

ОСНОВЫ ГЕМОДИНАМИКИ

Общая характеристика сердечно-сосудистой системы и ее значение.

Круги кровообращения.

Строение сердца.

Клапаны сердца и их работа.

Сердечно-сосудистая система

- Включает в себя кровеносную систему и лимфатическую систему. Кровеносная система обеспечивает доставку тканям питательных веществ, кислорода, отвод продуктов обмена, теплообмен. Представляет собой замкнутую сосудистую сеть во всех органах и тканях, имеющую центральное насосное устройство - **сердце**, работа которого создает перепад давления на выходе и входе, что **является главной причиной движения крови**.

Движение крови

Основная причина
движения крови –
разность
кровяного
давления в
разных участках
кровеносной
системы

Наибольшее
давление в аорте

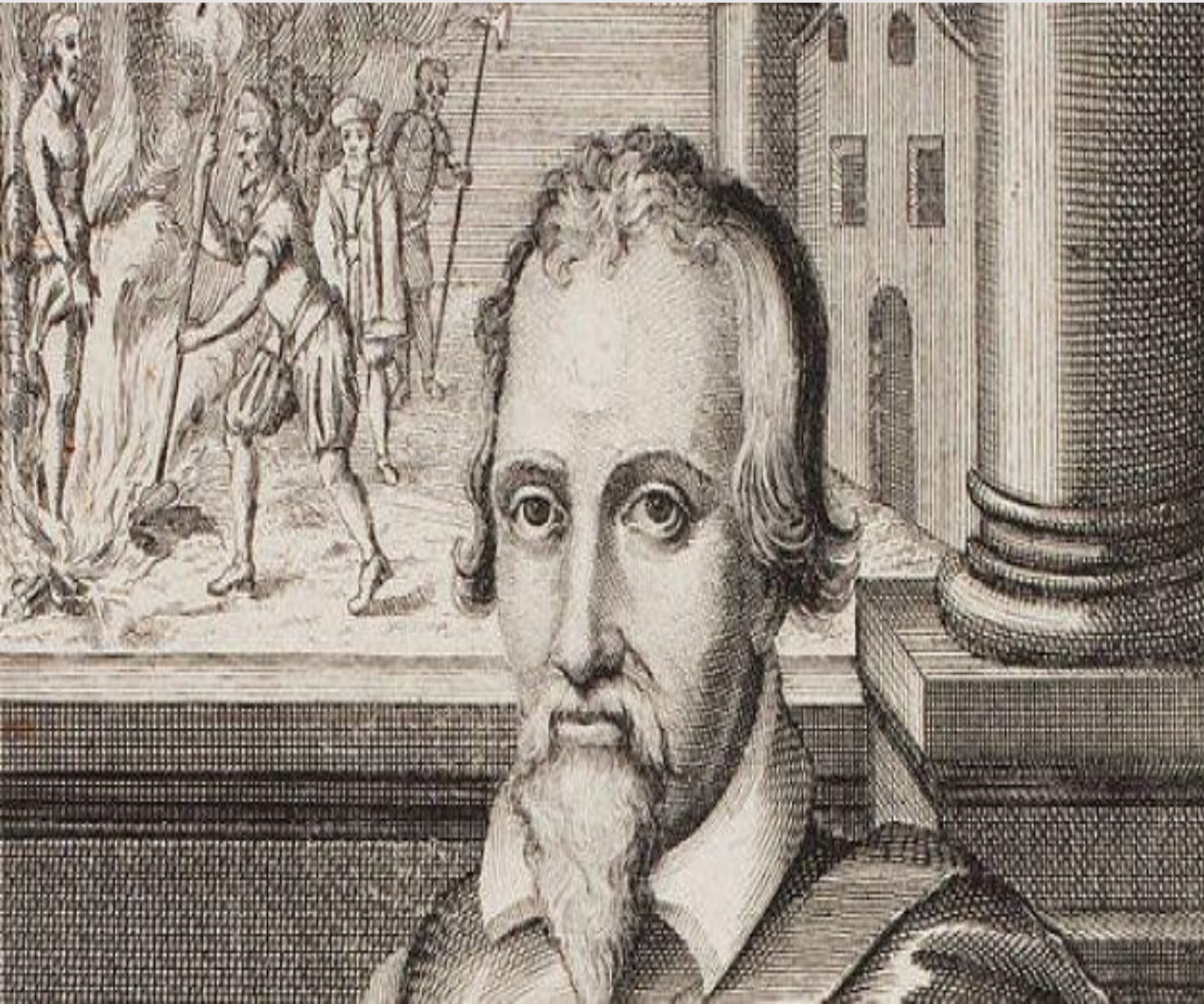
Наименьшее
давление в
крупных венах





английский врач
Вильям Гарвей
открыл БКК и
установил роль
сердца в
гемодинамике

Мигель Сервет

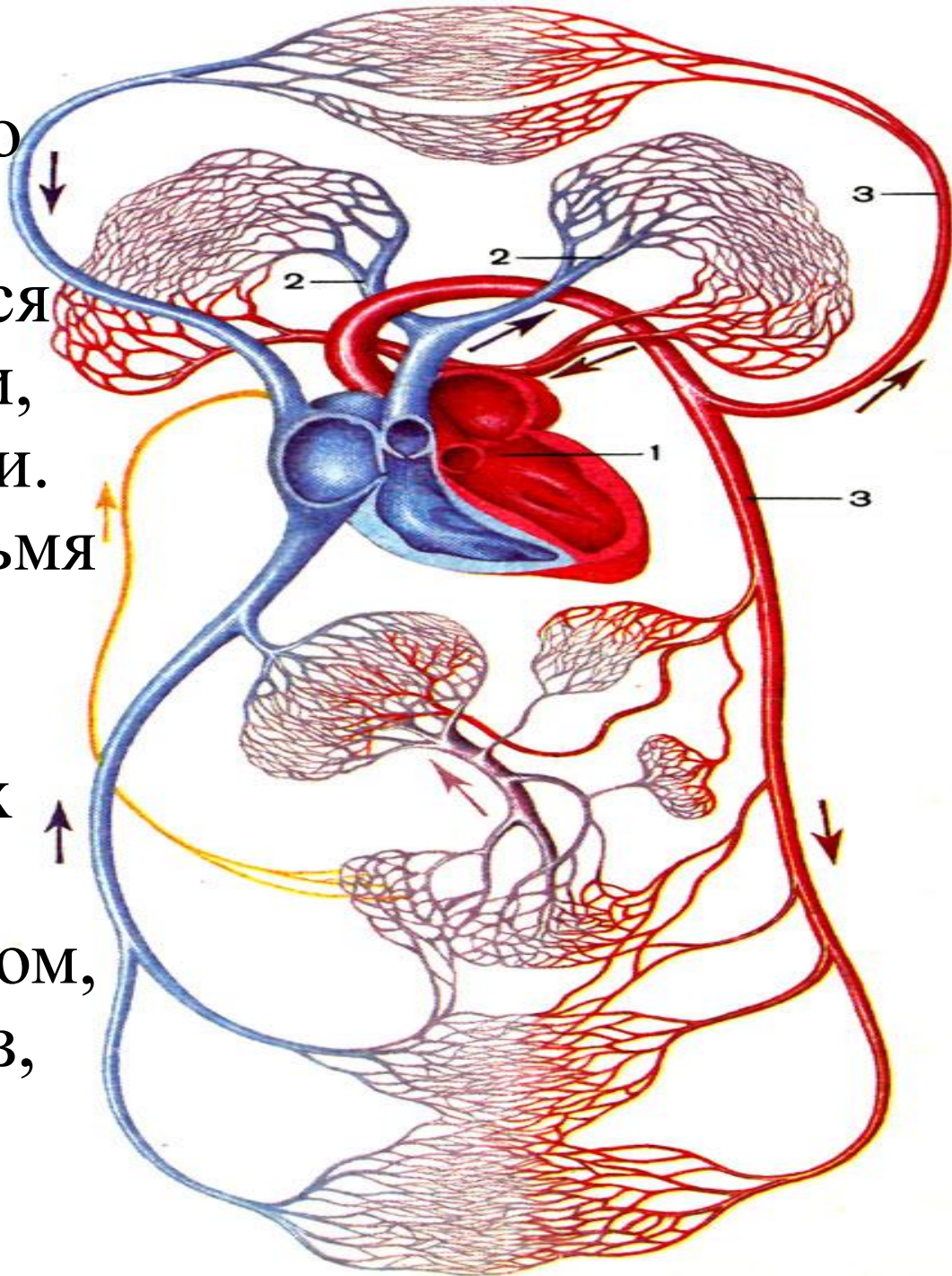


- Испанский врач открыл МКК в 1553 году. В том же году был сожжен за ересь в Женеве. В 1903 церковь поставила ему памятник

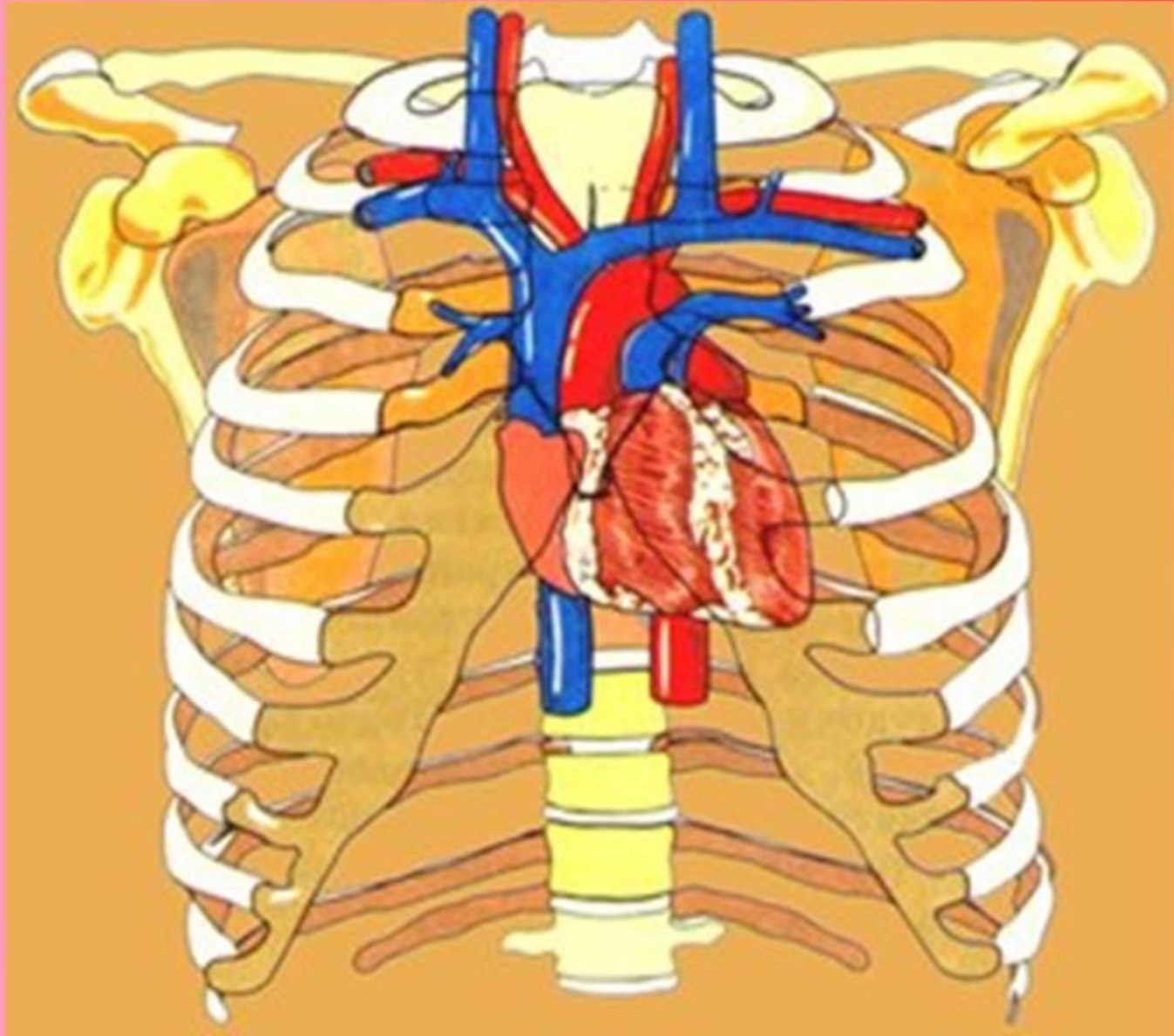
Круги кровообращения

- **БКК** - (телесный) начинается от левого желудочка. Он последовательно включает аорту, артерии, артериолы, капилляры, венулы и вены. Заканчивается двумя полыми венами, впадающими в правое предсердие. Через стенки капилляров тела происходит обмен веществ между кровью и тканями. Артериальная кровь отдает тканям кислород и, насыщаясь углекислым газом, превращается в венозную. К капиллярной сети подходит **артериола**, а выходит - **венула**. Между ними сеть капилляров образует русло микроциркуляции.

• **МКК** - (легочный) начинается от правого желудочка легочным стволом, продолжается легочными артериями, капиллярами и венами. Заканчивается четырьмя легочными венами, впадающими в левое предсердие. В легких венозная кровь, обогащаясь кислородом, теряет углекислый газ, становится артериальной.



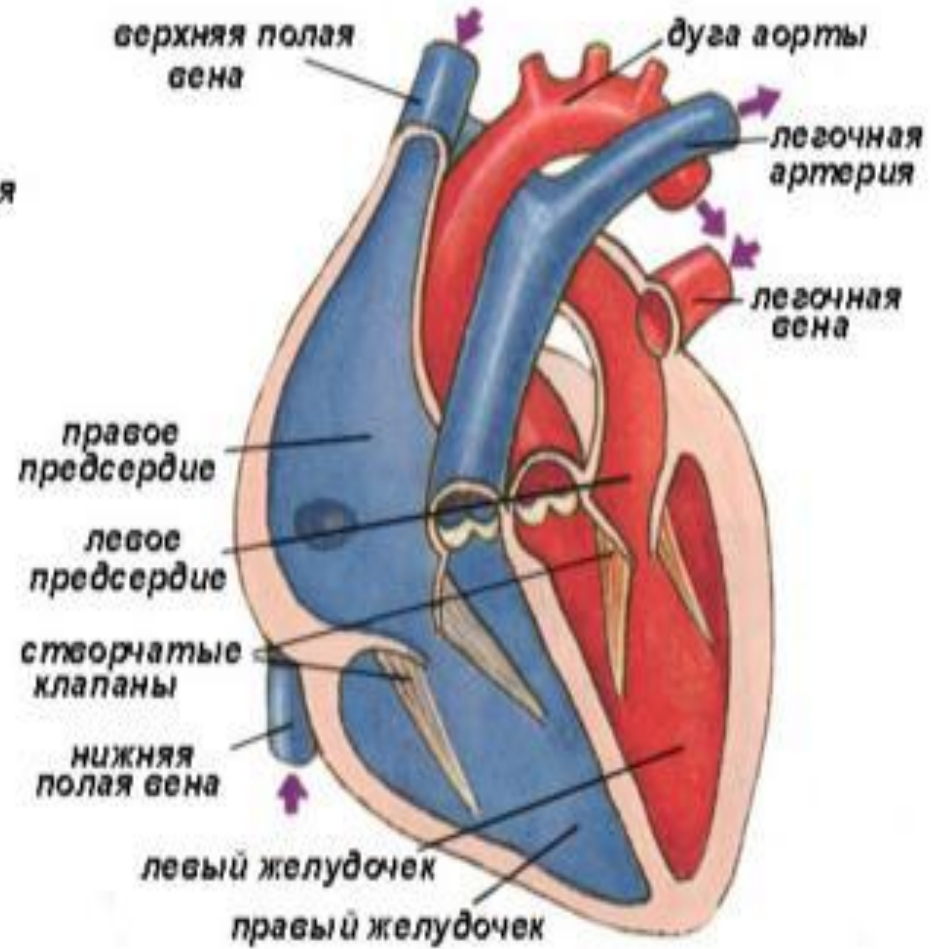
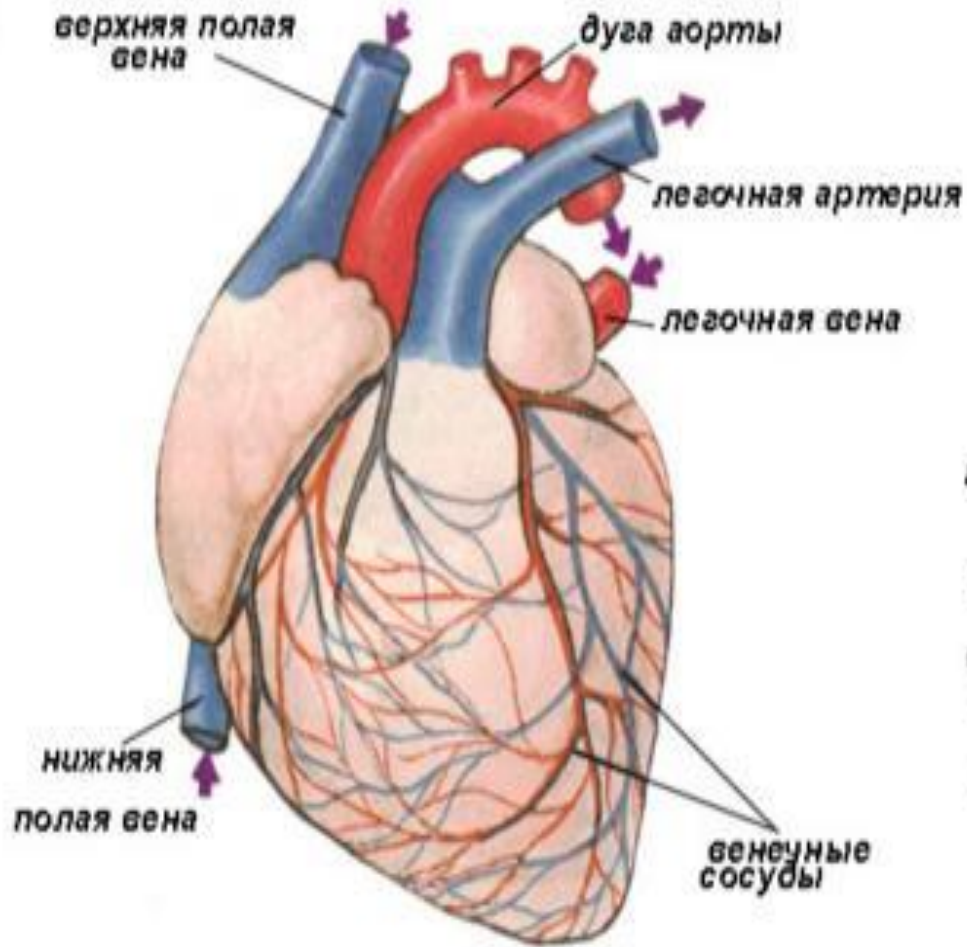
Расположение сердца в теле человека



Сердце (cor, греч. cardia)

- конусовидный, полый фиброзно-мышечный орган, расположенный в грудной полости за грудиной в среднем средостении на сухожильном куполе диафрагмы.
- Справа на 2 см заступает за правый край грудины. Левая граница идет по дуге до верхушки сердца, определяется в левом пятом межреберье, на 1-2 см от левой среднеключичной линии. Венечная борозда отделяет предсердия от желудочков. Передняя стенка предсердий имеет расширения - **правое и левое ушко**. Они охватывают аорту и легочный ствол. Размеры сердца сравнивают с величиной кулака данного человека

СТРОЕНИЕ СЕРДЦА

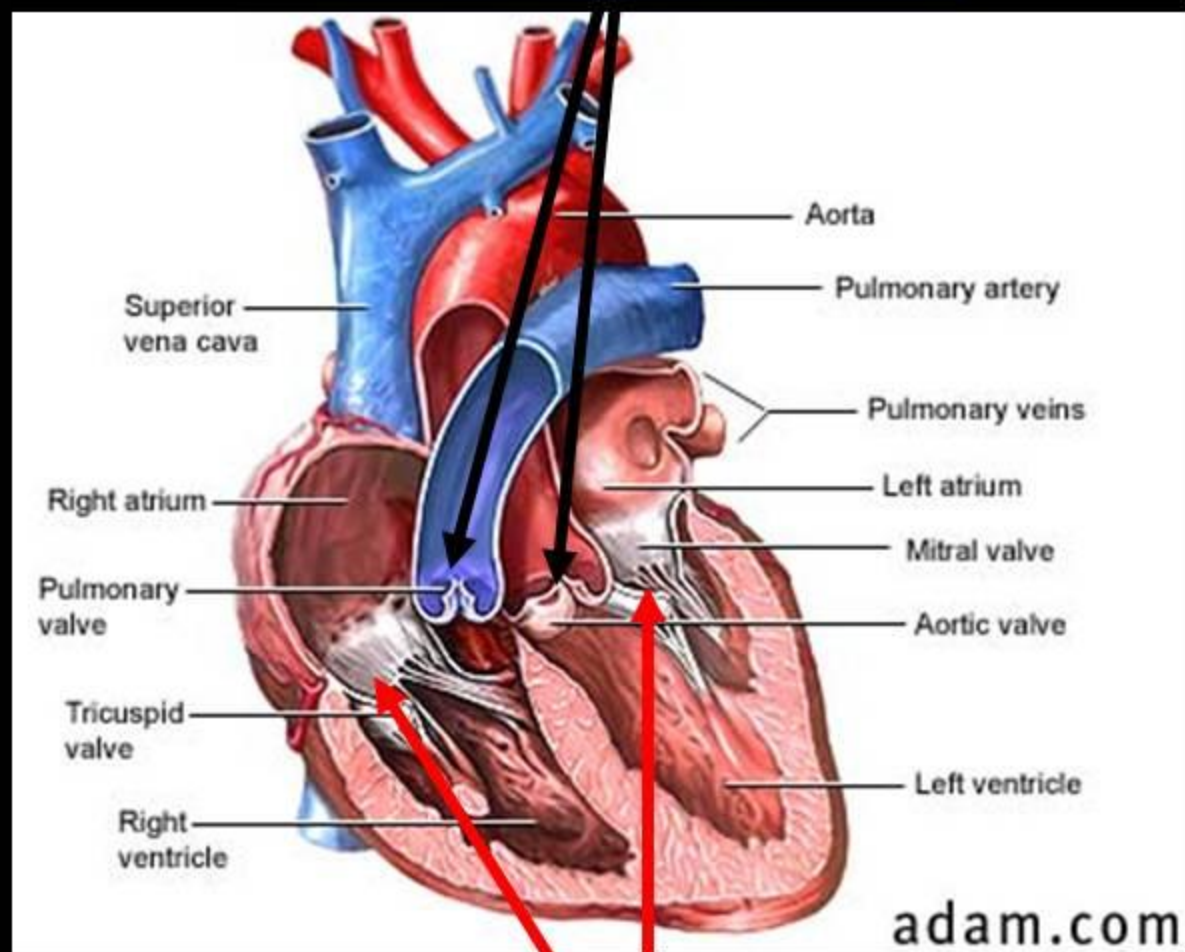


- Сердце человека имеет 4 камеры: два предсердия и два желудочка. Перегородка между камерами сердца сплошная, правая половина не сообщается с левой. Поперечная перегородка делит сердце на предсердия и желудочки. В ней имеются предсердно-желудочковые отверстия, снабженные **створчатыми клапанами**. Клапан между левым предсердием и желудочком **двустворчатый (левый предсердно-желудочковый, митральный, бicuspidальный)**, а между правым предсердием и желудочком - **трехстворчатый, (правый предсердно-желудочковый, трикуспидальный)**

- Клапаны открываются в сторону желудочков и пропускают кровь только в этом направлении. Легочный ствол и аорта у своего начала имеют **полулунные клапаны** из трех заслонок в форме полумесяца и открывающиеся по направлению тока крови в этих сосудах.

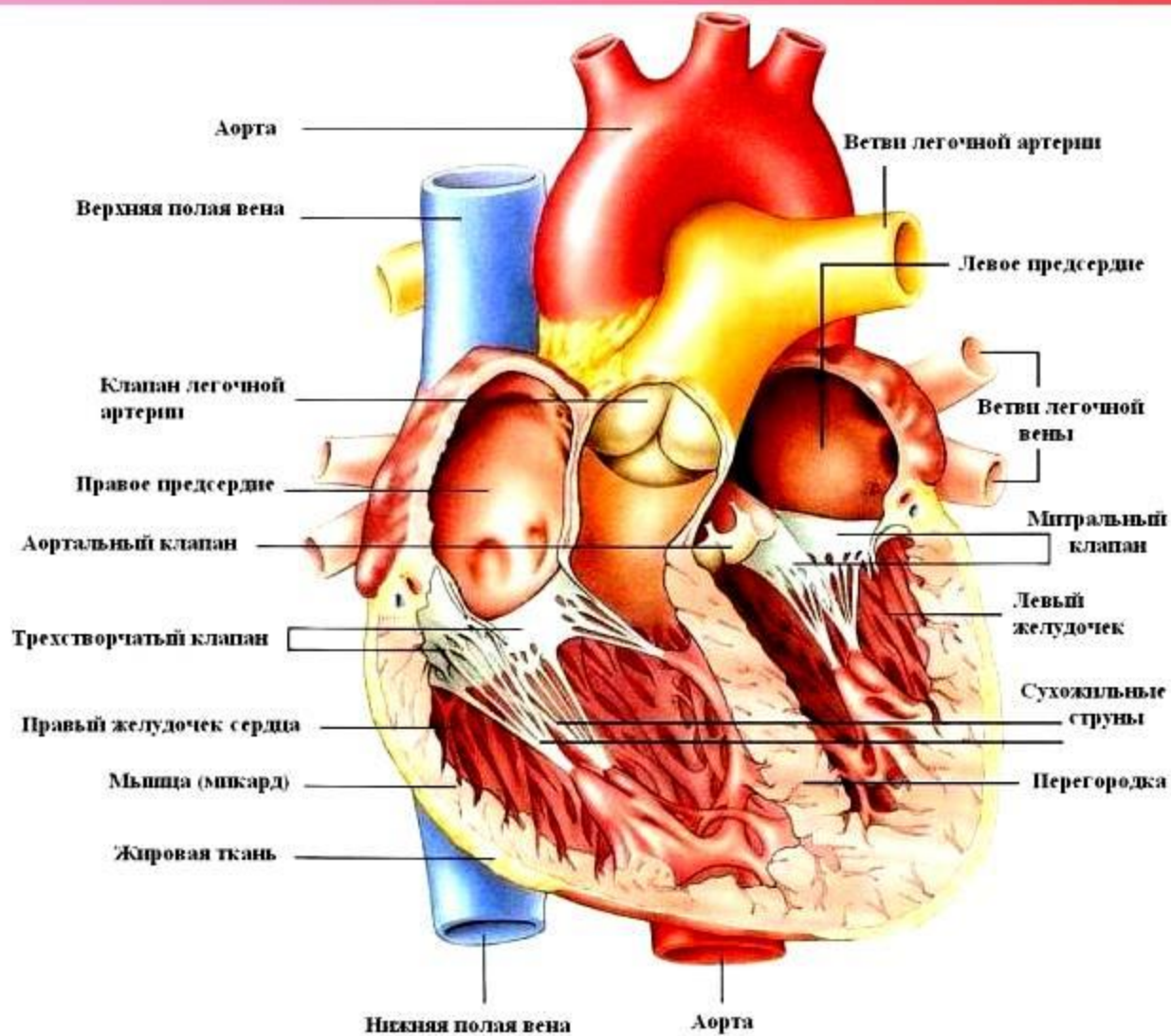
Клапаны сердца

Полулунные
клапаны



Створчатые
клапаны

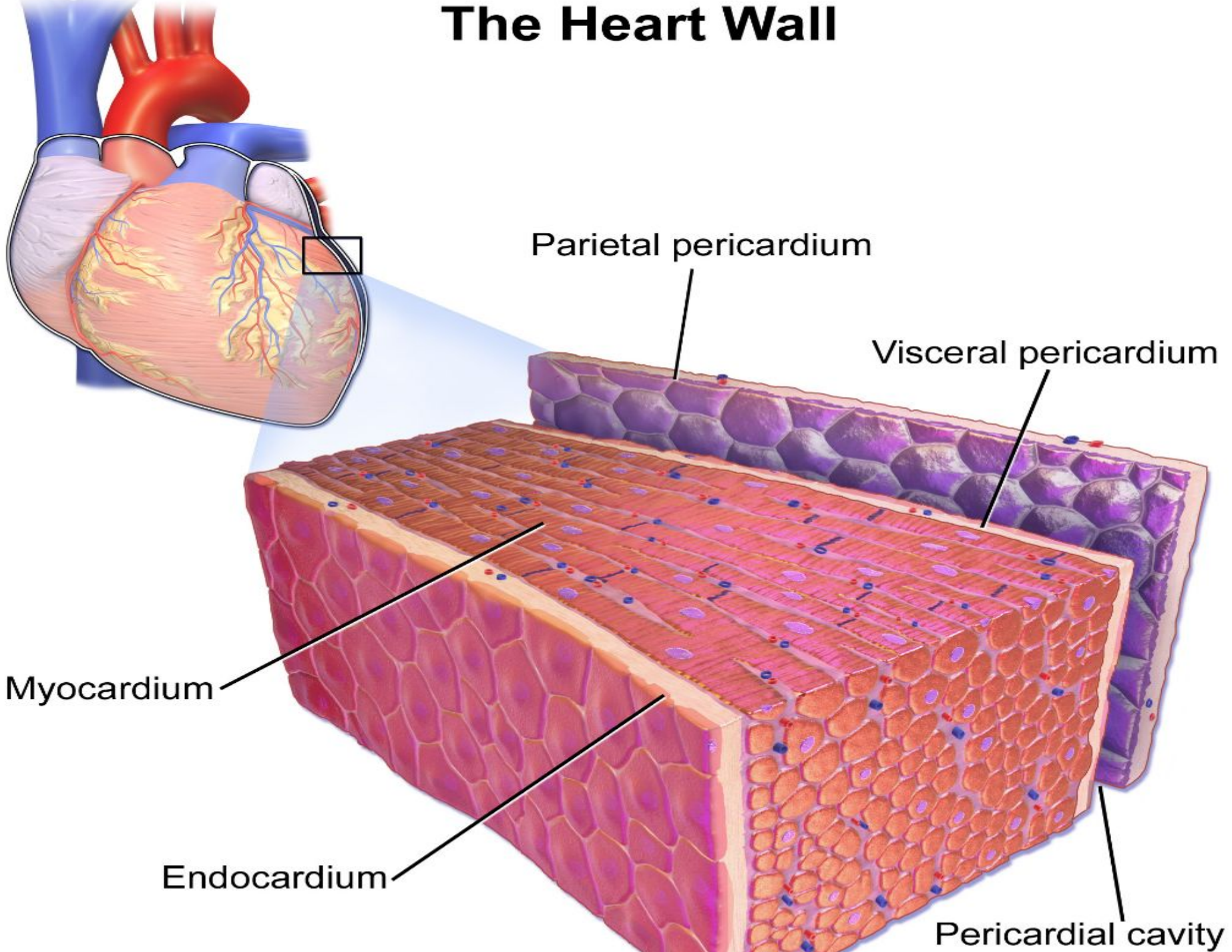
Строение сердца



- Стенка сердца состоит из трех слоев: внутренний - **эндокард**, средней - **миокард** и снаружи - **эпикард**.
- **Эндокард** выстилает все полости сердца, сращен с мышечным слоем, покрывает сосочковые мышцы с их **сухожильными нитями (хордами)**. Состоит из соединительной ткани, покрыт эндотелием, образует все сердечные клапаны.
- **Миокард** - сократительный аппарат сердца. Образован поперечнополосатой сердечной мышечной тканью.

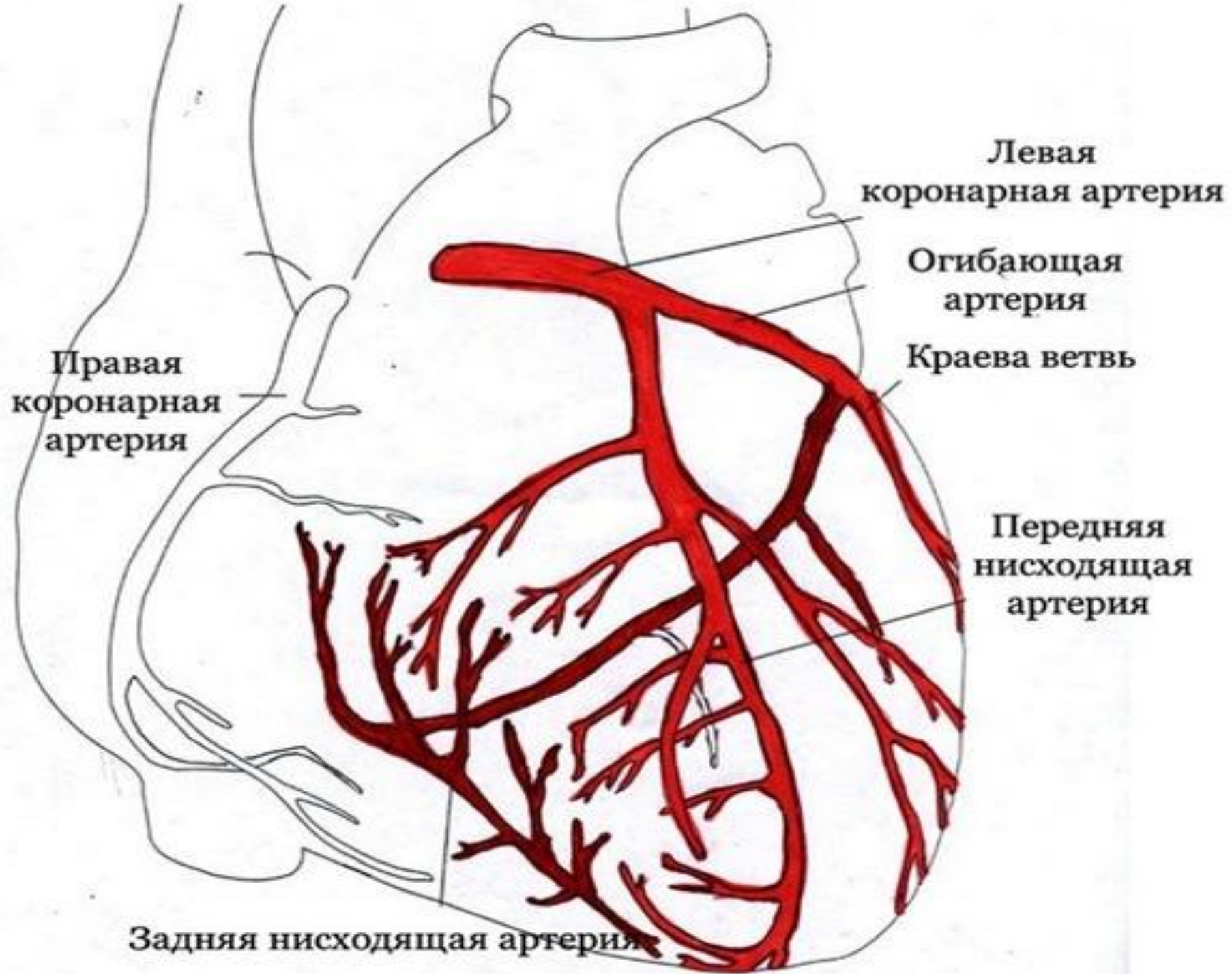
- Мускулатура предсердий полностью отделена от мускулатуры желудочков при помощи фиброзных колец вокруг предсердно-желудочковых отверстий. Мышечная оболочка предсердий тонкая двухслойная, миокард желудочков - толстый трехслойный.
- **Эпикард** - часть серозной оболочки, охватывающей сердце (**перикарда**). Между эпикардом и перикардом щелевидное пространство с небольшим количеством серозной жидкости. **Перикард** изолирует сердце, предохраняет его от чрезмерного растяжения, а серозная жидкость уменьшает трение при сердечных сокращениях.

The Heart Wall



Кровоснабжение миокарда

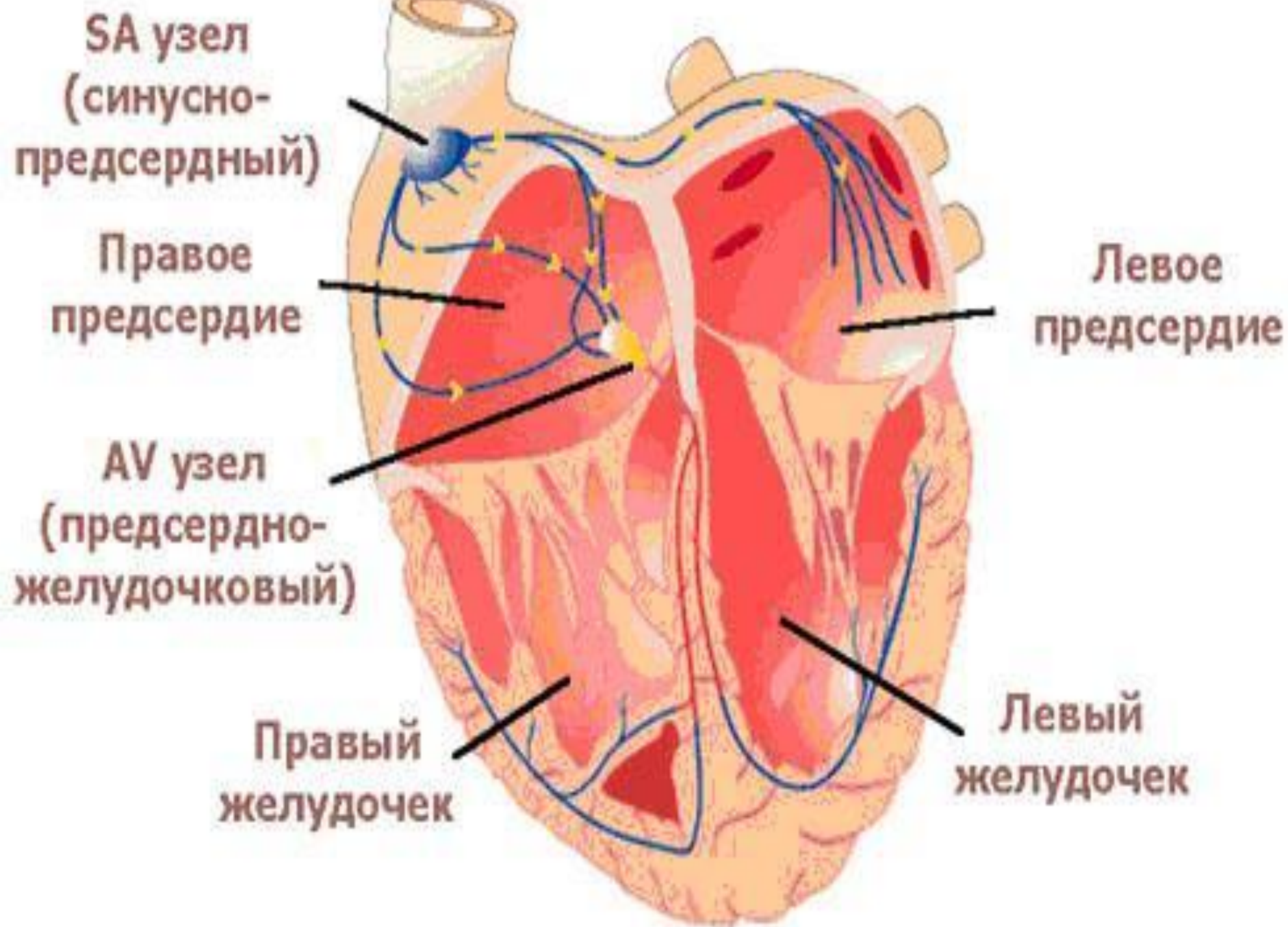
- **Венечный (коронарный)** круг кровообращения начинается **левой и правой венечными артериями**, которые отходят от начального отдела аорты - **луковицы аорты**. Протекая по капиллярам, кровь отдает миокарду кислород и питательные вещества, получает продукты обмена и углекислый газ, становясь венозной. Вены сердца впадают в **венечный синус**, открывающийся в правое предсердие. При массе сердца, составляющей только 1/200 от массы тела, в венечные артерии поступает 10% всей крови, выбрасываемой в аорту.



Проводящая система сердца

- Автоматизм сердечных сокращений, регуляция и координация сократительной деятельности сердца осуществляется **проводящей системой**. Она состоит из особых клеток, которые обладают способностью автоматически генерировать и проводить электрические импульсы по миокарду, обеспечивает связь предсердий и желудочков, последовательность сокращения предсердий и затем желудочков. Главным генератором импульсов служит **синусно-предсердный узел (синусный)**, расположенный в стенке правого предсердия рядом с устьем верхней полой вены

- Состоит из **клеток водителей ритма**, способных к автоматизму. Отсюда возбуждение передается по миокарду на оба предсердия и до следующего узла:
- **Предсердно-желудочковый узел** (атрио-вентрикулярный узел) лежит в толще нижнего отдела межпредсердной перегородки. Книзу этот узел переходит в **пучок Гиса**. В межжелудочковой перегородке этот пучок делится на правую и левую **ножки пучка Гиса**, отдающие **волокна Пуркинье** по миокарду желудочков



Иннервация сердца

- К синусно-предсердному узлу проводящей системы подходят симпатические нервы от симпатического ствола и парасимпатические ветви от блуждающего нерва (X пара черепных нервов). Через них осуществляется нервная регуляция его работы. Импульсы, поступающие из ЦНС по симпатическим нервам, вызывают усиление и учащение сердечной деятельности, а по парасимпатическим - ее ослабление и замедление. В стенке сердца имеются также и рецепторы - окончания чувствительных (афферентных) нервов.

- **Свойства миокарда:**
- **Возбудимость** - способность сердечной мышцы приходить в состояние возбуждения. Миокард менее возбудим, чем скелетная мускулатура.
- **Проводимость** - способность распространять возбуждение по миокарду. Скорость распространения возбуждения по миокарду в 5 раз меньше, чем по волокнам скелетных мышц.
- **Сократимость** - способность миокарда развивать при возбуждении напряжение. Для сокращения сердце получает энергию от распада АТФ.

- Сила сокращения зависит от силы растяжения - **закон растяжения сердца.**
- **Рефрактерный период** - это период невосприимчивости мышцы сердца к действию раздражителей. Благодаря ему, длящемуся дольше, чем систола, сердечная мышца не способна к длительному (тетаническому) сокращению и совершает работу по типу одиночного мышечного сокращения

Сердечный цикл

- У здорового человека в условиях покоя нормальной частотой сердечных сокращений является 60-90 в минуту. Частота сердечных сокращений более 90 - **тахикардия**, менее 60 - **брадикардия**.
- Сердечный цикл состоит из трех фаз: **систола предсердий, систола желудочков и общей паузы** (одновременной диастолы предсердий и желудочков). **Систола предсердий** слабее и короче систолы желудочков и длится 0,1 сек. **Систола желудочков** мощная и продолжительная, равна 0,3 сек. **Диастола предсердий** занимает по времени 0,7 сек., желудочков - 0,5 сек. **Общая пауза сердца** длится 0,4 с. В этот период сердце отдыхает. **Весь сердечный цикл продолжается 0,8 сек.**

- Желудочки работают 8 часов в сутки. Во время мышечной работы, укорочение сердечного цикла происходит за счет сокращения общей паузы. Длительность систолы предсердий и желудочков не меняется. Во время общей паузы весь миокард расслабляется, створчатые клапаны открыты, а полулунные - закрыты. Давление в камерах сердца падает до нуля, вследствие чего кровь из полых и легочных вен, где давление чуть выше, заполняет предсердия и желудочки самотеком, пассивно, заполняя их на 70% от объема. Систола предсердий, во время которой давление в них дополнительно повышается, вызывает нагнетание в желудочки еще 30%.

- После окончания систолы предсердий начинается **систола желудочков**, которая состоит **из фазы напряжения** и **фазы изгнания** крови. **Фаза напряжения** протекает при закрытых клапанах. В это время мышца сердца напрягается вокруг несжимаемого - крови. Длина мышечных волокон не меняется, но с увеличением их напряжения растет давление в желудочках. В момент, когда давление крови в желудочках превысит давление в артериях, полулунные клапаны открываются, и кровь выбрасывается в аорту и легочный ствол. Начинается вторая фаза систолы желудочков - **фаза изгнания крови**. Систолическое давление в левом желудочке достигает 120 мм рт. ст.

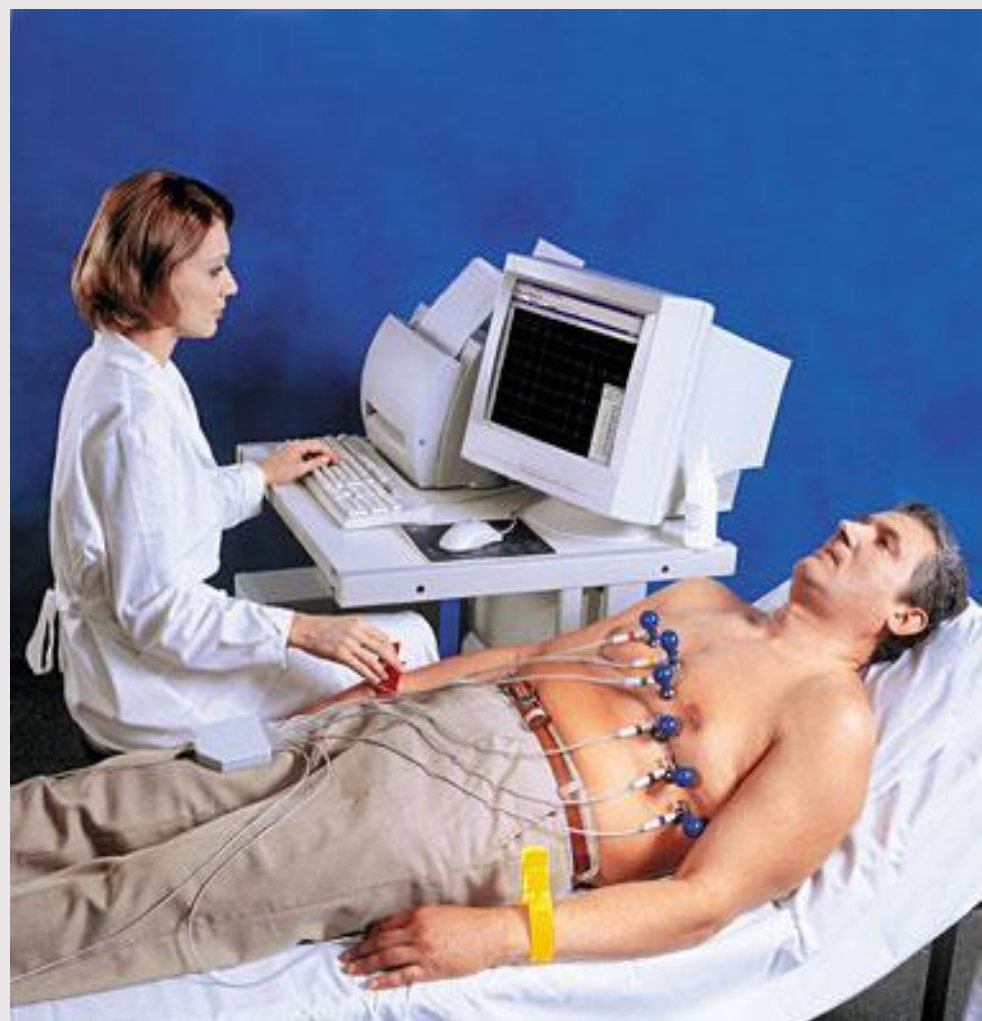
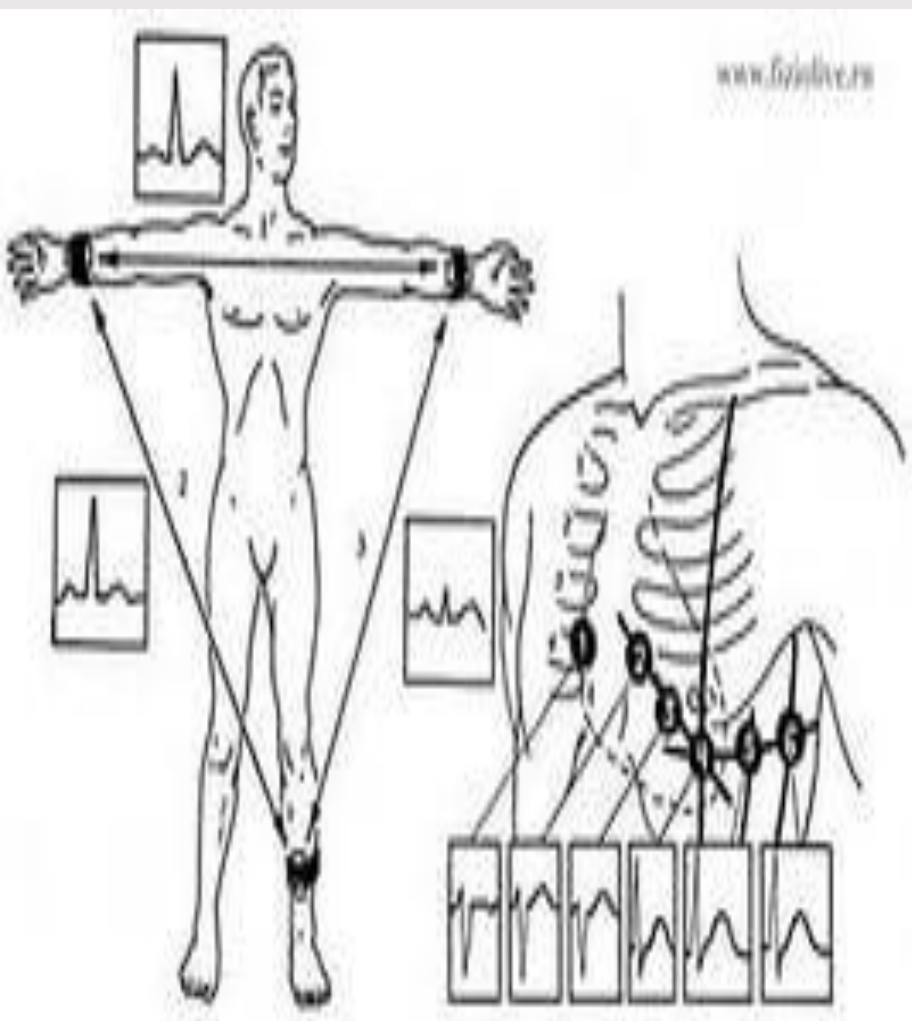
Внешние проявления и

показатели деятельности сердца

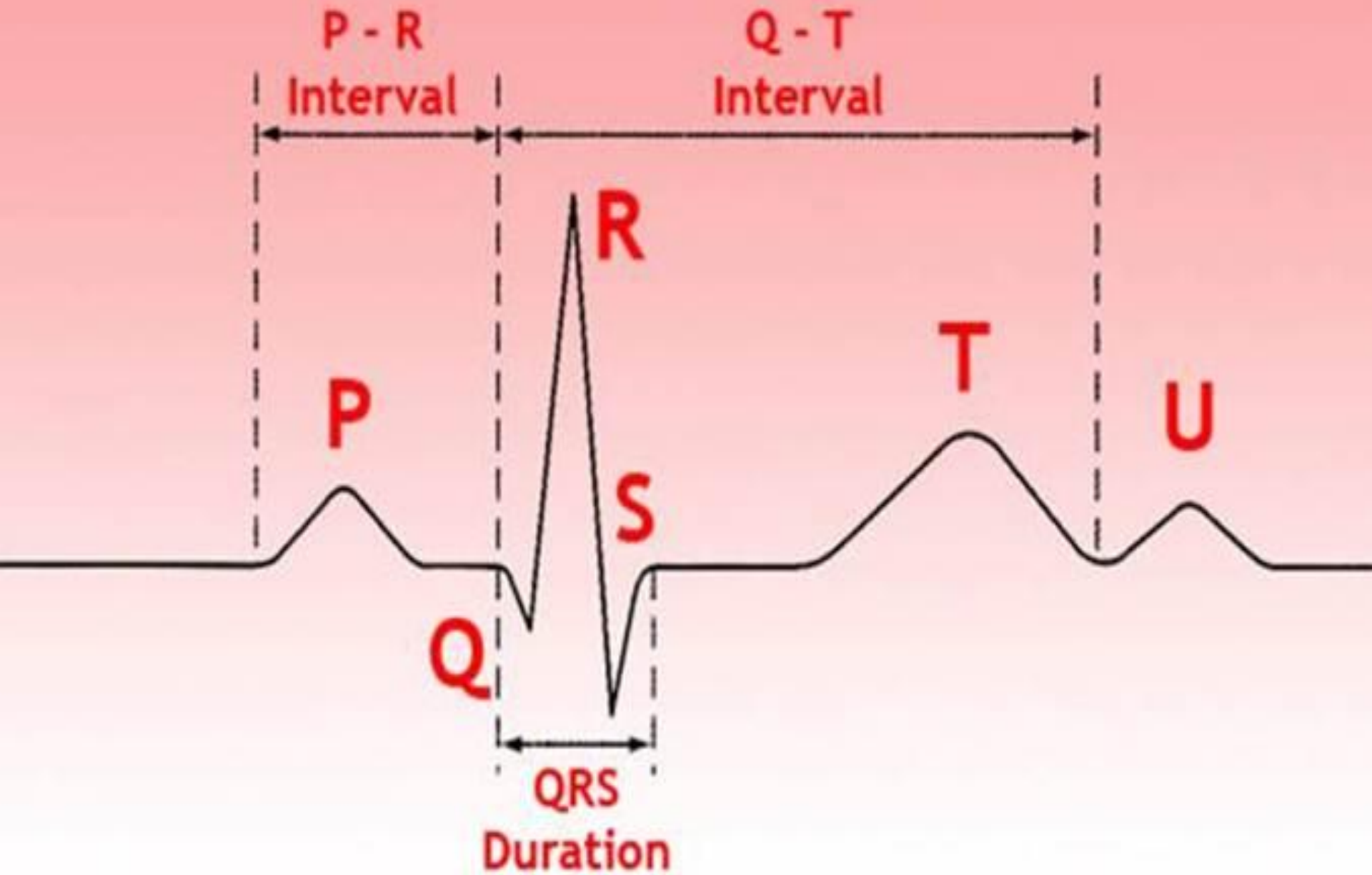
- **Верхушечный толчок** обусловлен тем, что верхушка сердца поднимается и толкает грудную клетку в области V межреберья слева.
- **Сердечные тоны** - это звуковые явления, возникающие в работающем сердце. Различают два тона сердца: I тон, или систолический, и II тон, или диастолический. I тон более низкий, глухой и продолжительный, II тон короткий и более высокий.
- **Фонокардиография** - регистрация акустических проявлений работы сердца.

- В покое при каждой систоле желудочки сердца выбрасывают в аорту и легочный ствол по 70-80 мл, примерно половину содержащейся в них крови. Это **систолический, или ударный, объем сердца**. Если систолический объем равен 80 мл крови, а сердце сокращается 70 раз в минуту, то **минутный объем** будет $80 \text{ мл} \times 70 = 5600 \text{ мл}$ (5,6 л). При тяжелой мышечной работе систолический (ударный) объем сердца возрастает до 200 мл, а минутный объем достигает 30 л/мин.

Электрокардиография



Кардиограмма



- Каждое сокращение сердца сопровождается возникновением электрических токов в сердечной мышце. Регистрация биотоков сердца - **электрокардиография**, а полученная кривая - **электрокардиограмма (ЭКГ)**. Состоит из зубцов P, Q, R, S, T и интервалов между ними. В норме на ЭКГ здорового человека в стандартных двухполюсных отведениях зубцы P, R и T, как правило, направлены вверх (положительные зубцы), Q и S - вниз (отрицательные зубцы). Самым высоким зубцом ЭКГ в стандартных отведениях в норме является зубец R. Зубец P отражает процесс возбуждения в предсердиях. Интервал PQ - время, в течение которого возбуждение распространяется от предсердий до желудочков (предсердно-желудочковый интервал).

- Зубцы Q, R и S отражают процесс возбуждения миокарда желудочков. Зубец T связан с восстановительными процессами в миокарде желудочков.

Общая ангиология

- Артерии и вены относят к магистральным сосудам, остальные сосуды формируют микроциркуляторное русло.
- **Артерии - кровеносные сосуды, несущие кровь от сердца**, независимо от того, какая кровь (артериальная или венозная) в них находится. Представляют собой трубки, стенки которых состоят из трех оболочек: снаружи соединительнотканная (адвентициальная), средняя гладкомышечная и внутренняя эндотелиальная (интима). Самые тонкие артериальные сосуды - **артериолы**. Они переходят в **прекапилляры**, а последние - в **капилляры**.

• **Капилляры** - это микроскопические обменные сосуды, которые находятся в тканях и соединяют артериолы с венулами. По мере слияния посткапилляров образуются венулы - самые мелкие венозные сосуды.

Вены - кровеносные сосуды, несущие кровь к сердцу, независимо от того, какая кровь (артериальная или венозная) в них находится. Стенки вен гораздо тоньше и слабее артериальных, но состоят из тех же трех оболочек. Вены имеют клапаны, препятствующие обратному току крови. Не имеют клапанов только полые вены, вены головы, почечные, воротная и легочные.

Сосуды		Артерия	Артериола	Капилляр	Венула	Вена
Диаметр, мм		25÷4	$30 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	5÷30
Толщина стенки, мм		2÷1	$20 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	0,5÷1,5
Оболочка	Эндотелий					
	Эластическая					
	Мышечная					
	Фиброзная					
Схема кровеносного сосуда						

- Сосуды могут соединяться между собой **соустьями (анастомозы)**. Сосуды, обеспечивающие окольный ток крови в обход основного пути, называются **коллатерали (окольные)**.
- **Функционально различают несколько видов кровеносных сосудов:**
- **Магистральные сосуды** - крупные артерии (эластического и мышечно-эластического типа), которые почти не оказывают сопротивление кровотоку.
- **Резистивные сосуды (сосуды сопротивления) - артериолы**, которые регулируют артериальное давление

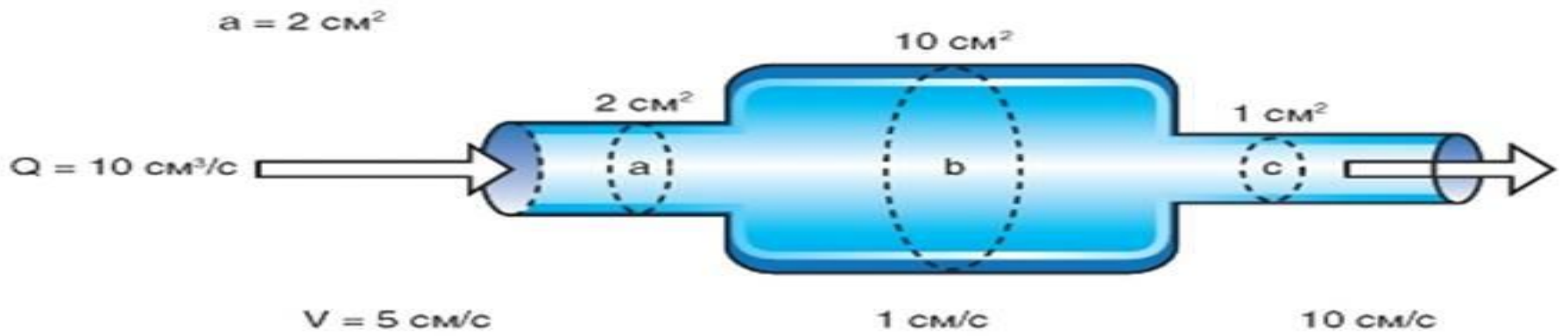
- **Истинные капилляры** - сосуды с высокопроницаемой стенкой, благодаря чему происходит обмен веществами между кровью и тканями.
- **Емкостные сосуды** - вены, вмещающие 80% всей крови.
- **Шунтирующие сосуды** - анастомозы между артериолами и венулами, обеспечивающие прямую связь между ними в обход капиллярного русла

• Движение крови по сосудам определяется двумя силами: разностью давления в начале и конце сосуда и сопротивлением, которое препятствует току крови.

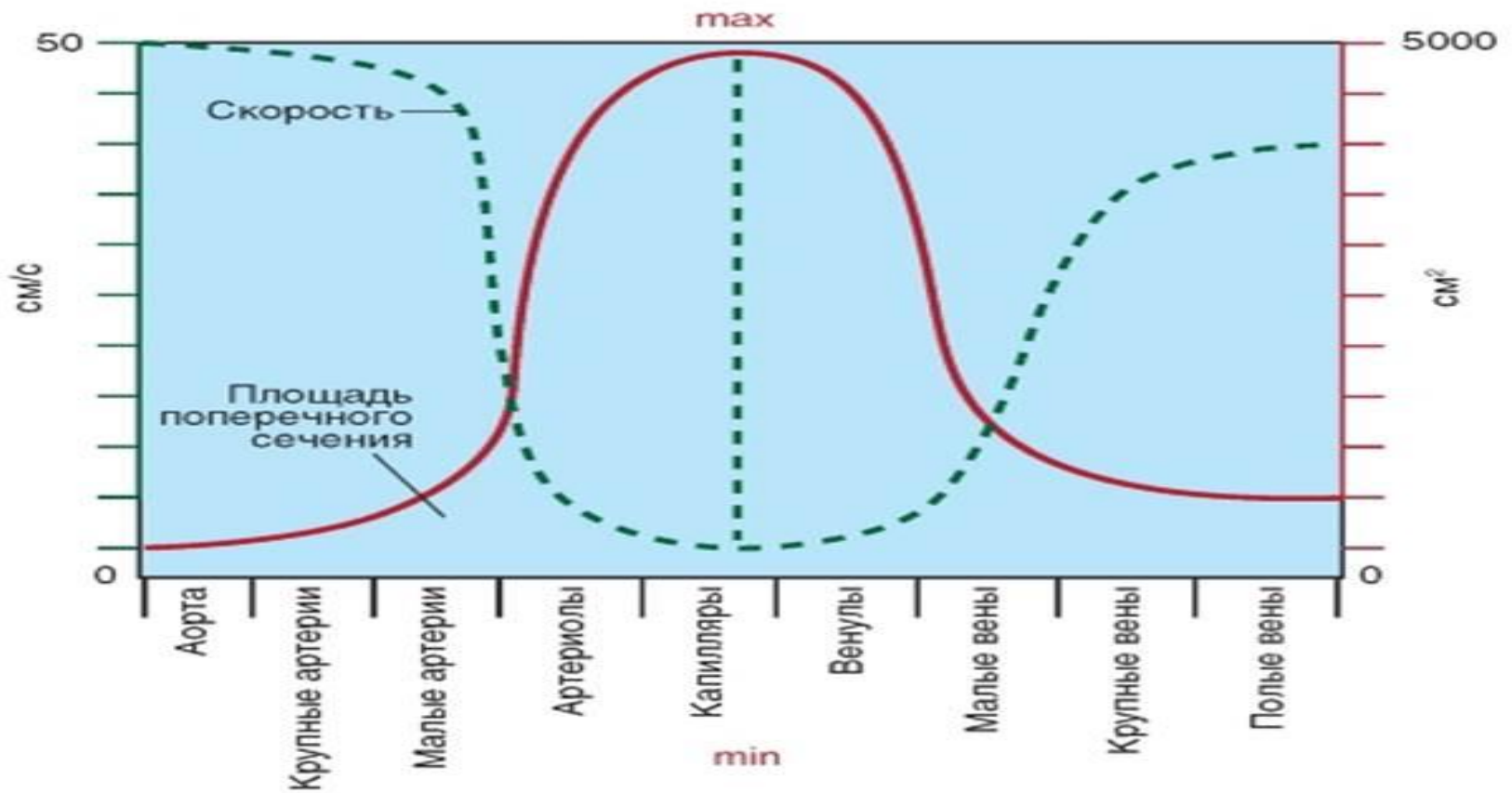
• Сердце при сокращении растягивает эластические элементы стенок магистральных сосудов, в которых накапливается запас энергии, затраченной на их растяжение. Во время диастолы растянутые эластические стенки артерий спадаются и накопленная в них потенциальная энергия сердца движет кровь, обеспечивая **непрерывность кровотока и в систолу и в диастолу**.
Линейная скорость кровотока обратно пропорциональна общей площади поперечного сечения однотипных сосудов.

• Просвет аорты в 2 раза меньше просвета полых вен - поэтому скорость кровотока в аорте в 2 раза быстрее скорости кровотока в полых венах. Общий просвет артериол и венул одинаков, как и скорость кровотока в них.

• Капилляры имеют колоссальный суммарный просвет - поэтому в них кровь течет очень медленно (**в 1000 раз чем в аорте**), что создает оптимальные условия для обмена между кровью и тканями.



Б



Давление крови

Кровяное давление - это давление крови на стенки сосудов организма.

Оно зависит от:

частоты и силы сердечных сокращений;

периферического сопротивления, определяемого тонусом мышечных стенок артериол;

объема циркулирующей крови.

Систолическое (максимальное) давление - давление, отражающее состояние миокарда левого желудочка - 100-120 мм рт. ст. Диастолическое

(минимальное) давление - характеризует тонус артериальных стенок. Равно 60-80 мм рт. ст.

- **Пульсовое давление** - это разность между систолическим и диастолическим давлением, оно необходимо для открытия полулунных клапанов аорты и легочного ствола во время систолы желудочков.

• Величину АД можно измерить двумя методами: прямым и непрямым. При измерении прямым, или кровавым, методом в центральный конец артерии вставляют и фиксируют иглу, которую резиновой трубкой соединяют с манометром. Этим способом регистрируют АД во время операции на сердце. В медицине измеряют АД непрямым методом при помощи тонометра.

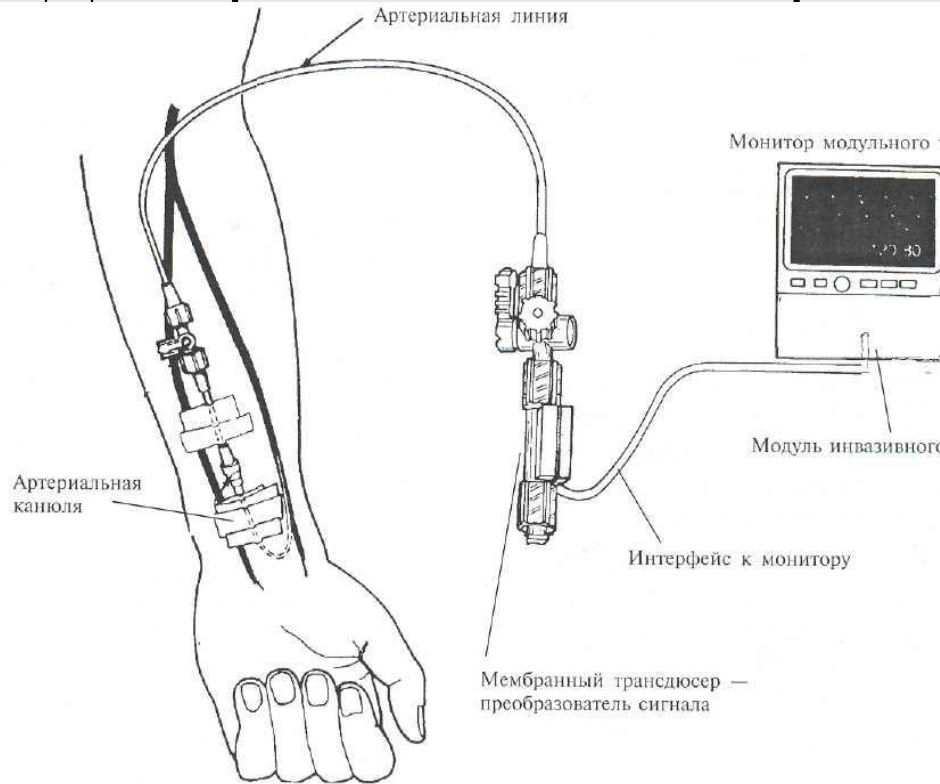


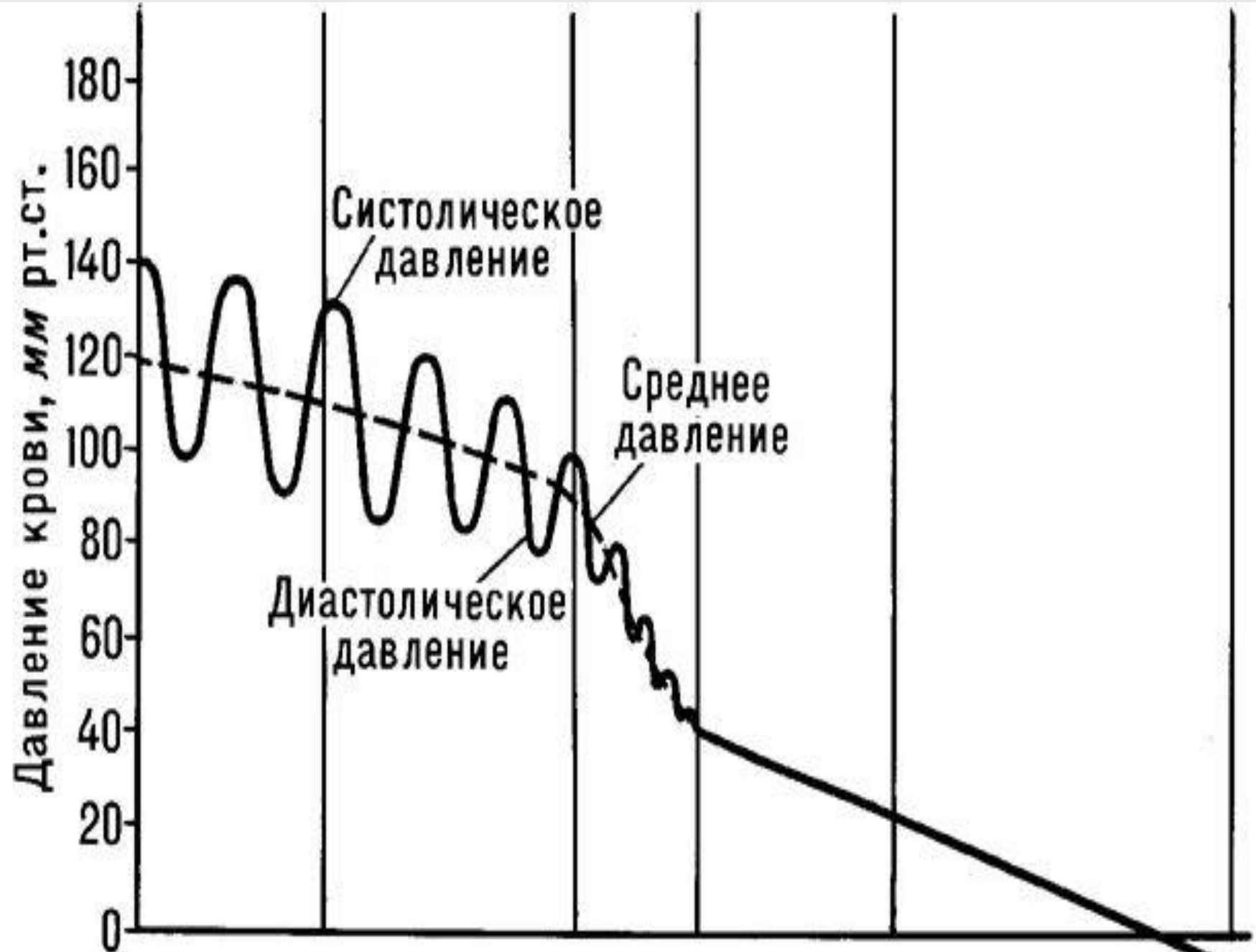
Рис. 7—1. Схематическое изображение системы мониторинга АД инвазивным способом.

- **Артериальный пульс** - ритмические колебания артериальной стенки, обусловленные систолическим повышением давления в ней. Пульсация лучевой артерии определяется путем прижатия ее к кости в области запястья.

Пульсовые характеристики: частота - число ударов в минуту

- **ритмичность** - правильное чередование пульсовых ударов
- **наполнение** - степень изменения объема артерии, устанавливаемая по силе пульсового удара
- **напряжение** - сила, которую нужно приложить, чтобы сдавить артерию до исчезновения пульса.

- Пульсовая волна возникает в аорте в момент изгнания крови из желудочка, когда стенка аорты растягивается и колебания артериальной стенки распространяются по артериям до артериол, превышая в 10 раз скорость движения крови.
- Пульс можно прощупать в тех местах, где артерия близко прилежит к кости: плечевая - медиальная поверхность средней трети плеча, общая сонная - передняя поверхность поперечного отростка VI шейного позвонка, поверхностная височная - височная область, лицевая - угол нижней челюсти впереди от жевательной мышцы, бедренная - пах, тыльная артерия стопы - тыл поверхность стопы



Желудочек Аорта Артерии Артериолы Капилляры Вены Предсердие

Регуляция кровообращения

- Осуществляется нервной системой и гуморально.
- Нервную осуществляет **сосудодвигательный центр продолговатого мозга**, симпатическими и парасимпатическими волокнами вегетативной нервной системы.
- Тонус сосудодвигательного центра зависит от нервных импульсов, постоянно идущих к нему от рецепторов рефлексогенных зон. **Рефлексогенные зоны** - участки сосудистой стенки, содержащие специальные рецепторы. В этих зонах содержатся: **барорецепторы**, воспринимающие колебания давления крови в сосудах

- **хемотрецепторы**, воспринимающие изменения химического состава крови (CO_2, O_2)
- **волюмотрецепторы** (франц. volume - объем), воспринимающие изменение объема крови. Главные рефлексогенные зоны: **дуга аорты и синокаротидная зона** (общая сонная артерия в месте ее разделения на наружную и внутреннюю)

- К сосудосуживающим веществам относятся:
- **адреналин** - гормон мозгового слоя надпочечников;
- **норадреналин** - медиатор симпатических нервов;
- **ангиотензин**, образующийся из **ангиотензиногена** плазмы крови под влиянием ренина - фермента почек (**ренин-ангиотензиновая система**)
- **серотонин** - биологически активное вещество, образуемое в слизистой оболочке кишечника, мозге, тромбоцитах, соединительной ткани.

- К сосудорасширяющим веществам относятся:
- **ГИСТАМИН** - биологически активное вещество, образующееся в стенке желудочно-кишечного тракта и других органах;
- **АЦЕТИЛХОЛИН** - медиатор парасимпатических и соматических нервов;
- **Тканевые гормоны: кинины и простагландины**
- **Молочная кислота, углекислый газ**