Сердечно-сосудистая система

Физиологические свойства и функции сердца

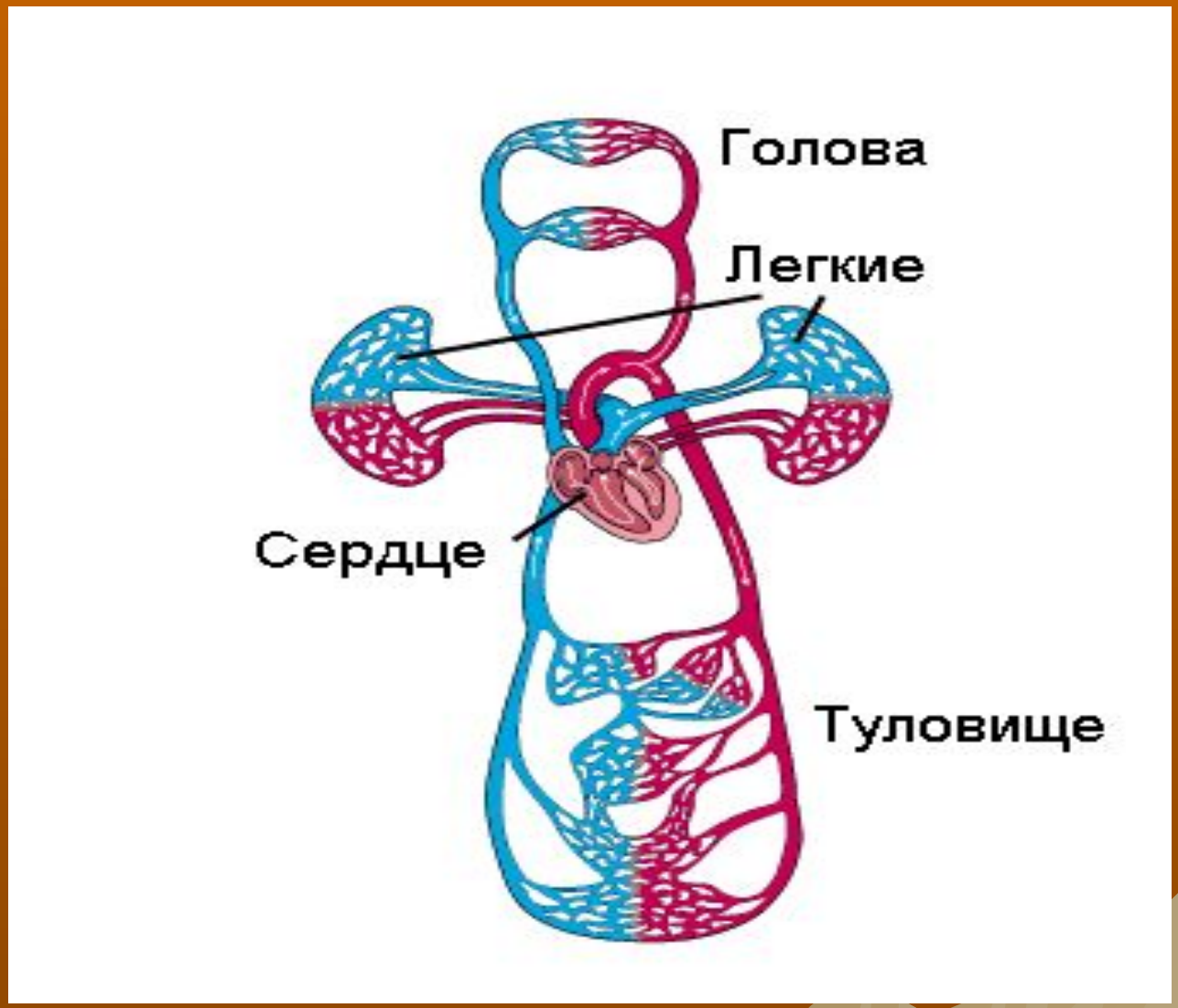
Презентация подготовлена к.б.н., доц. Логвин В.П.

План:

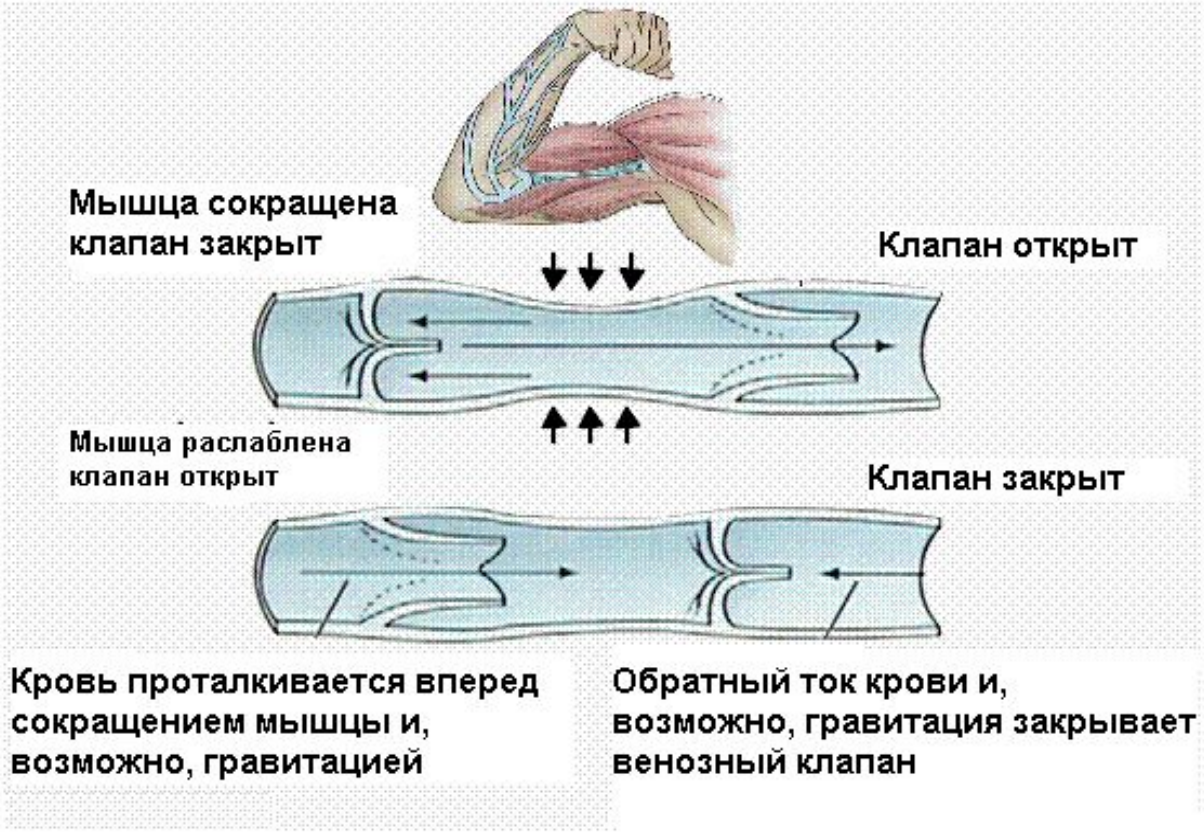
1. Строение и функции сердечно-сосудистой системы.
2. Факторы кровообращения.
3. Строение сердца, функции клапанного аппарата.
4. Физиологические особенности миокарда и его функциональные свойства:
   - автоматия,
   - возбудимость,
   - проводимость
   - сократимость.
5. Фазы сердечного цикла, их рабочие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

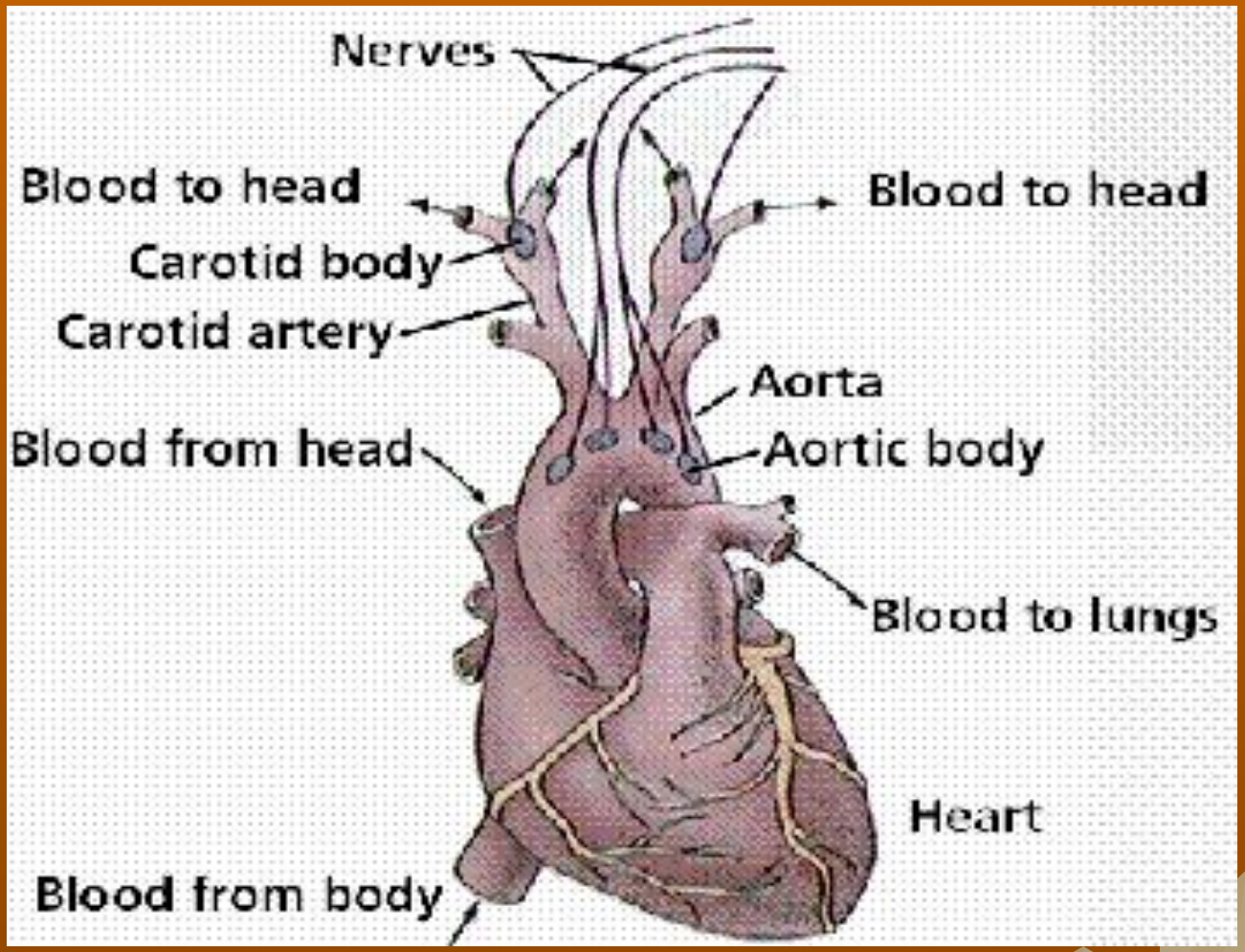
Круги кровообращения



- 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)

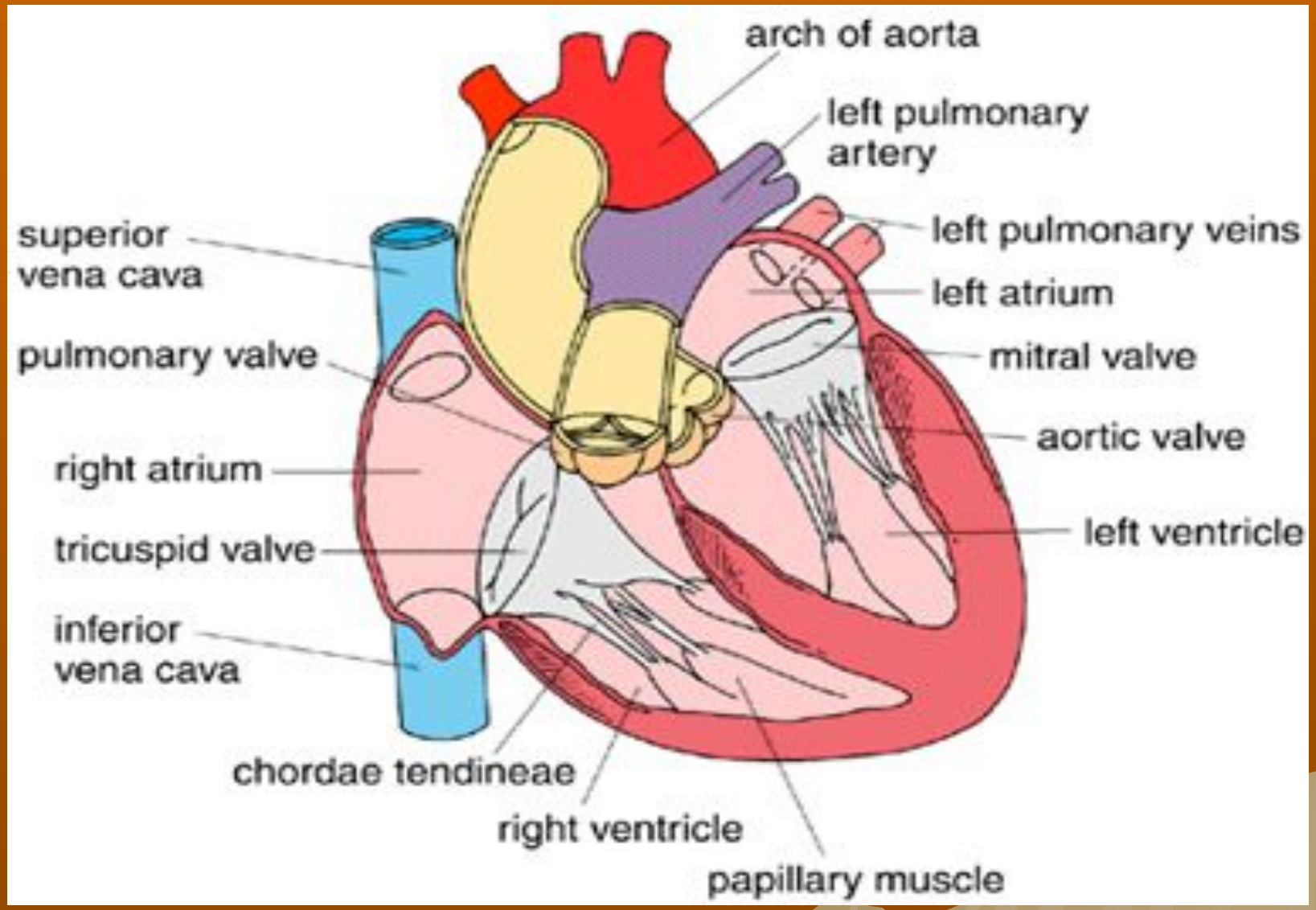


Строение сердца

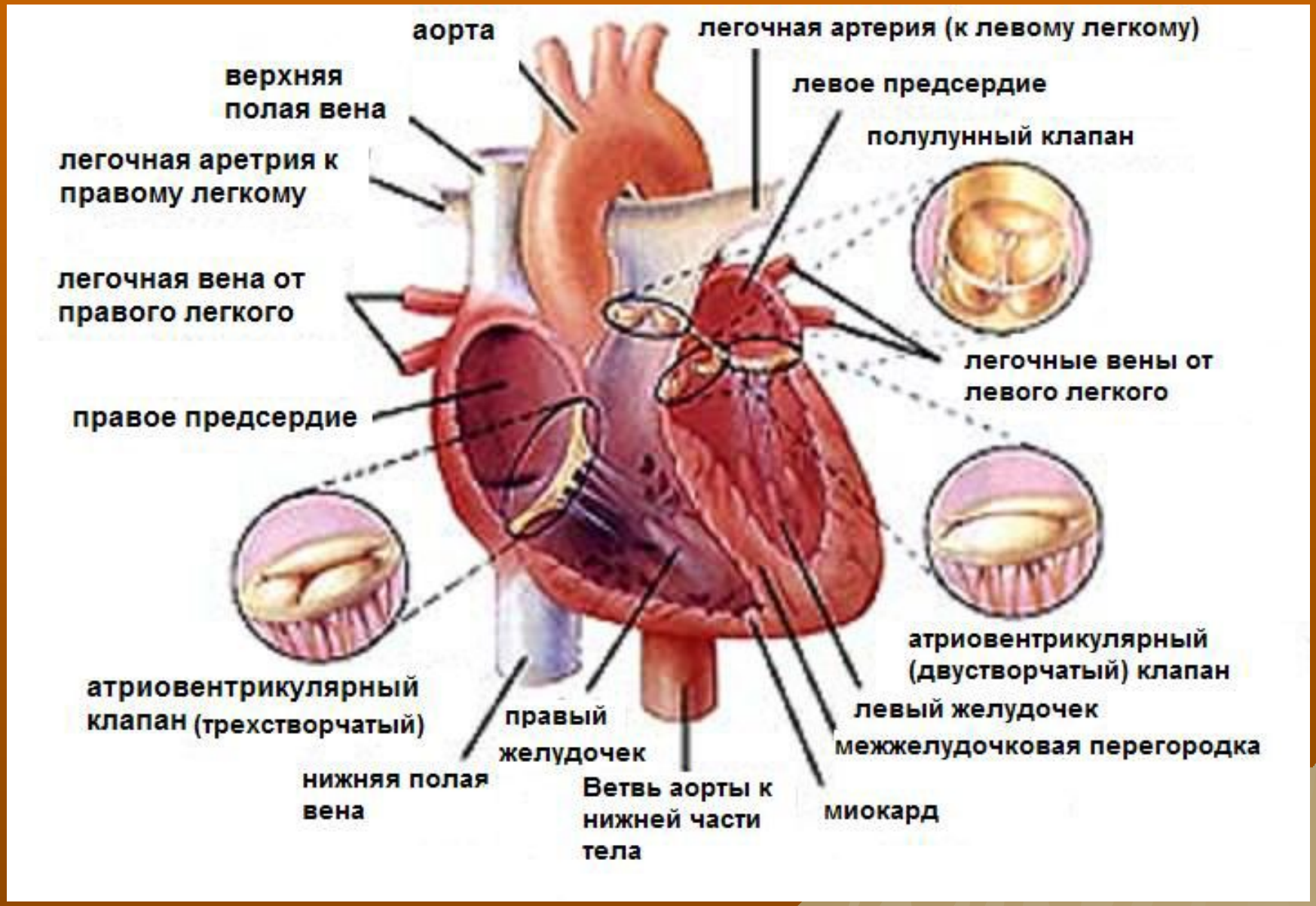
- Сердце человека состоит из двух половин, разделенных сплошной перегородкой.
- Между предсердиями и желудочками есть предсердно-желудочковая перегородка с *атриовентрикулярным отверстием*.
- Его закрывают *атриовентрикулярные клапаны*:
  - слева *двухстворчатый* (митральный),
  - а справа – *трехстворчатый,*

  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 открываться током крови при сокращении желудочков и закрываются при их расслаблении.

Строение сердца



Строение сердца

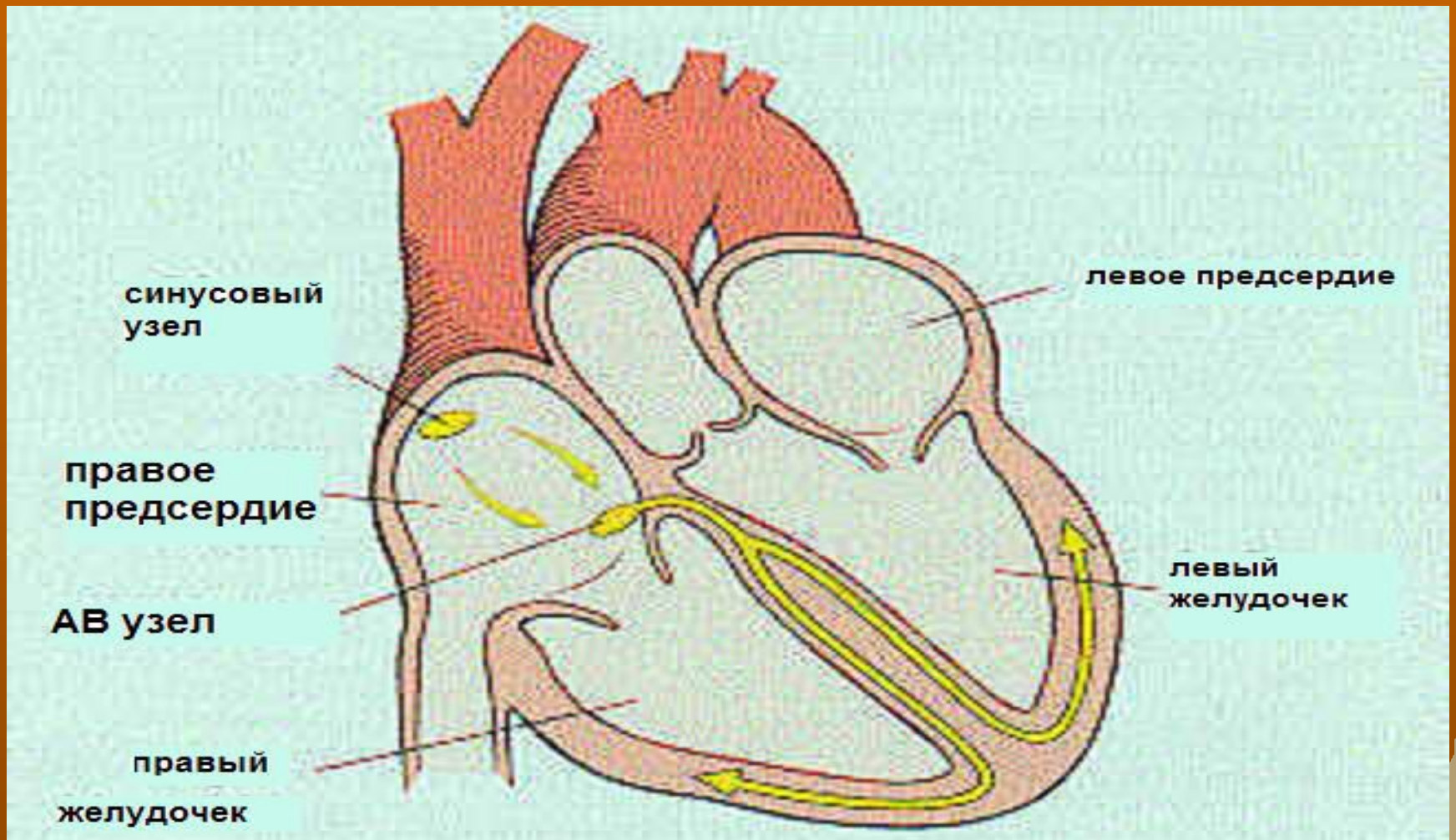


Строение сердца

- 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).
- Все водители 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

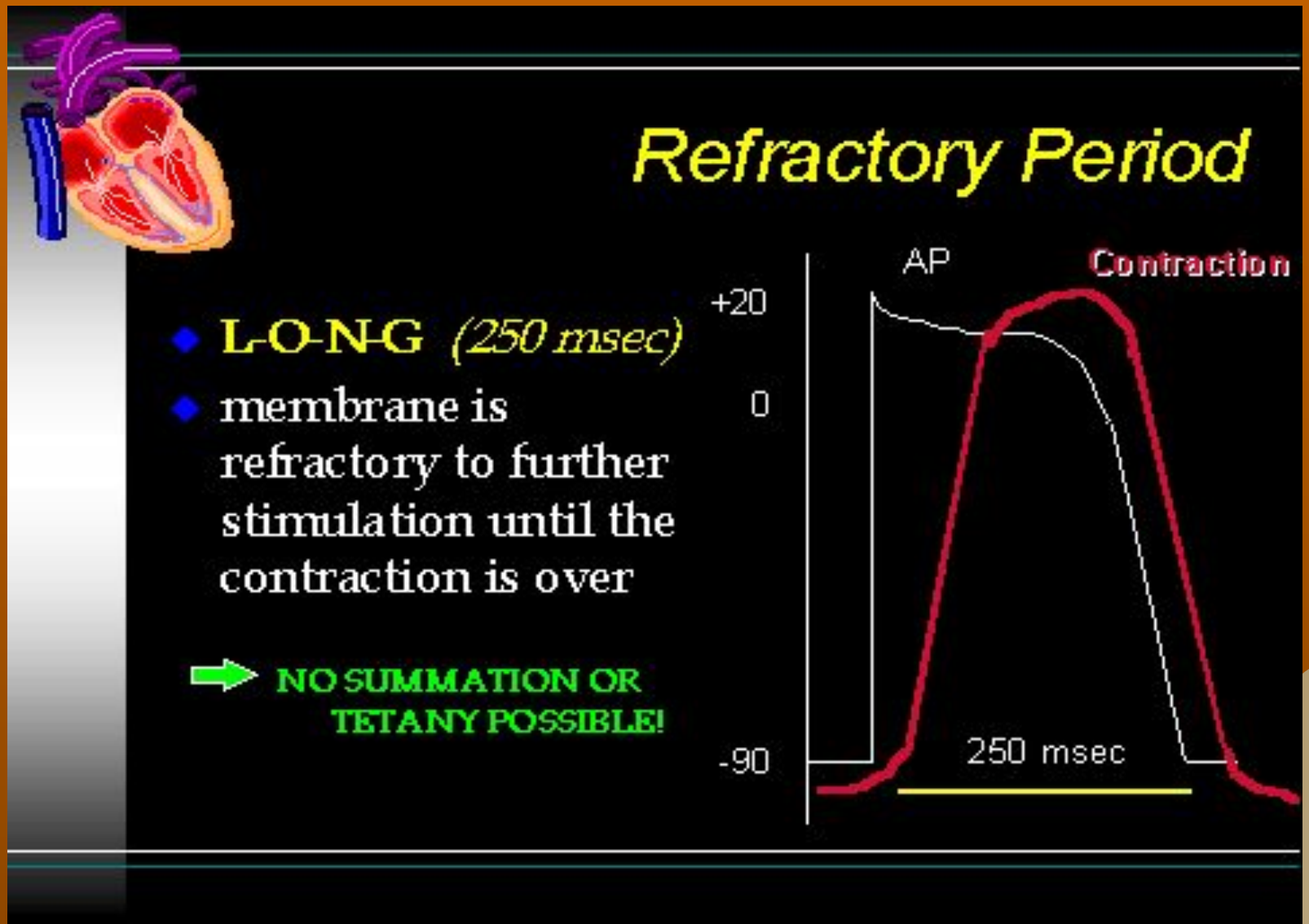
1. Сердце может возбуждаться электрическими, химическими, термическими раздражителями.
2. Подпороговые раздражители не могут вызвать возбуждения сердца (закон «все или ничего»).
3. Во время сердечного цикла (0,3 с) в сердце наблюдается *рефрактерный* период и оно невосприимчиво к повторным раздражителям.
   - 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.

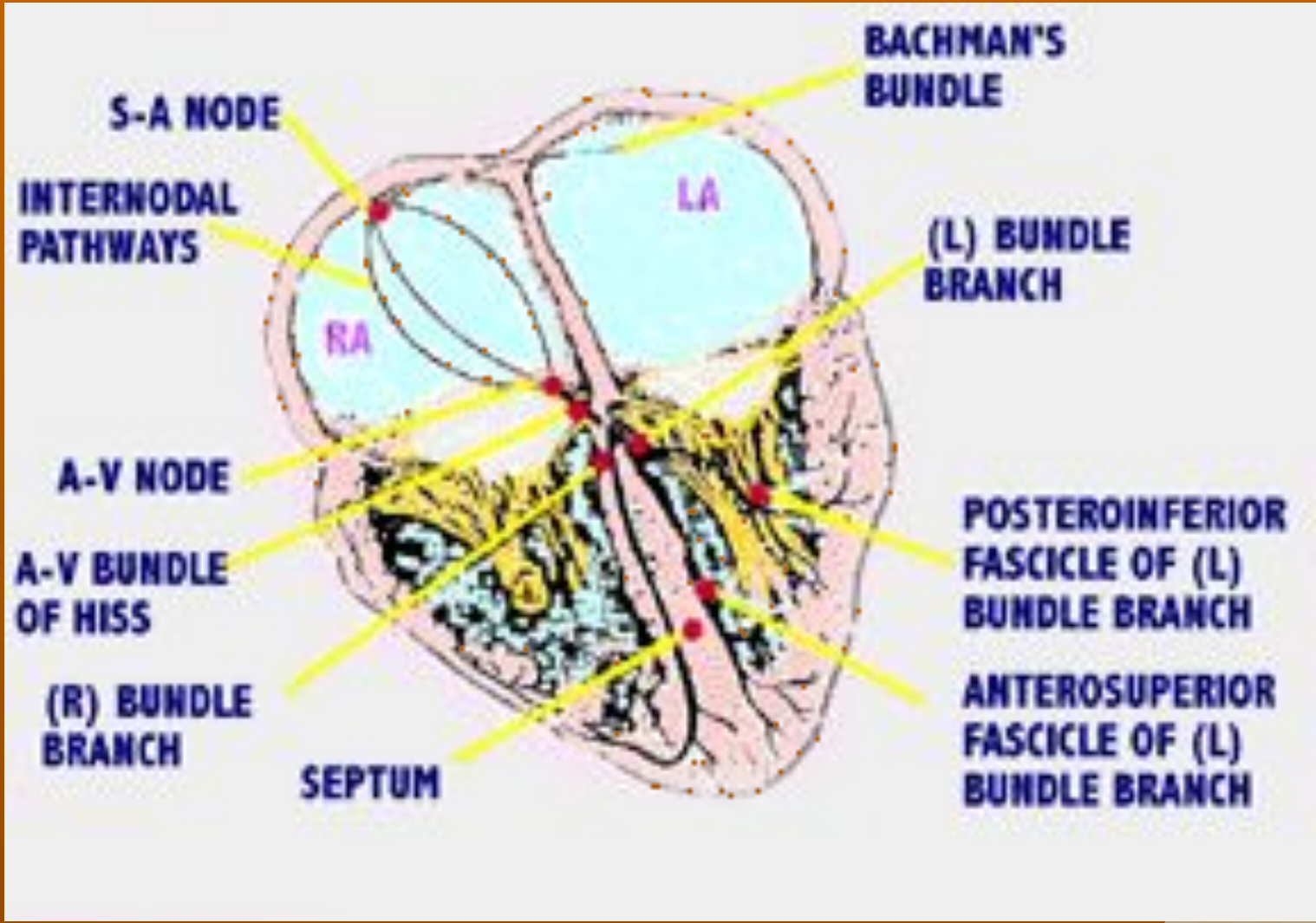
Рефрактерность миокарда



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.


BACHMAN'S BUNDLE
S-A NODE
INTERNODAL PATHWAYS
LA
(L) BUNDLE BRANCH
RA
A-V NODE
POSTEROINFERIOR FASCICLE OF (L) BUNDLE BRANCH
A-V BUNDLE OF HISS
(R) BUNDLE BRANCH
ANTEROSUPERIOR FASCICLE OF (L) BUNDLE BRANCH
SEPTUM

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.

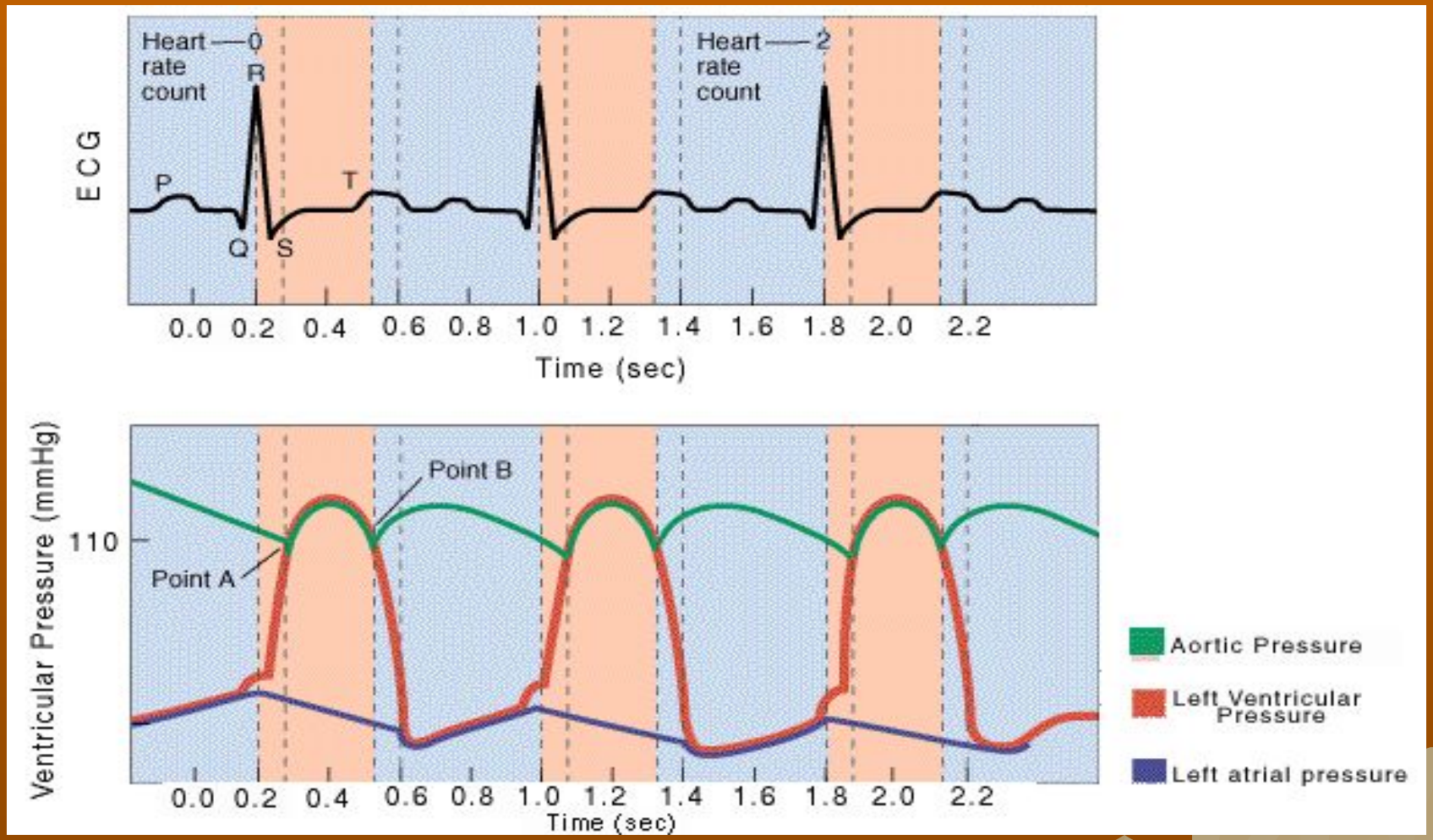
   Гликолитическое фосфорилирование используется незначительно.

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.

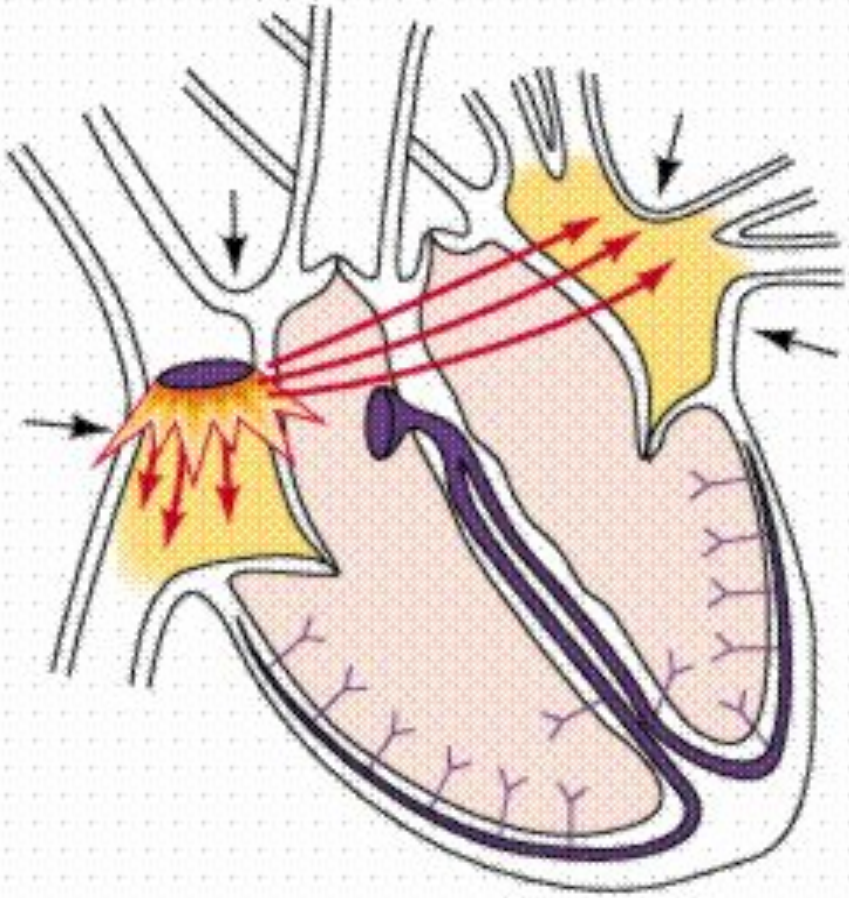
Электрические явления в сердце. ЭКГ.



Фазы сердечного цикла

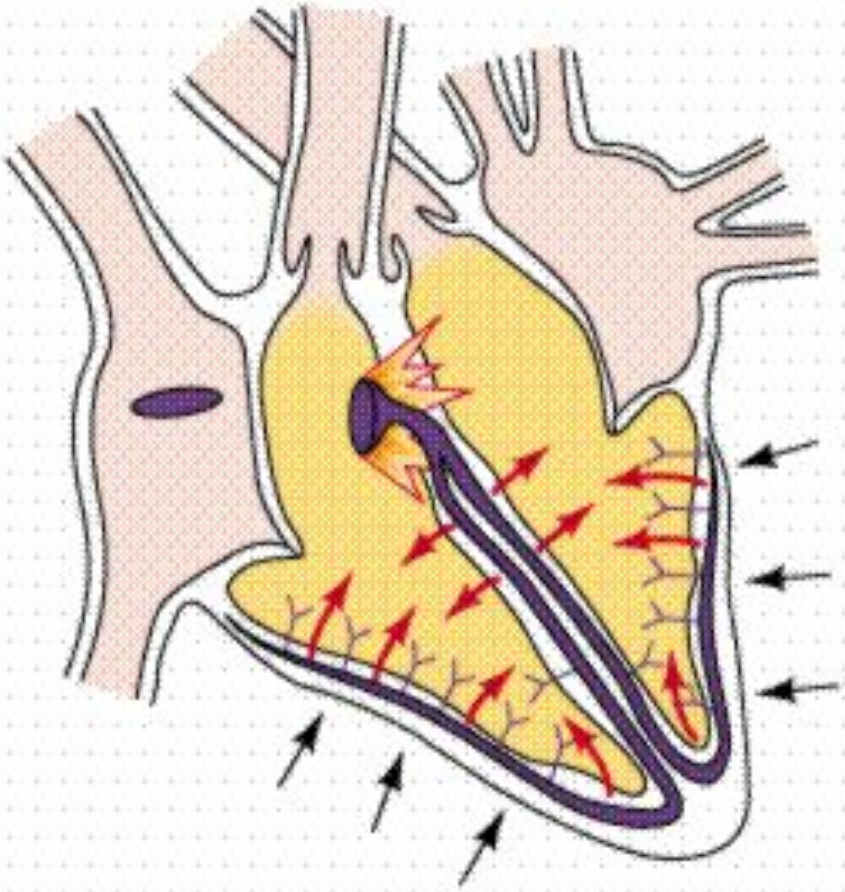
- Весь цикл работы сердца состоит из трех фаз: систолы предсердий, систолы желудочков и общей паузы.
- Началом каждого цикла считается систола предсердий, которая длится 0,1 сек.
- Затем начинается *систола* желудочков (0,3 сек). Предсердия в это время расслаблены.
- В систоле желудочков различают 2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

Возбуждение предсердий



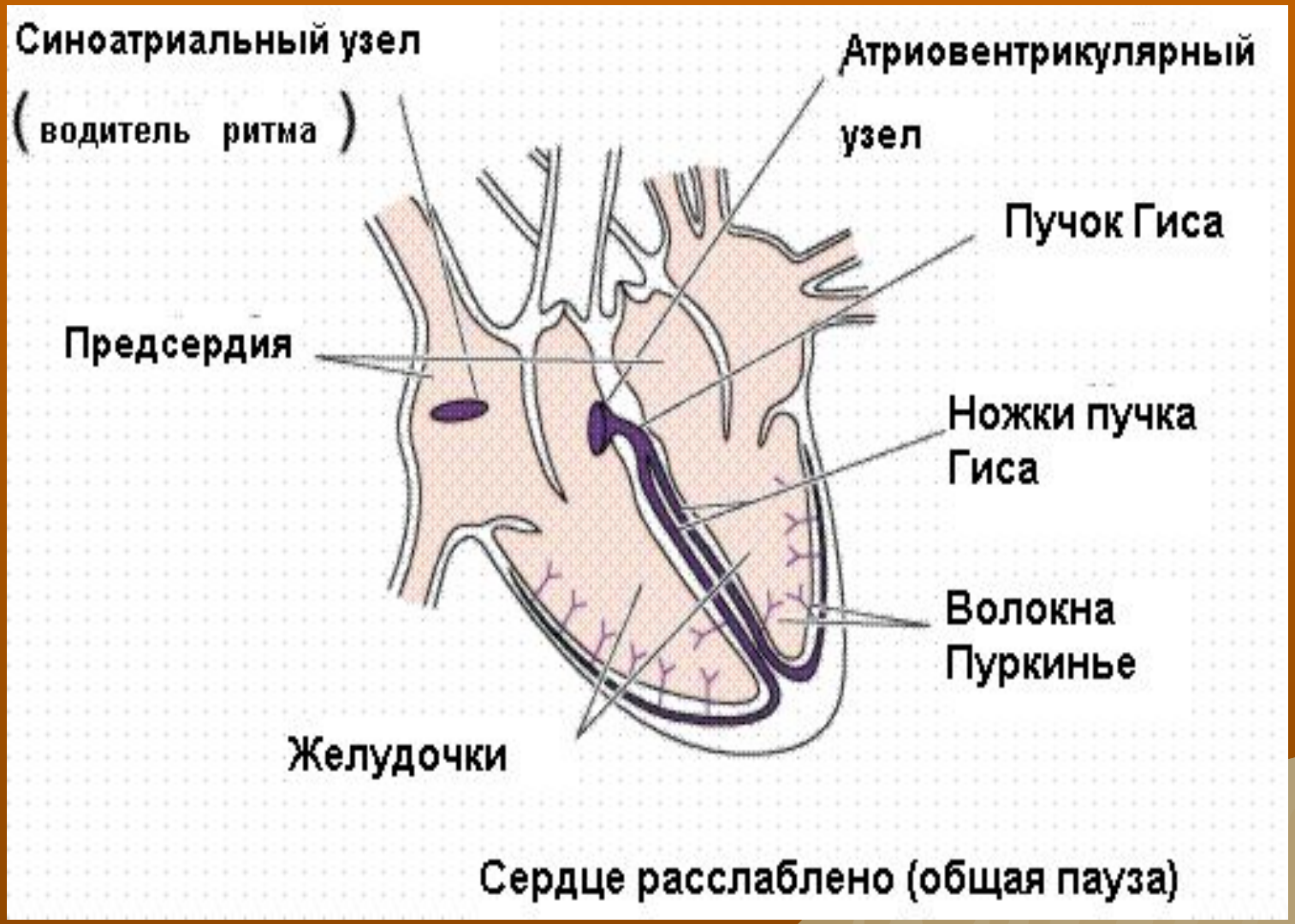
Возбуждение синоатриального узла вызывает потенциал действия и сокращение предсердий

Возбуждение желудочков



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

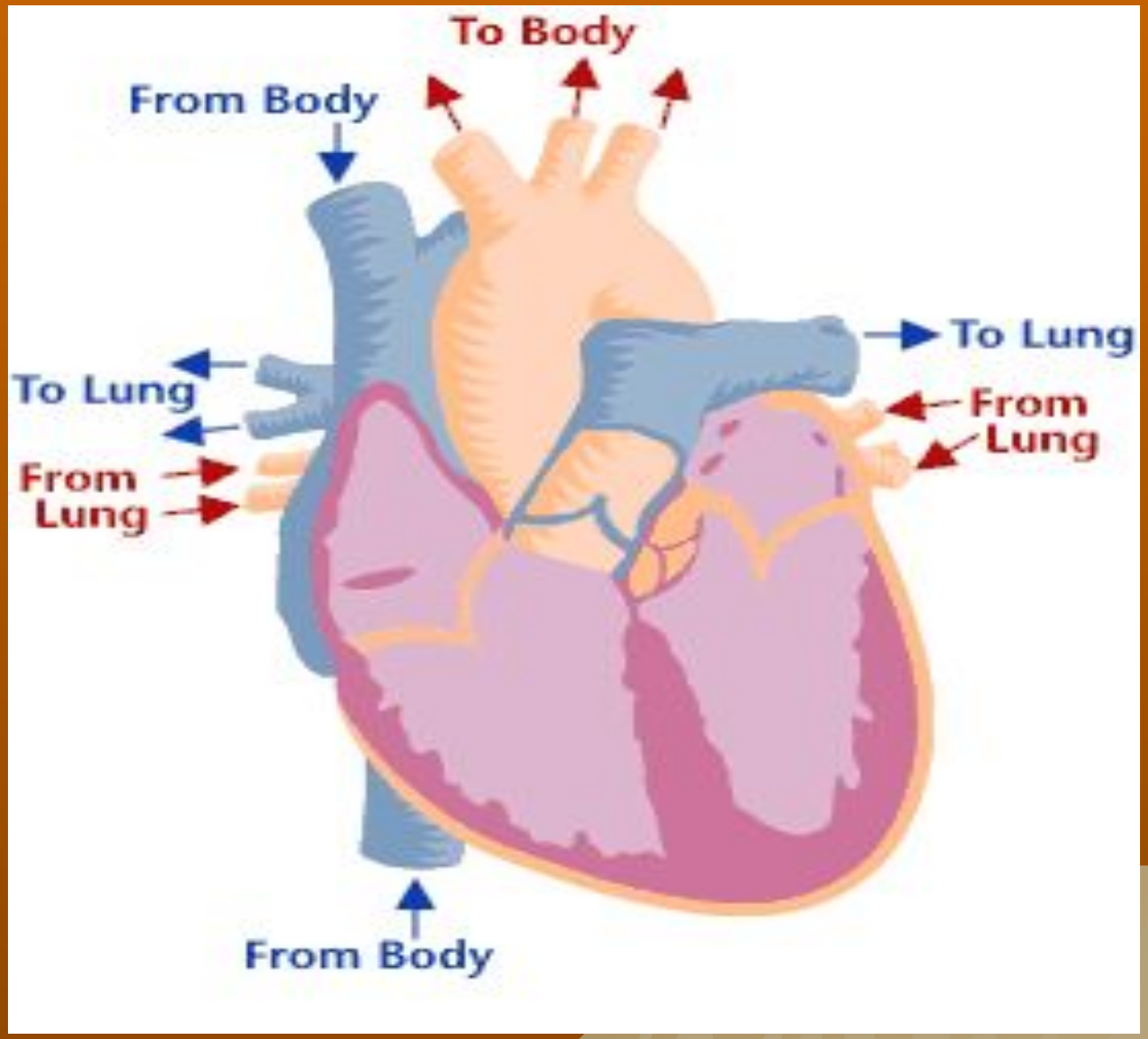
Расслабление сердца



- 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 растет 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:

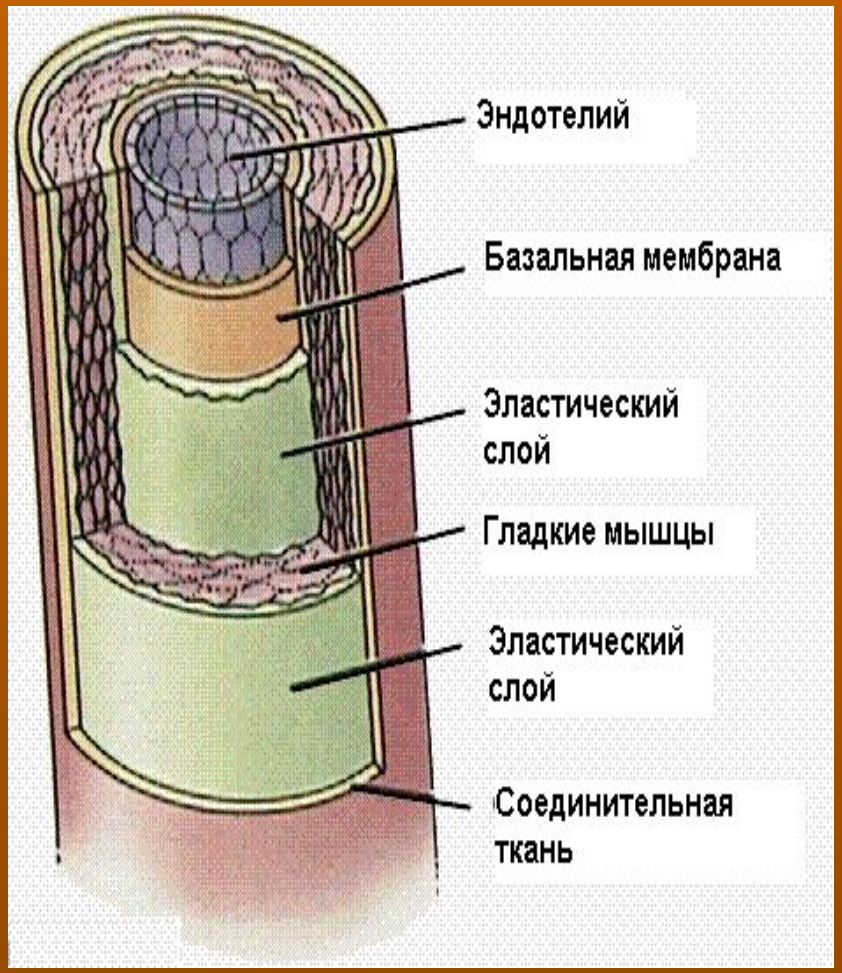
1. Функциональная классификация кровеносных сосудов и их характеристика.
2. Законы гемодинамики.
3. Показатели гемодинамики: линейная и объемная скорость кровотока, давление крови в сосудах.
4. Артериальное давление его нормативы.

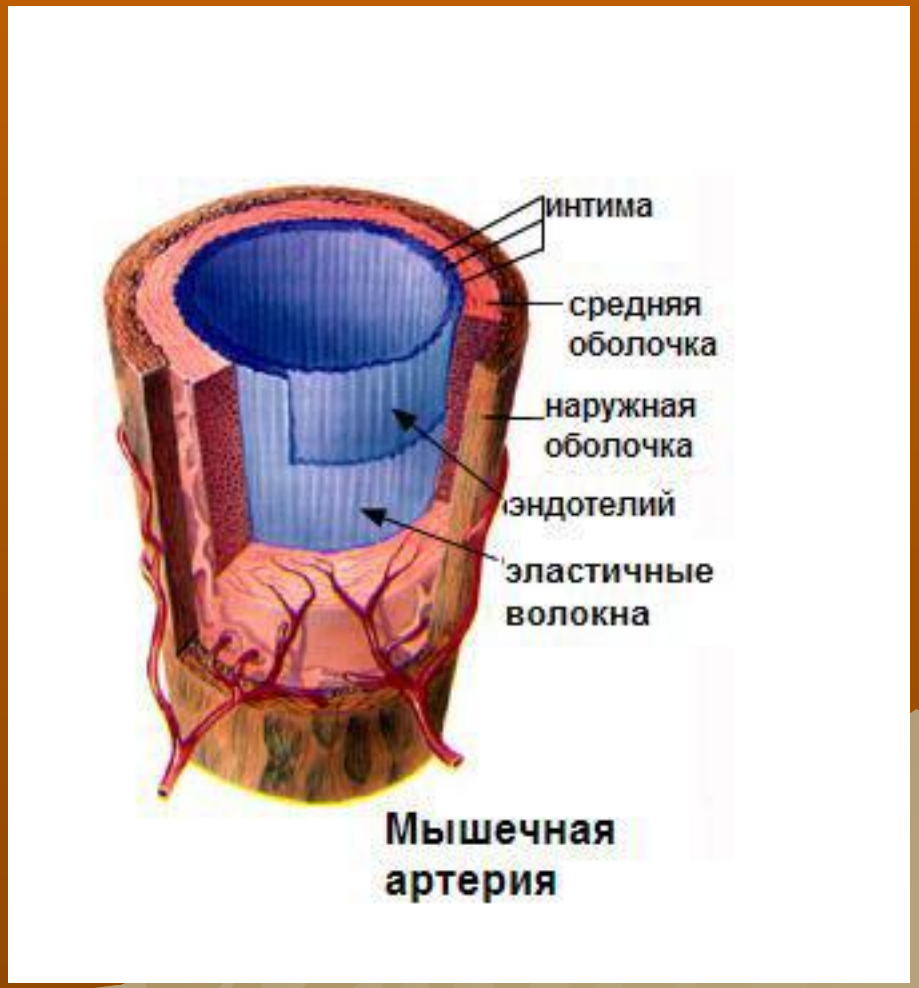
- Все сосуды в зависимости от выполняемой ими функции подразделяют на 6 типов:

  –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.

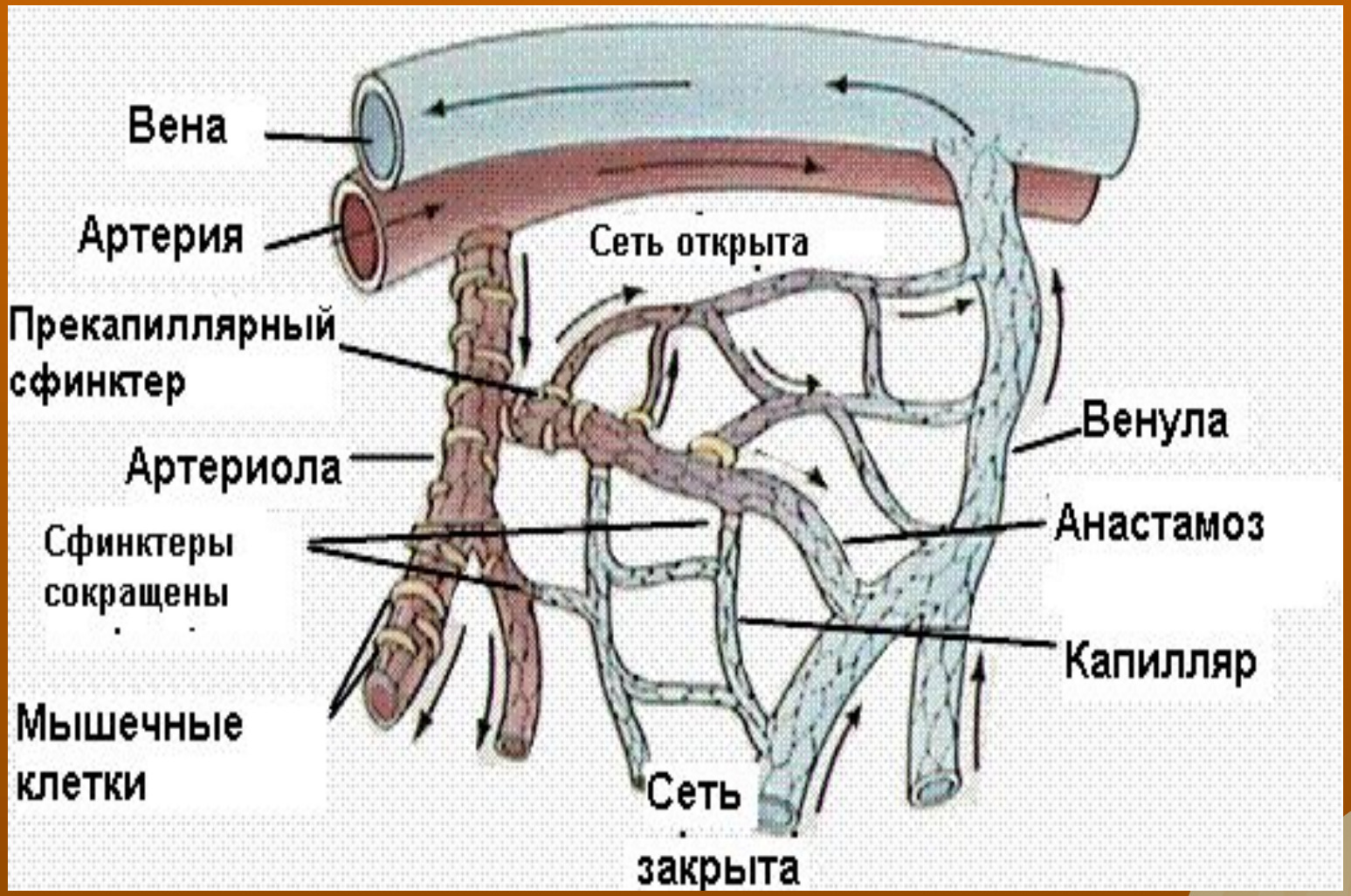
- Сопротивление посткапиллярного русла зависит от венул и вен.
- Соотношение между пре- и посткапиллярным сопротивлением формирует гидростатическое давление в капиллярах и важно для процессов фильтрации и реабсорбции.

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.

эндотелий
внутренняя оболочка
средняя оболочка
клапан
наружная оболочка
Крупная вена

6) Шунтирующие сосуды (артерио-венозные анастамозы)

- 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 (ΔP).
- 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:

$$Q = \Delta P / R$$

ΔP – разность давлений

Q – объемная скорость кровотока

R – сосудистое сопротивление

Это выражение называют основным законом гемодинамики

- Чем больше ΔP - тем больше объем крови за единицу времени, а значит и выше скорость ее движения.
- А ΔP 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:

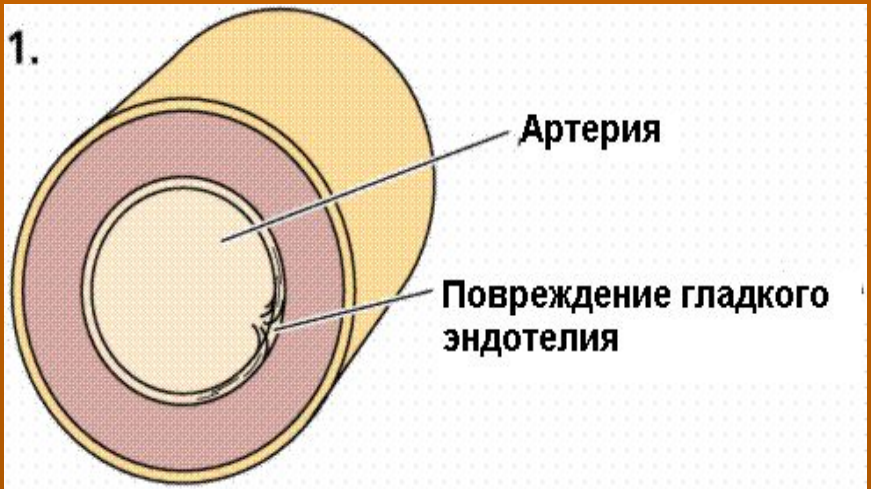
$$R = 8\, l\eta / \pi r^4$$

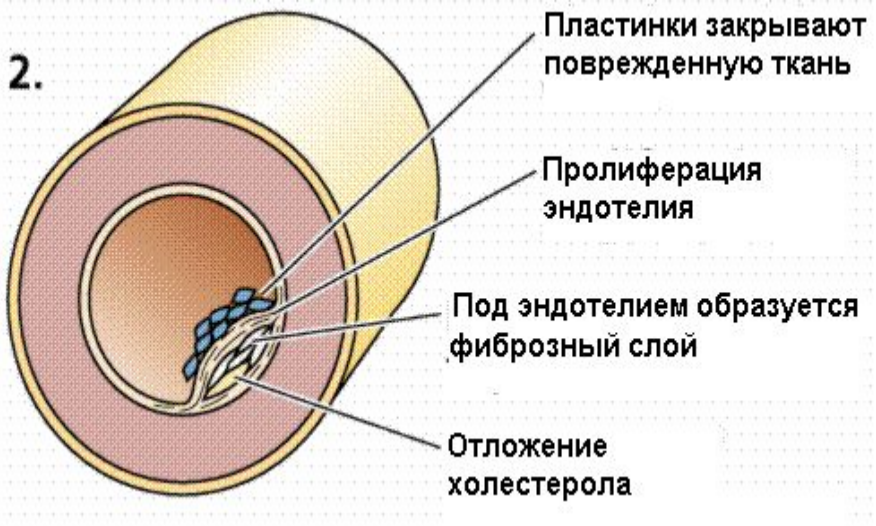
l – длина сосуда; η - вязкость крови; r - радиус сосуда

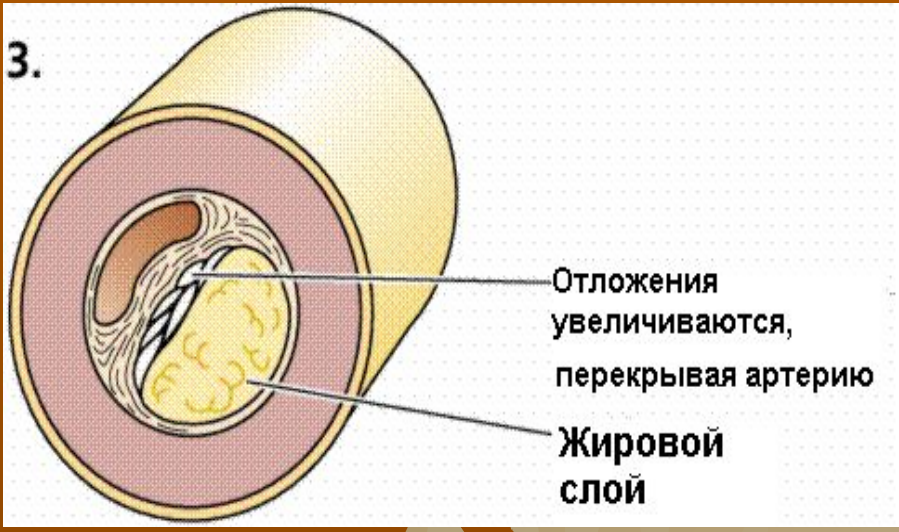
- Больше всего сопротивление зависит от радиуса сосуда

Увеличение просвета (вазодилятация) 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 (η).
- 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 мл · мин$^{-1}$ или мл · 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!