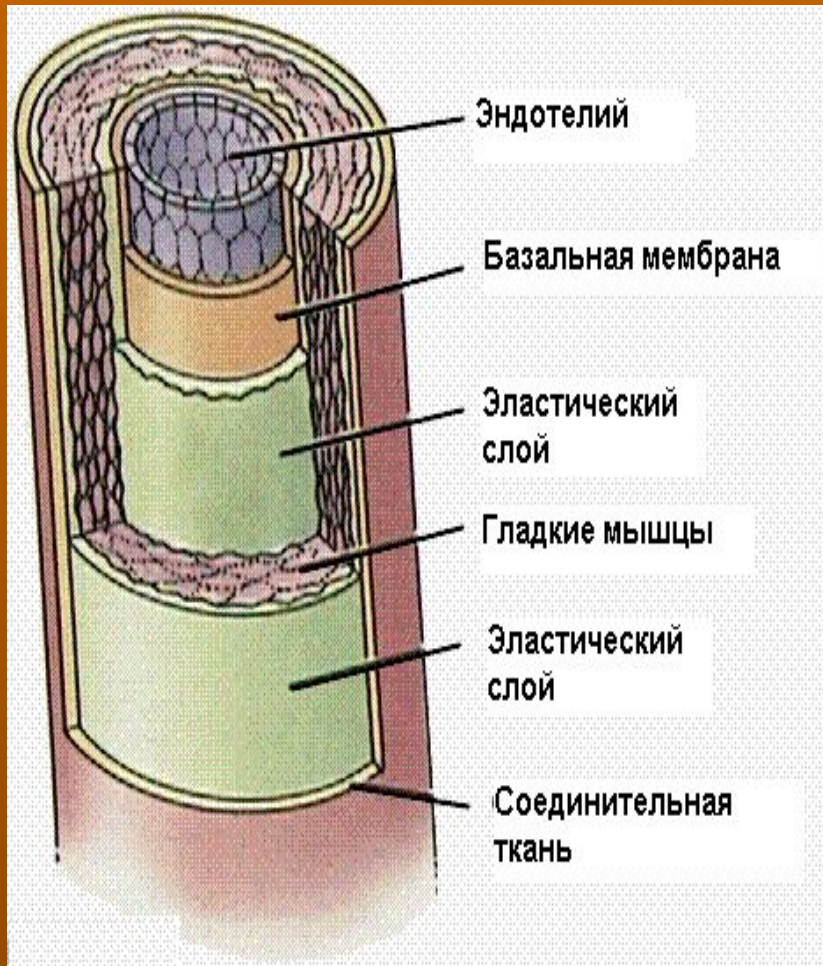
# План:

1. Функциональная классификация кровеносных сосудов и их характеристика.
2. Законы гемодинамики.
3. Показатели гемодинамики: линейная и объемная скорость кровотока, давление крови в сосудах.
4. Артериальное давление его нормативы.

- ◆ Все сосуды в зависимости от выполняемой ими функции подразделяют на 6 типов:
  - амортизирующие (эластического типа),
  - резистивные,
  - сосуды-сфинктеры,
  - обменные,
  - емкостные,
  - шунтирующие.

- ◆ 1) Амортизирующие (распределяющие, гидрофорные, сосуды компрессионной камеры, сосуды котла) - это аорта, легочная артерия, и магистральные артерии.
- ◆ В их средней оболочке преобладают **эластические** элементы, которые, растягиваясь, сглаживают (амортизируют) подъемы давления во время систол сердца.
- ◆ В более удаленных от сердца артериях больше **гладкомышечных** волокон, их относят к артериям мышечного типа.
- ◆ Артерии плавно переходят от одного к другому типу.

# Артерии эластического и мышечного типа





## 2) Резистивные (прекапиллярные сосуды сопротивления) - это мелкие артерии, артериолы и метартериолы и венулы.

- ◆ Они имеют толстые гладкомышечные стенки и меняют величину просвета, что обеспечивает основной механизм регуляции кровотока в органах.
- ◆ Прекапиллярные сосуды:
  - оказывают наибольшее сопротивление кровотоку,
  - регулируют его объемную скорость,
  - и распределение крови между органами.
- ◆ Сопротивление посткапиллярного русла зависит от венул и вен.
- ◆ Соотношение между пре- и посткапиллярным сопротивлением формирует гидростатическое давление в капиллярах и важно для процессов фильтрации и реабсорбции.

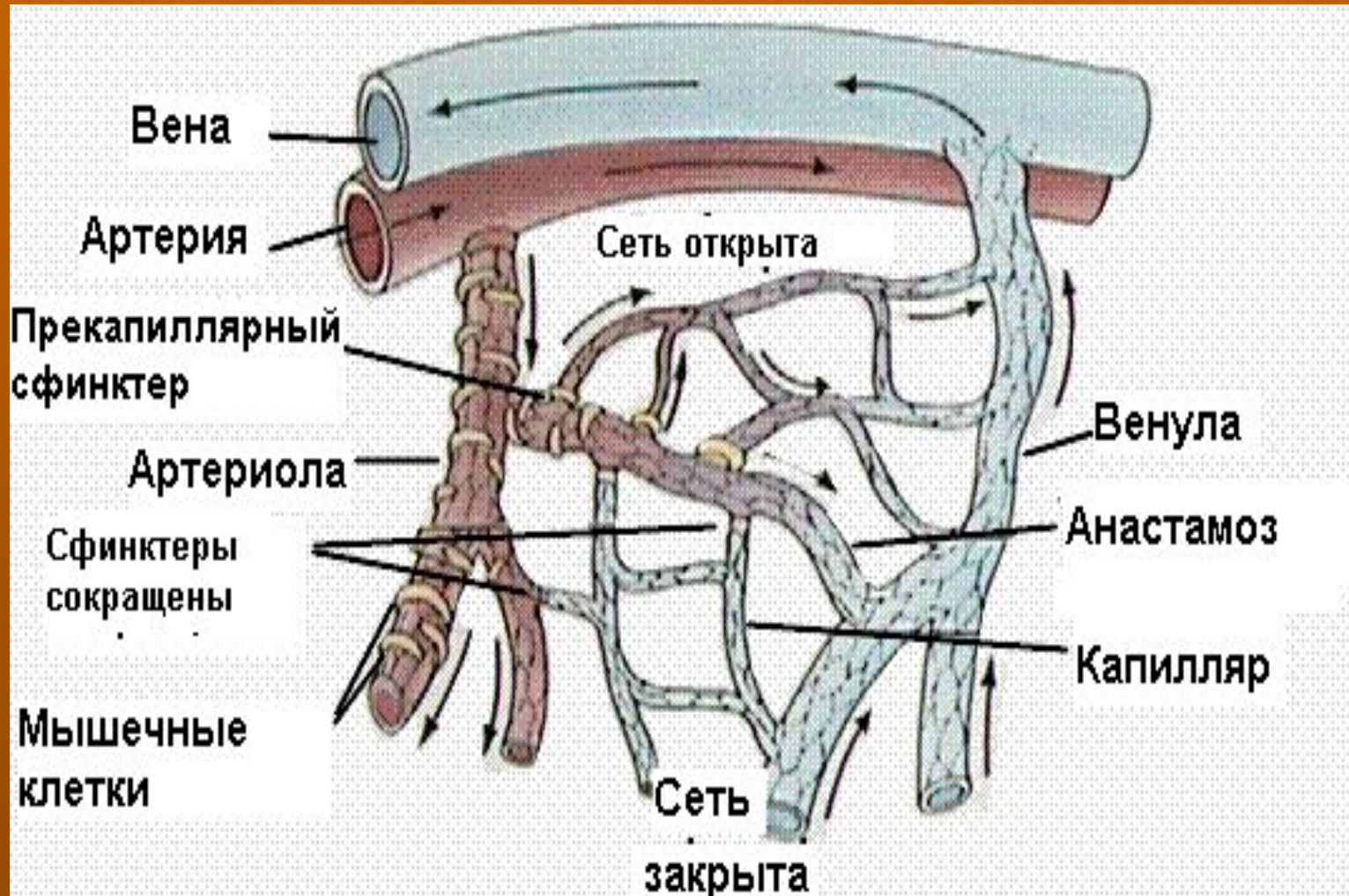
### 3) Сосуды-сфинктеры (прекапиллярные сфинктеры)

- ◆ От их состояния зависит число капилляров, функционирующих в органах.
- ◆ Они способны изменять и даже полностью перекрывать свой просвет и так регулировать функционирующую капиллярную сеть в органах и коже.



Эта их способность обеспечивается радиальной мышцей с более высоким критическим уровнем  $pO_2$ , чем у других типов мышц.

# Механизм саморегуляции кровотока в органах



## 4) Обменные сосуды (истинные капилляры).

- ◆ Их стенки состоят из **одного** слоя эпителия и звездчатых клеток.
- ◆ Капилляры **не могут менять просвет**, он зависит лишь от давления в них, и изменяется пассивно.
- ◆ В них происходит обмен веществ благодаря **диффузии** и **фильтрации**.

## 5) Емкостные сосуды: посткапиллярные венулы и вены.

- ◆ По строению они схожи с артериями, но их средняя оболочка гораздо тоньше.
- ◆ Из-за высокой растяжимости способны вмещать или выбрасывать большие объемы крови, играть роль резервуаров.
- ◆ В венах может временно скапливаться до 1 л крови, особенно в печени, чревной области, в подсосочковом сплетении кожи, отсюда их название - емкостные.
- ◆ При ее выбросе изменяется венозный возврат крови.
- ◆ Такую же способность имеют легочные вены.
- ◆ Кроме того, они имеют клапаны, препятствующие обратному току крови.



## 6) Шунтирующие сосуды (артерио-венозные анастомозы)

- ◆ Имеются в некоторых областях тела (коже уха, носа, стопы и др.).
- ◆ Связывают между собой артериолы и венулы, минуя капилляры.
- ◆ При этом снижается либо прекращается обмен веществ, но может регулироваться давление крови, ее температура и распределение.

# Основной закон гемодинамики

- ◆ Движущей силой для движения крови является разность давления в начале и в конце системы или ее участка - **градиент давления** ( $\Delta P$ ).
- ◆ Он создается сердцем, выбрасывающим за сокращение 60-70 мл крови (4-5 л в мин), и зависит от сопротивления ( $R$ ) на данном участке.
- ◆ Объемную скорость кровотока ( $Q$ ) по аналогии с законом Ома можно вычислить из формулы:

$$Q = \Delta P / R$$

$\Delta P$  – разность давлений

$Q$  – объемная скорость кровотока

$R$  – сосудистое сопротивление



Это выражение называют основным законом гемодинамики



- ◆ Чем больше  $\Delta P$  - тем больше объем крови за единицу времени, а значит и выше скорость ее движения.
- ◆ А  $\Delta P$  зависит от сопротивления и чем меньше  $R$ - тем больше объем крови, протекающей через данный участок.

$$\Delta P = R \cdot Q$$

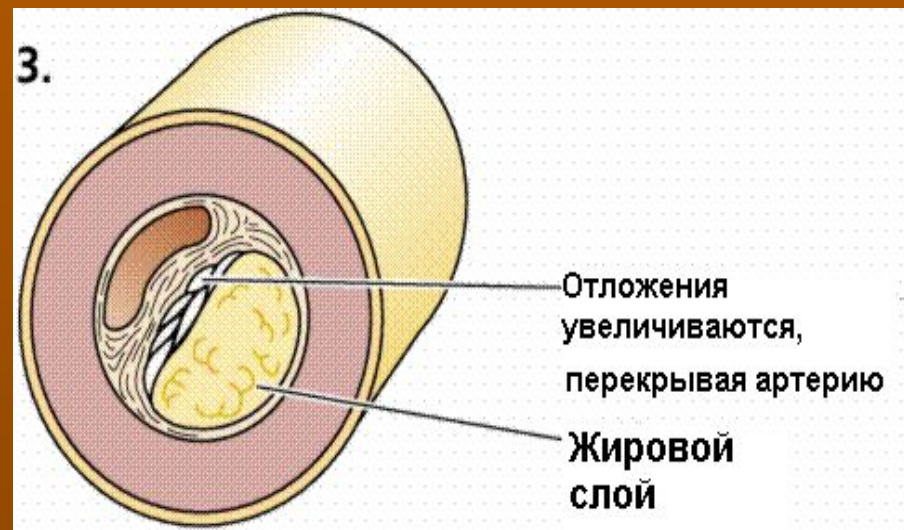
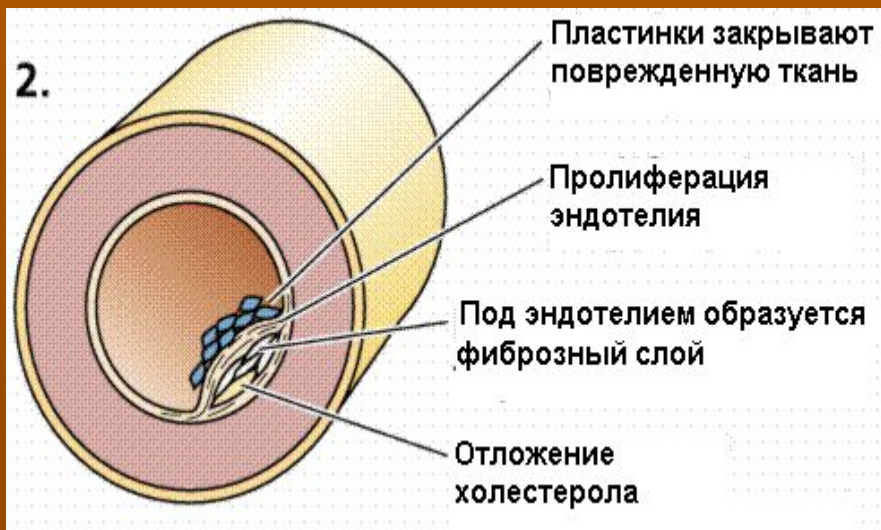
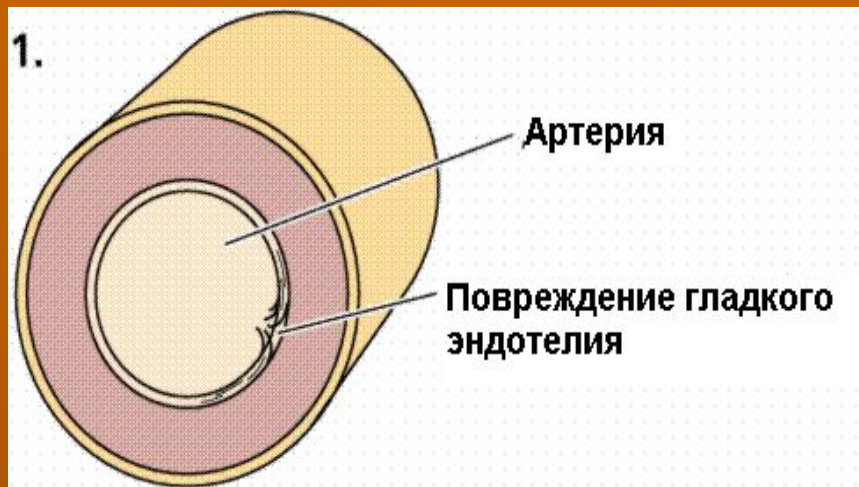
- ◆ Сосудистое сопротивление, в свою очередь, зависит от радиуса сосуда, его длины и вязкости крови:

$$R = 8 l \eta / \pi r^4$$

$l$  – длина сосуда;  $\eta$  - вязкость крови;  $r$  - радиус сосуда

- ◆ Больше всего сопротивление зависит от радиуса сосуда  
Увеличение просвета (вазодилатация) сосуда всего на 10% увеличивает кровоток в органе на 50%.

# Механизм сужения просвета сосудов



- ◆ Из формулы  $R = 8 l \eta / \pi r^4$  также видно, что сосудистое сопротивление возрастает при увеличении длины сосуда ( $l$ ) и вязкости крови ( $\eta$ ).
- ◆ Поэтому, потеря воды из кровяного русла при тренировке и сгонке веса, вызывая сгущение крови, увеличивает вязкость крови и ухудшает условия движения крови, а значит и кровоснабжения органов.

# Объемная и линейная скорость кровотока

являются основными показателями гемодинамики.

- ◆ **Объемная скорость кровотока (Q)** – это количество крови, протекающей через всю кровеносную систему или отдельный орган (сосуд) в единицу времени.
  - Измеряется в  $\text{мл} \cdot \text{мин}^{-1}$  или  $\text{мл} \cdot \text{сек}^{-1}$ .
- ◆ Объемная скорость кровотока больше всего зависит от радиуса сосуда.
  - Если объемная скорость в исходном состоянии сосуда равна 1 мл/с, то при увеличении его диаметра в 2 р она увеличится в 16 р!
- ◆ Количество крови, протекающей за единицу времени через всю артериальную и венозную систему большого и малого кругов, **одинаково**.
- ◆ В отдельных органах объемная скорость движения крови изменяется в зависимости от активности органа.

- ◆ **Линейная скорость движения крови ( $V$ )** – это скорость перемещения ее частиц (кровяных клеток) вдоль сосуда.
- ◆ Она различна на разном расстоянии от сердца (максимальна в аорте и минимальна в капиллярах), и в зависимости от положения частицы в сосуде.
- ◆ Самая большая скорость частиц крови в центре сосуда, а у стенок из-за высокого трения она падает.

# Объемная скорость кровотока

- ◆  $V = Q / S$
- ◆ Площадь сечения аорты в 500-800 раз меньше, чем  $S$  капилляров, а линейная скорость в 500-800 раз выше.
- ◆ Она составляет 50-70 см/с в аорте, 20-40 см/с в артериях, 20 см/с в венах и 0.05 см/с в капиллярах.
- ◆ Время (скорость ) кругооборота крови измеряется при помощи радиоактивных меток и составляет у человека 23-25 с. Из них за 5 с кровь проходит малый круг и почти 20 с - большой.

# Артериальное давление

- ◆ При каждом сокращении сердца в артерии выбрасывается порция крови, растягивающая стенки артерий и создающая определенное давление крови.
- ◆ Оно зависит от
  - объема выбрасываемой крови,
  - интенсивности оттока крови из центральных сосудов на периферию.

Интенсивность оттока, в свою очередь, определяется

- ◆ емкостью сосудистого русла,
  - ◆ упругим сопротивлением артериальных стенок
  - ◆ и вязкостью крови, т.е. - периферическим сопротивлением.
- ◆ **Значит, чем выше сопротивление кровотоку - тем выше артериальное давление.**

# Изменение АД на протяжении сердечного цикла

- ◆ Различают **систолическое (СД), диастолическое (ДД)** и **пульсовое** давление.
  - ◆  $ПД = СД - ДД$
- ◆ Измеряется АД методом Короткова (1905) и выражается в мм рт.ст.
- ◆ Нормальные величины СД = 100-139 мм рт.ст.
  - Более высокое - **гипертензия**, более низкое - **гипотензия**.
- ◆ Диастолическое давление составляет 60-80 мм рт.ст.
- ◆ Пульсовое = 40-50 мм рт.ст.
- ◆ Эффективность кровоснабжения характеризует среднее давление (СДД). Оно составляет 75-90 мм рт.ст.





Спасибо за  
внимание!