

# ОСНОВЫ ГЕМОДИНАМИКИ

Общая характеристика сердечно-сосудистой системы и ее значение.

Большой и малый круги кровообращения.

Строение сердца.

Клапаны сердца и их работа.

## Сердечно – сосудистая система

- Включает в себя две системы: кровеносную (систему кровообращения) и лимфатическую (систему лимфообращения). Учение о сердечно-сосудистой системе - **ангиокардиология**.  
Кровеносная система обеспечивает доставку тканям питательных, защитных веществ, кислорода, отвод продуктов обмена, теплообмен. Представляет собой замкнутую сосудистую сеть, пронизывающую все органы и ткани, и имеющую центрально расположенное 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

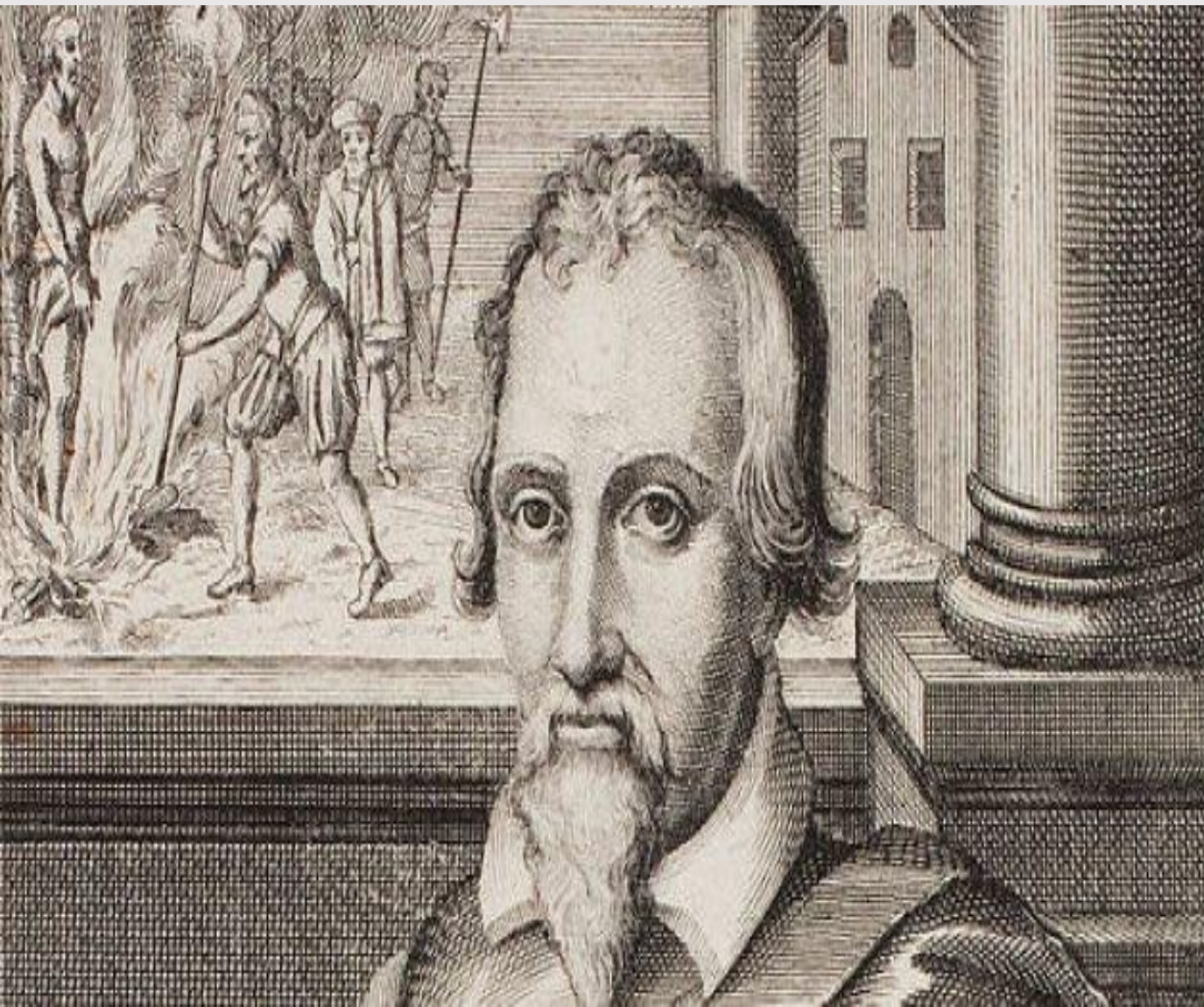




- английский врач Вильям Гарвей, который в 1628 г. опубликовал известный труд «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных».
- Открыл БКК
- Установил роль сердца в гемодинамике



# Мигель Сервет

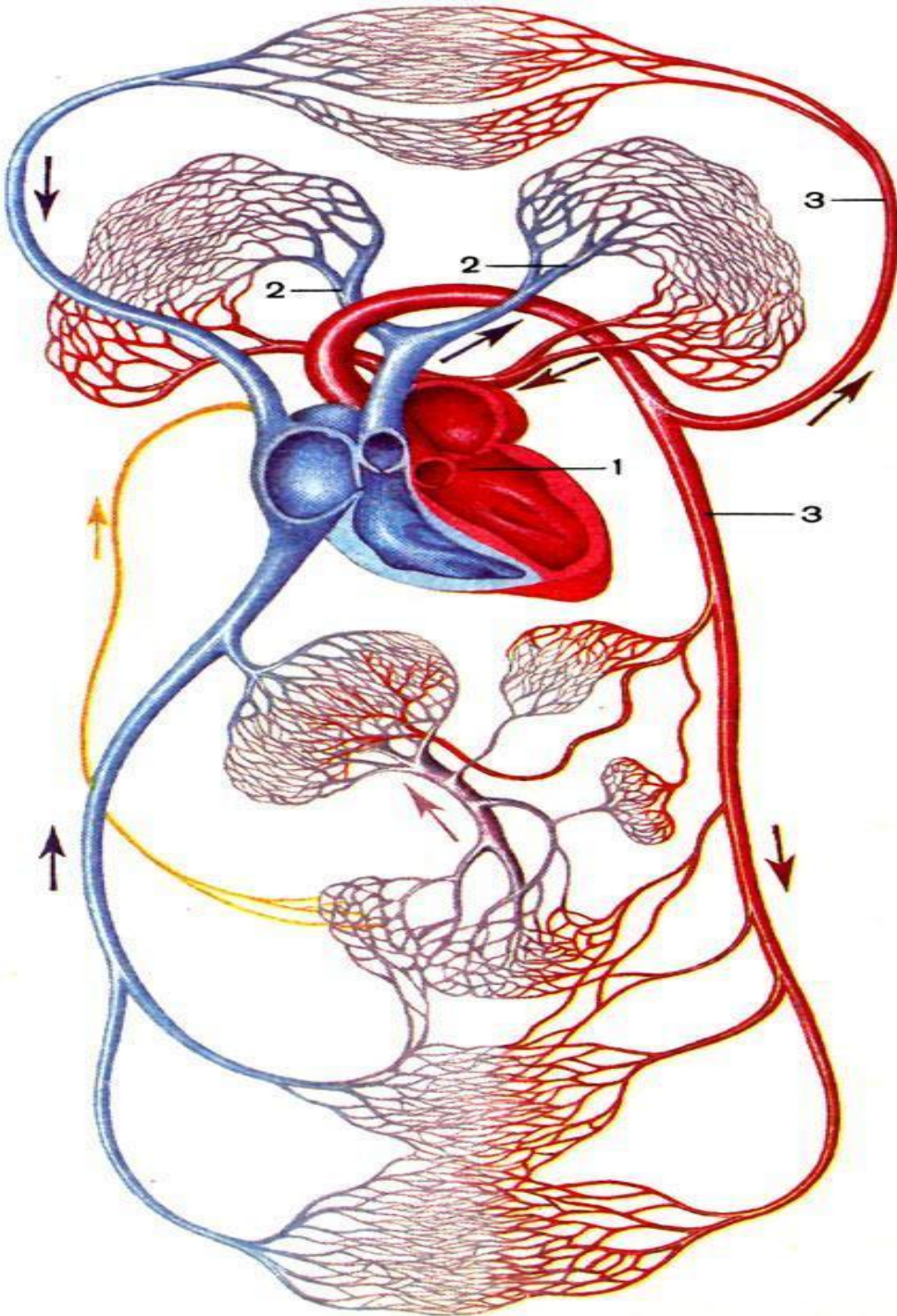


- Открыл МКК



## Круги кровообращения

- Большой круг кровообращения - телесный начинается от левого желудочка сердца. Он включает аорту, артерии, артериолы, капилляры, венулы и вены. Заканчивается большой круг 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. Обычно к капиллярной сети подходит артериола, а выходит из нее венула.



## Малый круг кровообращения.



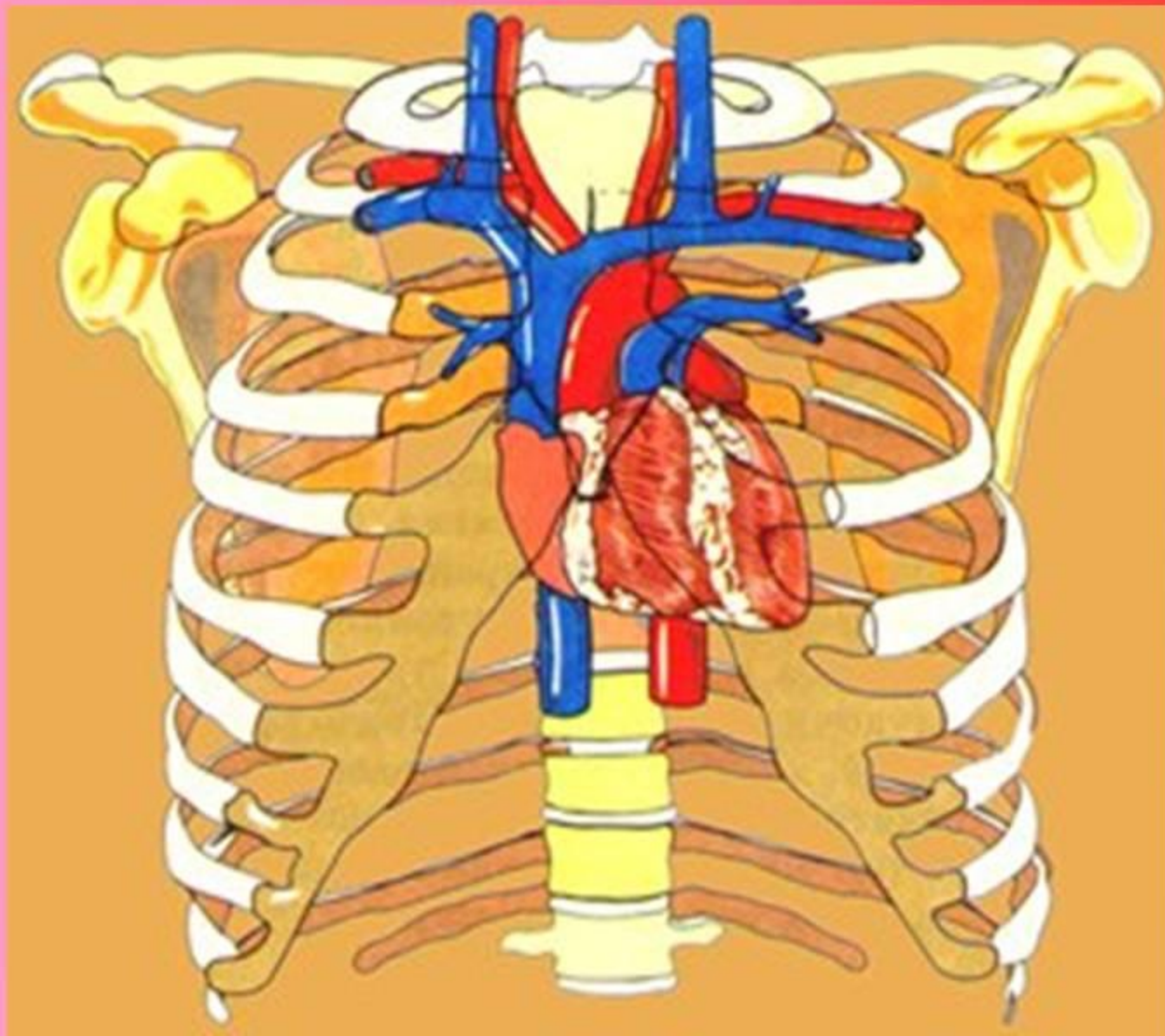
начинается в правом  
желудочке  
Заканчивается в левом  
предсердии



- легочный начинается от правого желудочка. Он включает легочный ствол, ветвящийся на две легочные артерии, более мелкие артерии, артериолы, капилляры, венулы и вены. Заканчивается четырьмя легочными венами, впадающими в левое предсердие. В капиллярах легких венозная кровь, обогащаясь кислородом и освобождаясь от углекислого газа, превращается в артериальную.



# *Расположение сердца в теле человека*

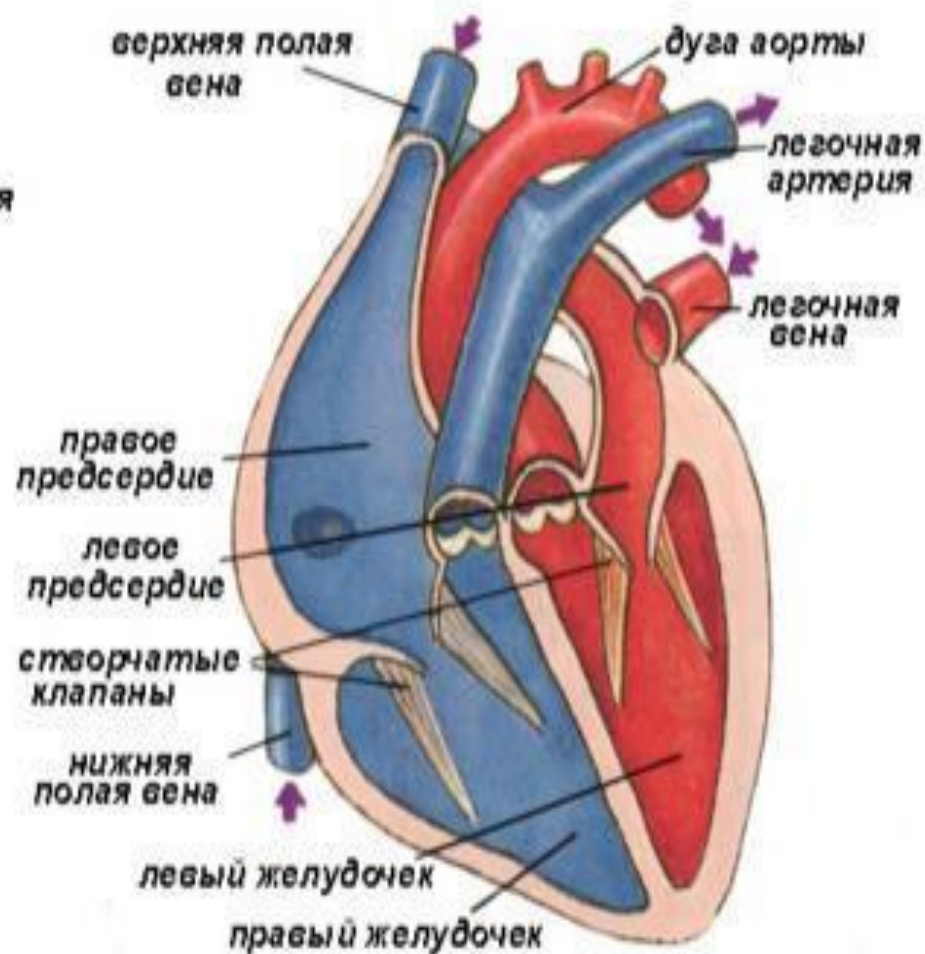
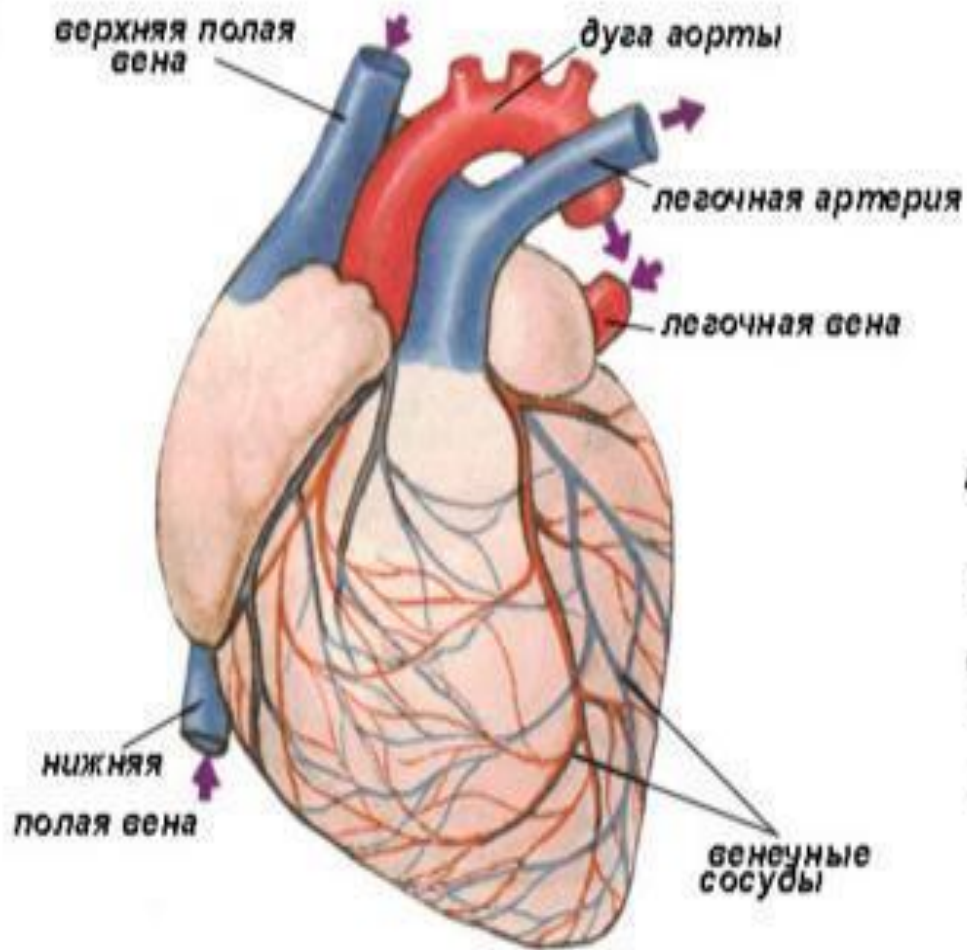




# Сердце (cor, греч. *cardia*)

- - конусовидный, полый фиброзно-мышечный орган, верхушка которого обращена вниз, влево и вперед, а основание - кверху и кзади. Располагается в грудной полости позади грудины в составе органов среднего средостения на сухожильном куполе диафрагмы.
- Правая граница выступает на 2 см за правый край грудины. Левая граница идет по дугообразной линии от хряща III ребра до проекции верхушки сердца. Верхушка сердца определяется в левом пятом межреберье, на 1-2 см ближе к грудины от левой среднеключичной линии. На сердце различают переднюю, нижнюю и боковые поверхности. Венечная борозда отделяет предсердия от желудочков, межжелудочковые борозды разделяют желудочки. В бороздах располагаются сосуды и нервы. Передняя стенка обоих предсердий имеет обращенное кпереди конусообразное расширение - правое и левое ушко. Оба ушка охватывают спереди начало аорты и легочного ствола и представляют собой дополнительные резервные полости. Размеры сердца сравнивают с величиной кулака данного человека

# СТРОЕНИЕ СЕРДЦА

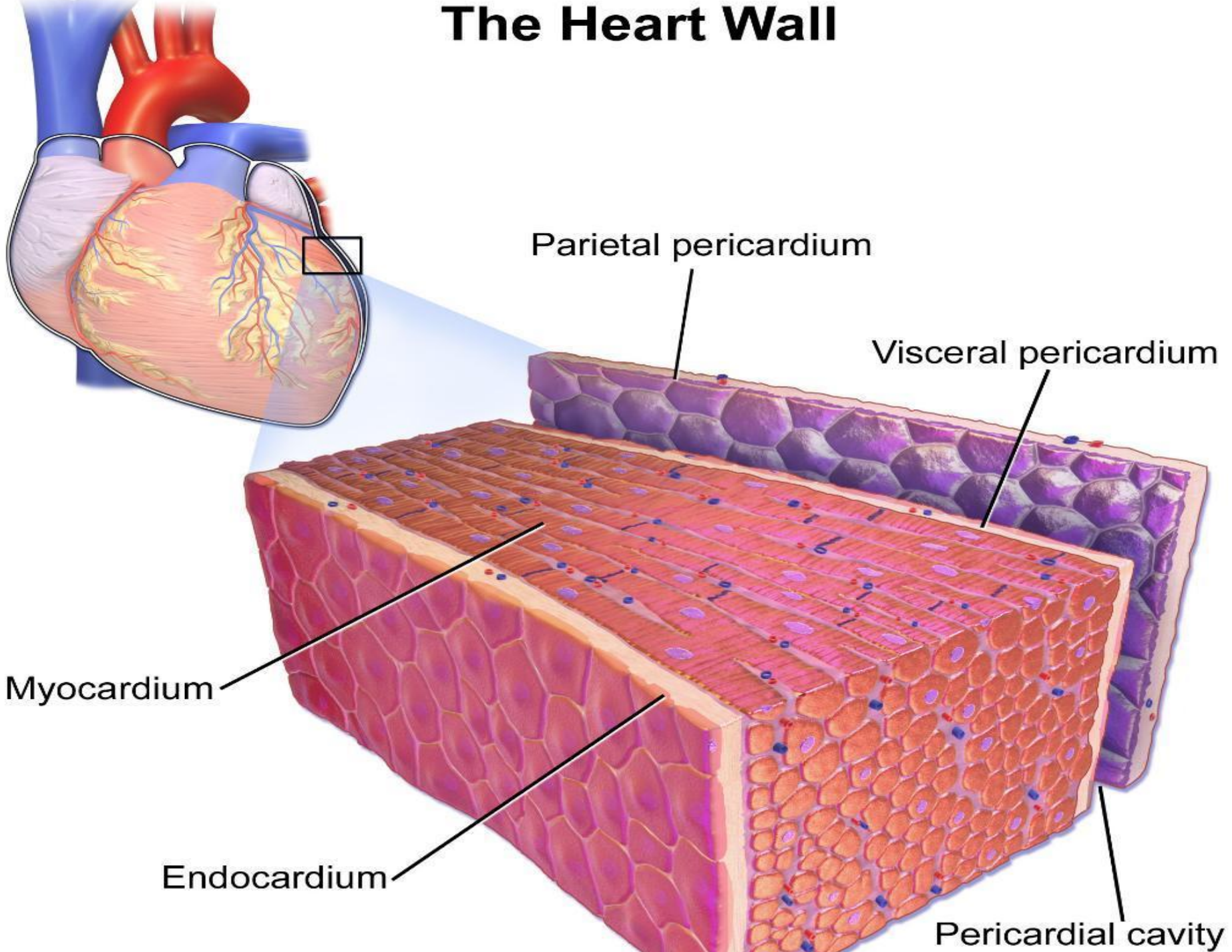


• Сердце человека имеет 4 камеры (полости): два предсердия и два желудочка (правые и левые). Перегородка между камерами сердца не имеет отверстий, правая его половина не сообщается с левой. Поперечная перегородка делит сердце на предсердия и желудочки. В ней имеются предсердно-желудочковые отверстия, снабженные створчатыми клапанами. Клапан между левым предсердием и желудочком является двустворчатым (левый предсердно-желудочковый, митральный, бicuspidальный), а между правым предсердием и желудочком – трехстворчатым (трикуспидальный). Клапаны открываются в сторону желудочков и пропускают кровь только в этом направлении. Легочный ствол и аорта у своего начала имеют полулунные клапаны, состоящие из трех полулунных заслонок и открывающиеся по направлению тока крови в этих сосудах.



- Стенка сердца состоит из трех слоев: внутреннего - эндокарда, среднего, самого толстого - миокарда и наружного - эпикарда.
- Эндокард выстилает изнутри все полости сердца, плотно сращен с мышечным слоем, покрывая сосочковые мышцы с их сухожильными нитями (хордами). Состоит из соединительной ткани с эластическими волокнами, покрыт эндотелием, образует все сердечные клапаны.
- Миокард (мышечный слой) является сократительным аппаратом сердца. Образован поперечнополосатой сердечной мышечной тканью. При этом мускулатура предсердий полностью отделена от мускулатуры желудочков при помощи правого и левого фиброзного колец, расположенных вокруг предсердно-желудочковых отверстий. Мышечная оболочка предсердий двухслойная, она тоньше миокарда желудочков, состоящего из трех слоев.
- Эпикард является частью серозной оболочки, охватывающей сердце (перикарда). Между эпикардом и перикардом имеется щелевидное пространство, в которой находится небольшое количество серозной жидкости. Перикард изолирует сердце от окружающих органов, предохраняет сердце от чрезмерного

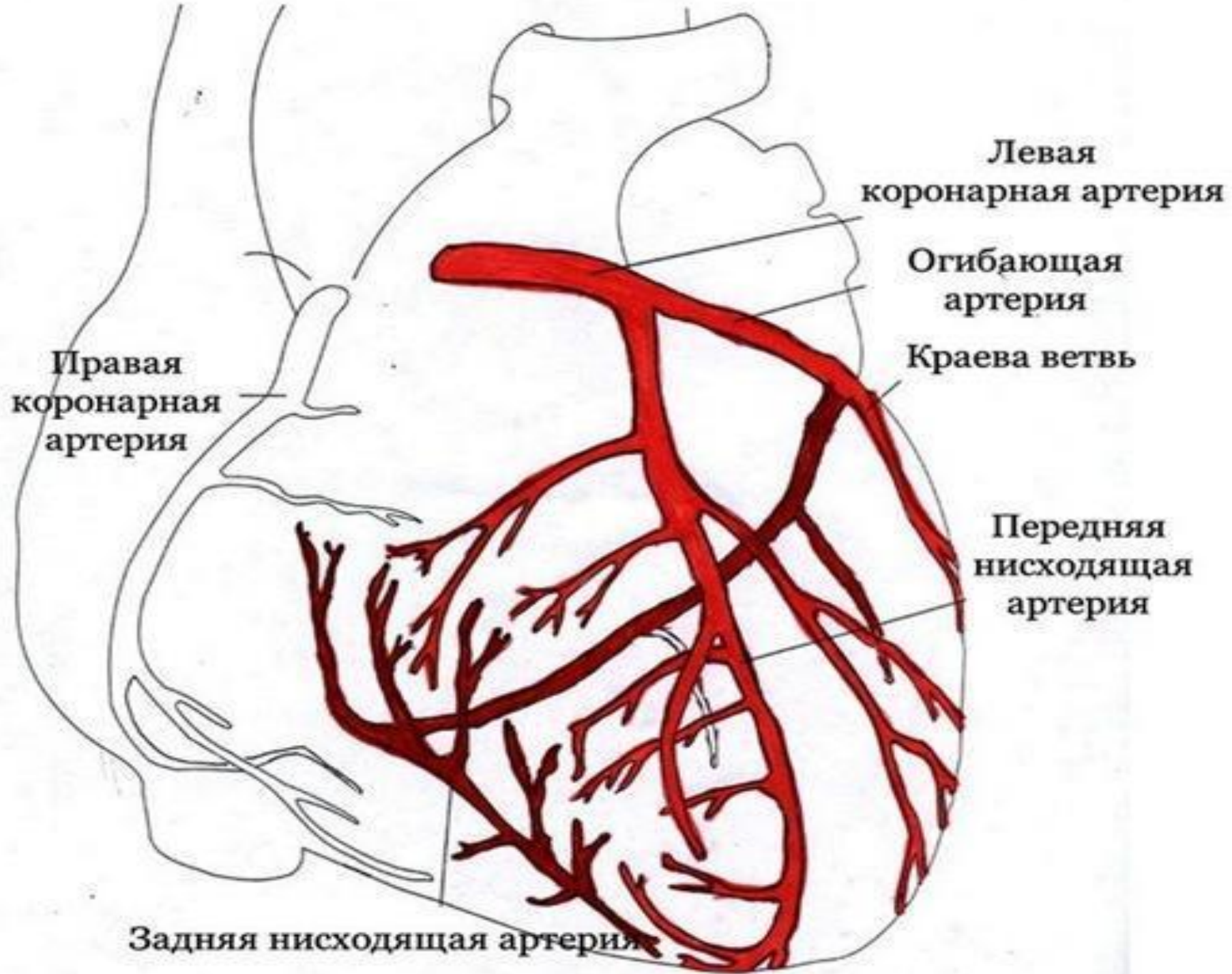
# The Heart Wall



# Кровоснабжение миокарда

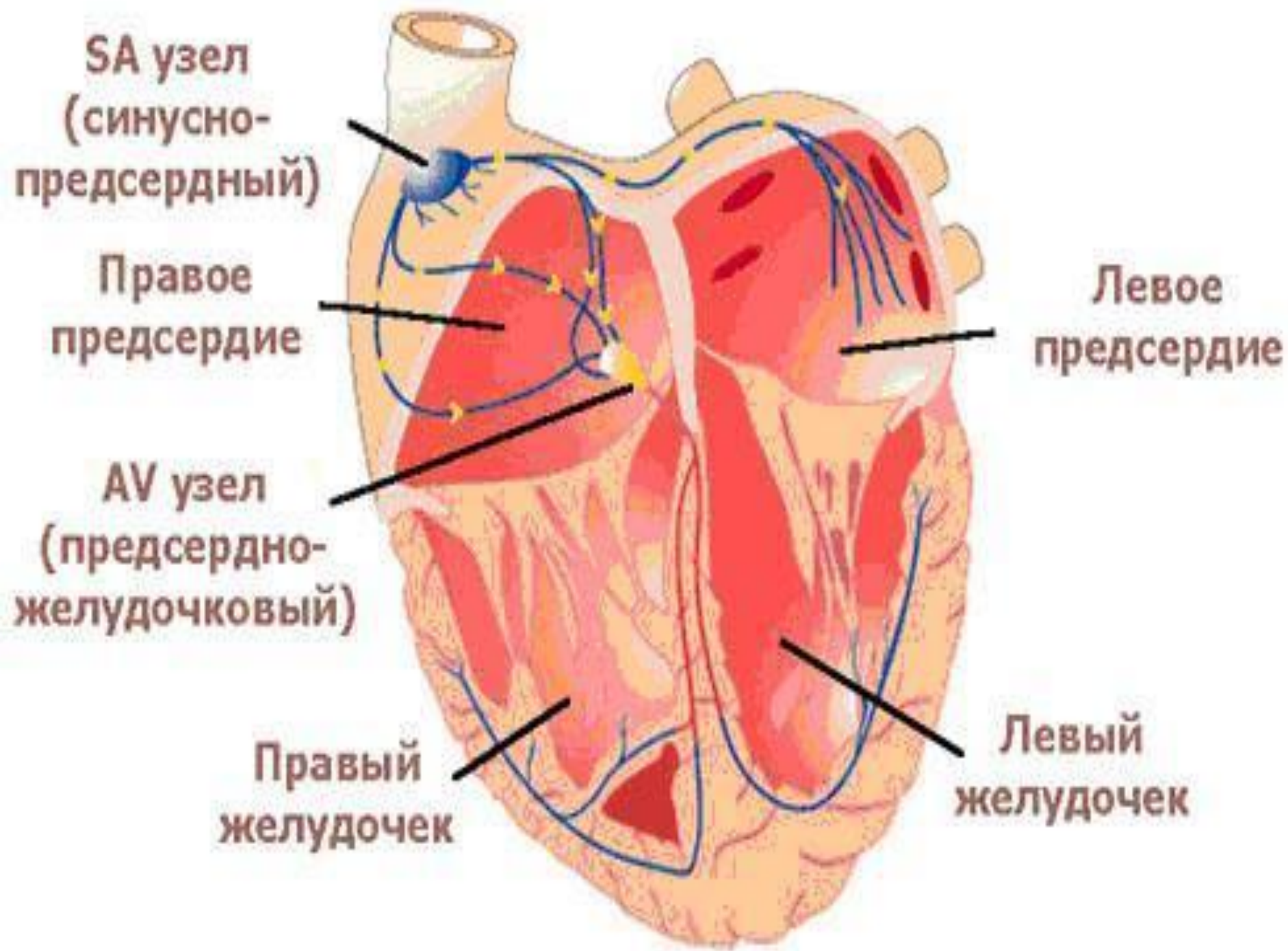
- Венечный круг кровообращения - сердечный включает сосуды самого сердца для кровоснабжения сердечной мышцы. Он начинается левой и правой венечными артериями, которые отходят от начального отдела аорты - луковицы аорты. Протекая по капиллярам, кровь отдает в сердечную мышцу кислород и питательные вещества, получает продукты обмена, включая углекислый газ, и превращается в венозную. Почти все вены сердца впадают в общий венозный сосуд - венечный синус, который открывается в правое предсердие. При массе сердца, составляющей только  $1/150$  -  $1/250$  от массы тела, в венечные артерии поступает 5-10% всей крови, выбрасываемой в аорту.





# Проводящая система сердца

- Автоматизм сердечных сокращений, регуляция и координация сократительной деятельности сердца осуществляется проводящей системой. Она построена из особых миоцитов, которые обладают способностью автоматически генерировать и проводить электрические импульсы по миокарду, обеспечивая последовательное сокращение предсердий и затем желудочков.
- **Синусно-предсердный узел** (синусный) находится в стенке правого предсердия между отверстием верхней полой вены и правым ушком. Состоит из пейсмекерных клеток или водителей ритма, способных к самопроизвольным сокращениям и отдающих ветви к миокарду предсердий
- **Предсердно-желудочковый узел** (атрио-вентрикулярный узел) лежит в толще нижнего отдела межпредсердной перегородки вблизи места впадения нижней полой вены.. Книзу этот узел переходит в **пучок Гиса**, связывающий миокард предсердий с миокардом желудочков. В межжелудочковой перегородке этот пучок делится на правую и левую **ножки пучка Гиса**, отдающие **волокна Пуркинье** к 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.
- В сердце вследствие существования клапанов кровь движется только в одном направлении. Открытие и закрытие которых связано с изменением величины давления в полостях сердца.

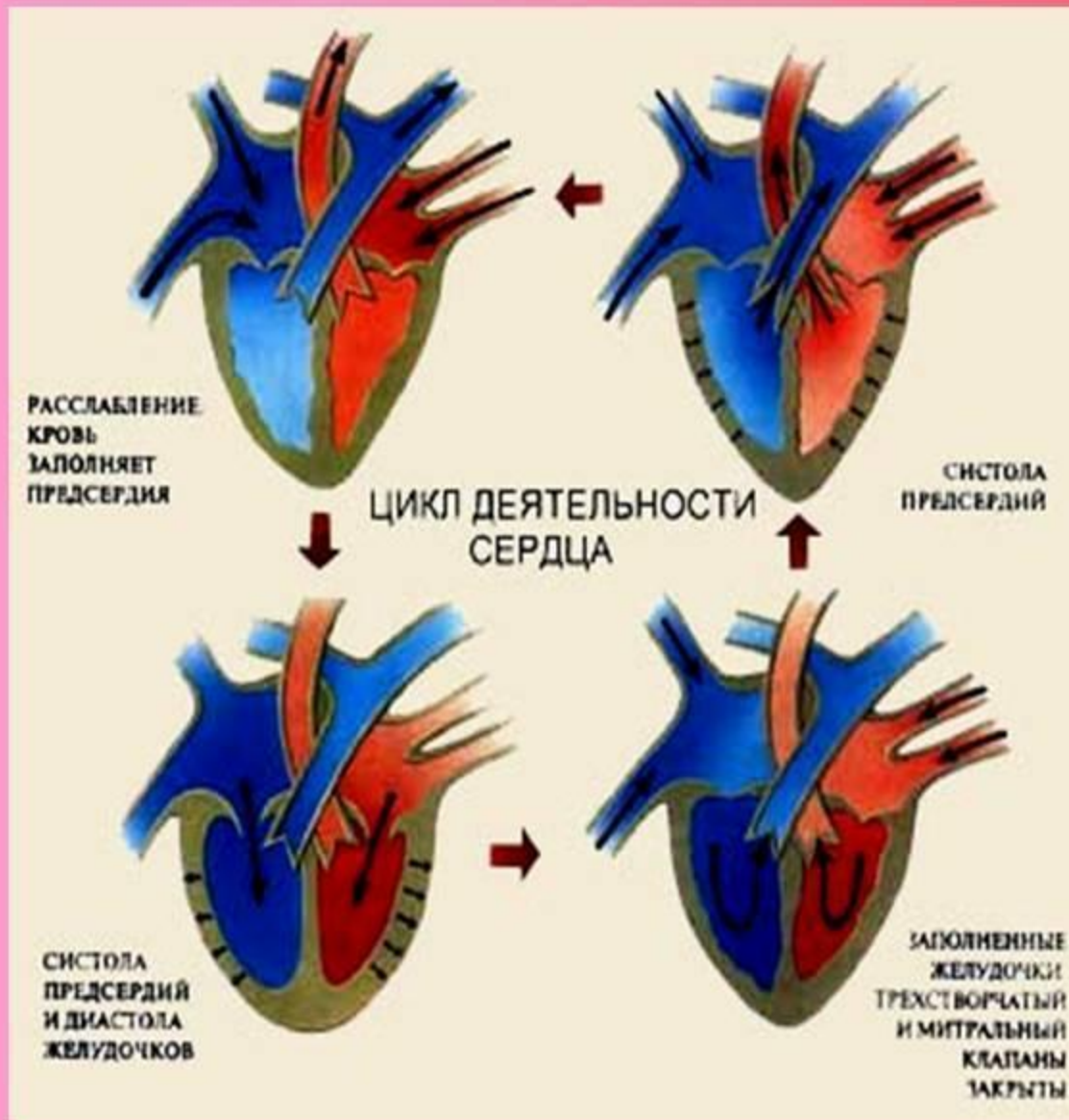
- Миокард, как и скелетные мышцы, обладает свойствами возбудимости, проводимости, сократимости. К физиологическим особенностям относятся удлинённый рефрактерный период и автоматизм.
- Возбудимость - способность сердечной мышцы переходить в состояние возбуждения. Миокард менее возбудима, чем скелетная.
- 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 и укорачиваться. Для осуществления сокращения сердце получает энергию, которая освобождается при распаде АТФ и КФ. 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: систолы предсердий, систолы желудочков и общей паузы (одновременной диастолы предсердий и желудочков). Систола предсердий слабее и короче систолы желудочков и длится 0,1 сек. Систола желудочков более мощная и продолжительная, равна 0,3 сек. Диастола предсердий занимает по времени 0,7 с, желудочков - 0,5 сек. Общая пауза сердца длится 0,4 с. В течение этого периода сердце отдыхает. Весь сердечный цикл продолжается 0,8 сек.
- Желудочки работают примерно 8 часов в сутки. При учащении сердцебиений, например, во время мышечной работы, укорочение сердечного цикла происходит за счет сокращения общей паузы. Длительность систолы предсердий и желудочков не меняется.



# Фазы сердечной деятельности



## Сердечный цикл:

1. Сокращение (систола) предсердий – 0,1 с
2. Сокращение (систола) желудочков – 0,3 с
3. Общая пауза (диастола) – 0,4 с

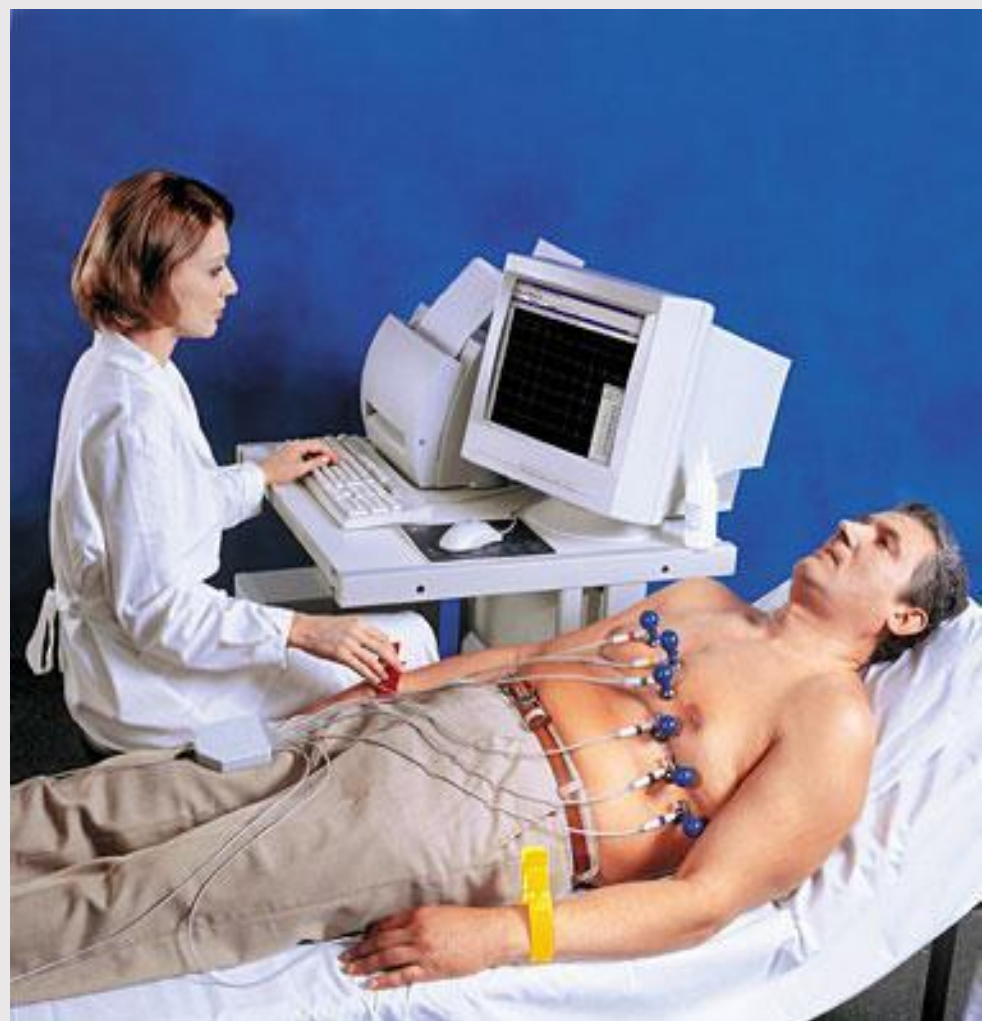
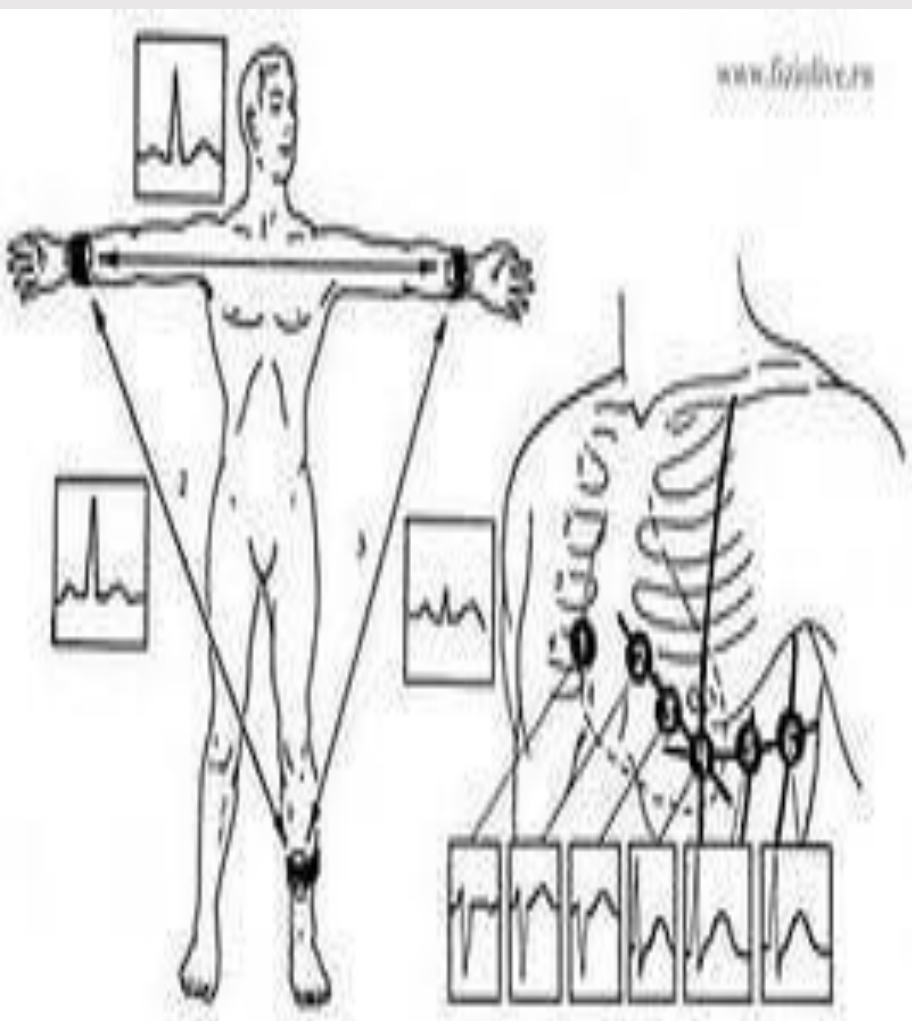
- Во время общей паузы весь миокард расслабляется, створчатые клапаны открыты, а полулунные - закрыты. Давление в камерах сердца падает до нуля, вследствие чего кровь из полых и легочных вен, где давление равно 7 мм рт. ст., заполняет предсердия и желудочки самотеком, пассивно, заполняя их на 70% их объема. Систола предсердий, во время которой давление в них повышается на 7 мм рт. ст., вызывает нагнетание в желудочки еще около 30%
- Сразу после окончания систолы предсердий начинается систола желудочков, которая состоит из фазы напряжения и фазы изгнания крови. Фаза напряжения протекает при закрытых створчатых и полулунных клапанах. В это время мышца сердца напрягается вокруг несжимаемого - крови. Длина мышечных волокон миокарда не меняется, но по мере увеличения их напряжения растет давление в желудочках. В момент, когда давление крови в желудочках превысит давление в артериях, полулунные клапаны открываются, и кровь выбрасывается из желудочков 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

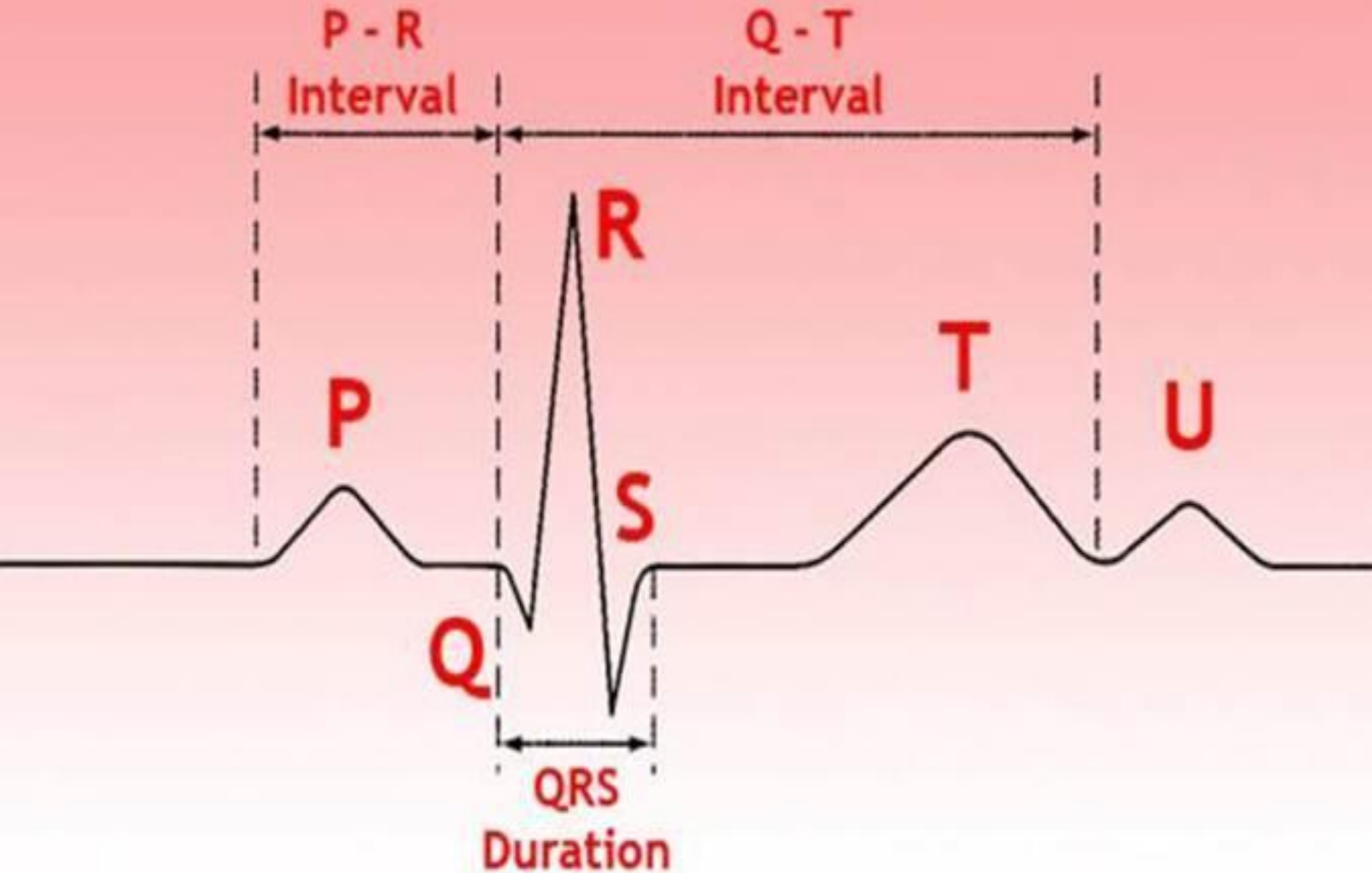
- **Верхушечный толчок** обусловлен тем, что верхушка сердца поднимается и толкает грудную клетку в области V межреберья слева.
- **Сердечные тоны** - это звуковые явления, возникающие в работающем сердце. Различают два тона сердца: I тон, или систолический, и II тон, или диастолический. I тон более низкий, глухой и продолжительный, II тон короткий и более высокий.
- В покое при каждой систоле желудочки сердца выбрасывают в аорту и легочный ствол по 70-80 мл, т.е. 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. С увеличением частоты сердечных сокращений до 200 и более в минуту общая пауза становится настолько короткой, что сердце не успевает заполняться кровью.



# 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 после его возбуждения

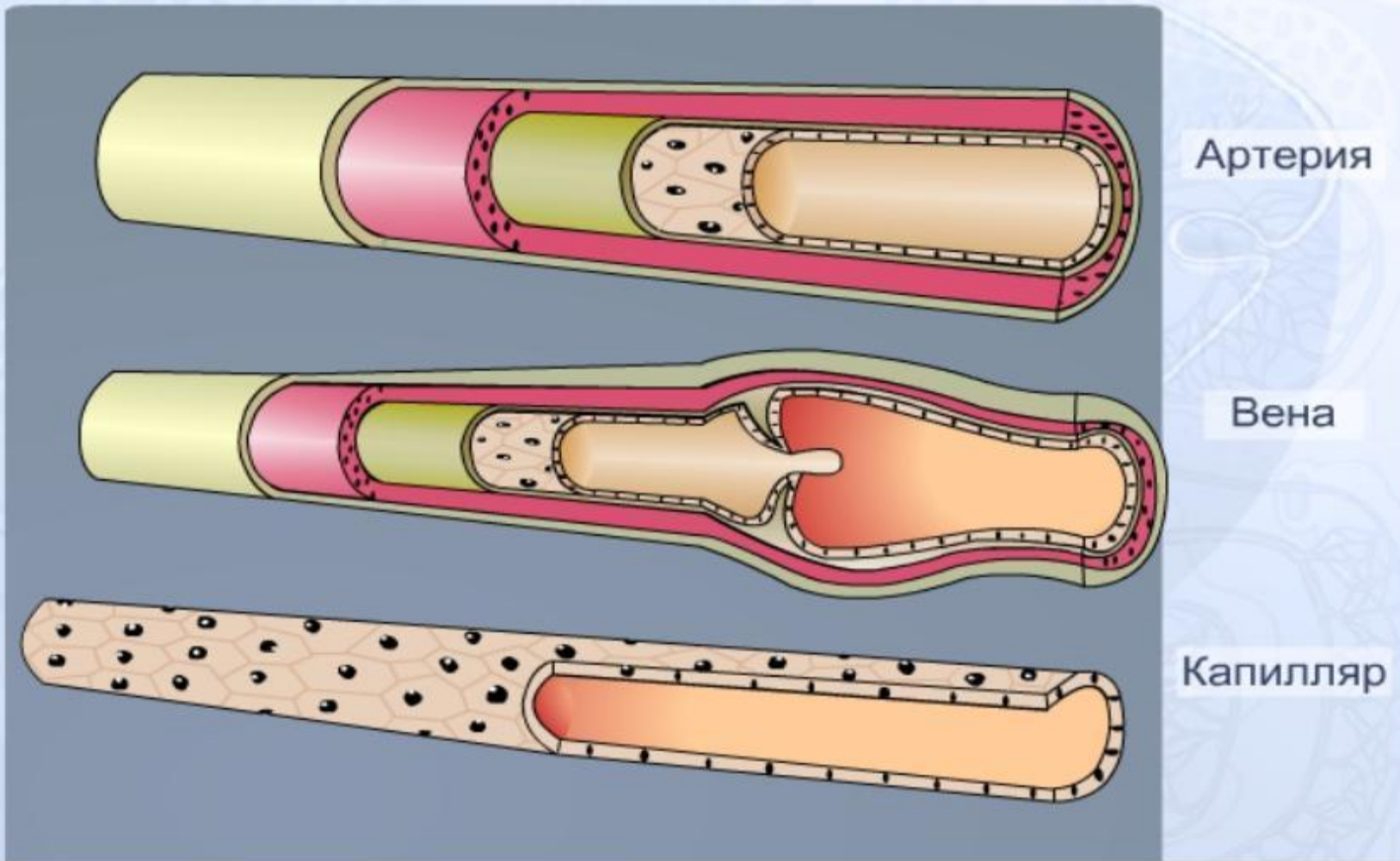


# АНГИОЛОГИЯ

- Артерии и вены относят к магистральным сосудам, остальные сосуды формируют микроциркуляторное русло.
- **Артерии** - это 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 (адвентиций), средняя гладкомышечная и внутренняя эндотелиальная (интима). Самые тонкие артериальные сосуды называются артериолами. Они переходят в прекапилляры, а последние - в **капилляры**.
- **Капилляры** - это микроскопические сосуды, которые находятся в тканях и соединяют артериолы с венулами. По мере слияния посткапилляров образуются венулы - самые мелкие венозные сосуды. Они вливаются в вены. **Вены** - это 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.

# Кровеносные сосуды

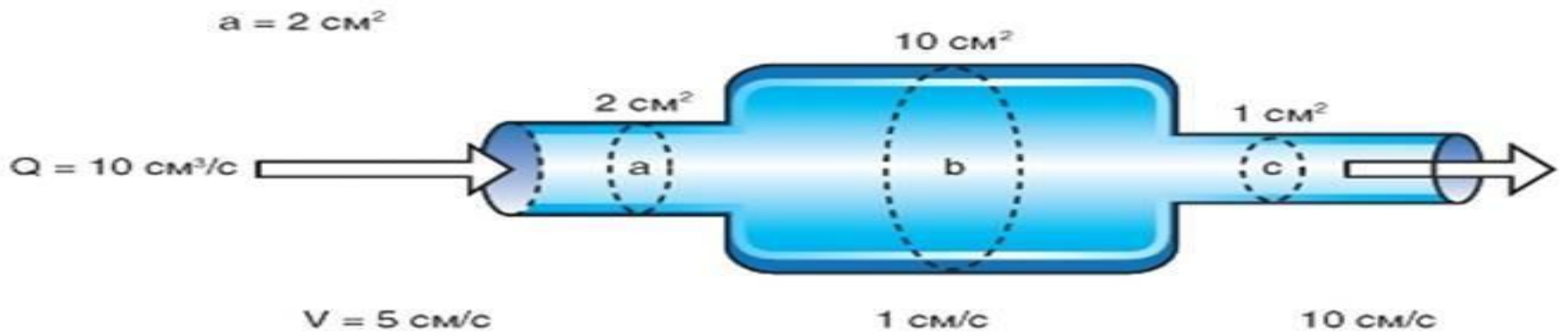
## СТРОЕНИЕ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ



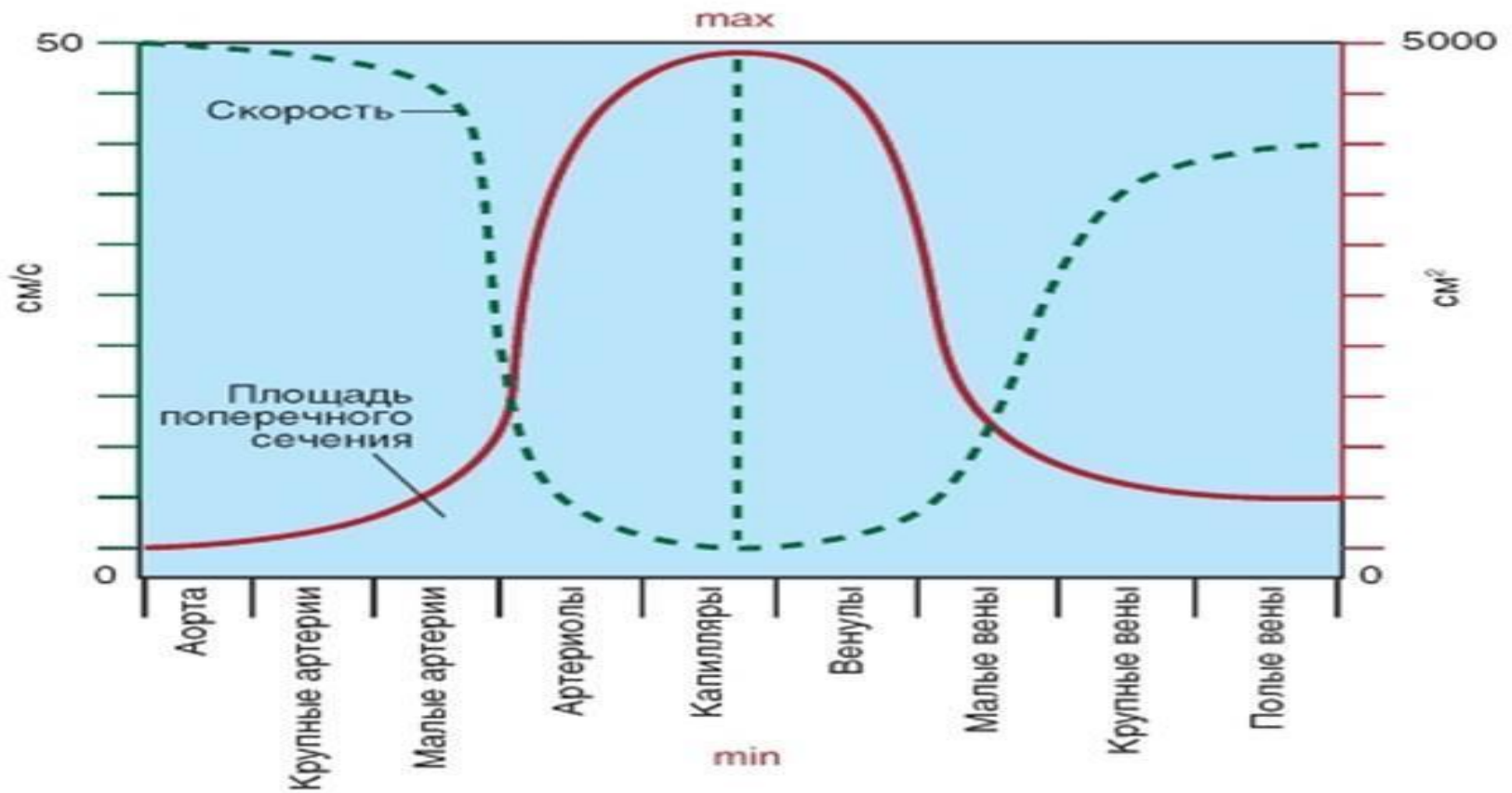
- Разветвления артерий и вен могут соединяться между собой соустьями (анастомозы). Сосуды, обеспечивающие окольный ток крови в обход основного пути, называются коллатеральными (окольные).
- Функционально различают несколько видов кровеносных сосудов:
- **Магистральные сосуды** - крупные артерии (эластического и мышечно-эластического типа), которые почти не оказывают сопротивление кровотоку.
- **Резистивные сосуды** (сосуды сопротивления) - мелкие артерии и артериолы, которые могут изменять кровоснабжение органов и регулировать артериальное давление
- **Истинные капилляры** (обменные сосуды) – 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 венами, обеспечивающие прямую связь между ними в обход капиллярного русла



- В соответствии с законами гидродинамики 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 и мышечные элементы стенок магистральных сосудов, в которых накапливается запас энергии сердца, 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 идеальные условия для обмена между кровью и тканями.



**Б**



# Давление крови

- Кровяное давление - это давление крови на стенки сосудов организма. Измеряется в мм рт. ст.
- Величина кровяного давления зависит от трех основных факторов:
  - частоты и силы сердечных сокращений
  - величины периферического сопротивления, т.е. тонуса мышечных стенок сосудов, главным образом, артериол
  - объема циркулирующей крови
- **Систолическое** (максимальное) давление - это давление, отражающее состояние миокарда левого желудочка - 100-120 мм рт. ст. **Диастолическое** (минимальное) давление - давление, характеризующее 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, когда необходим постоянный контроль за давлением. В медицинской практике измеряют АД непрямым, или косвенным (звуковым), методом при помощи тонометра.

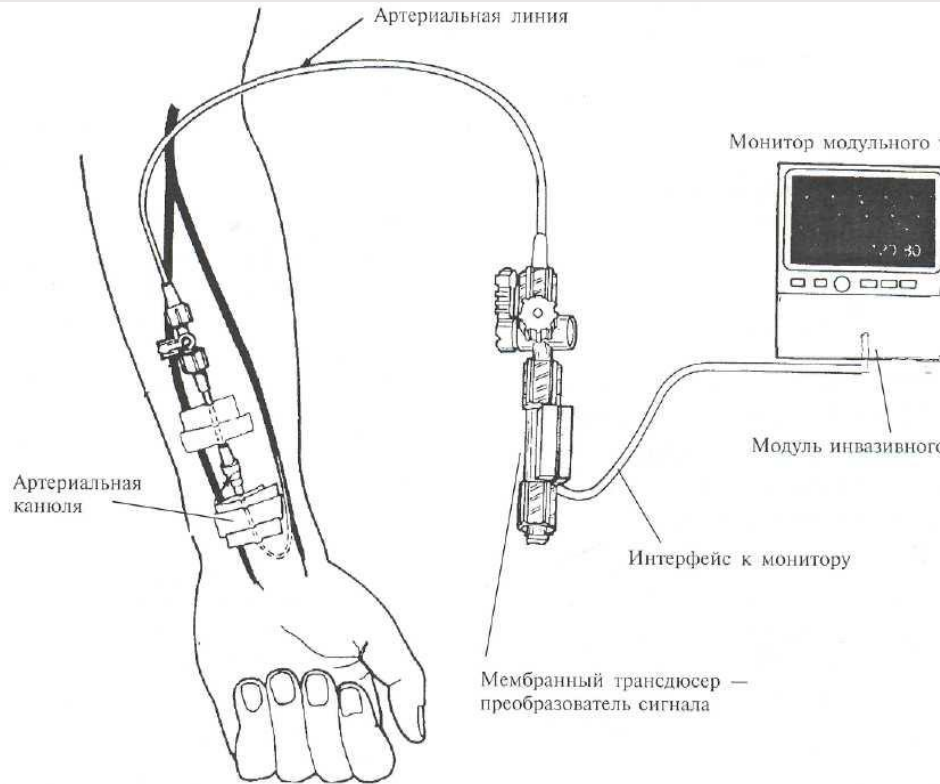
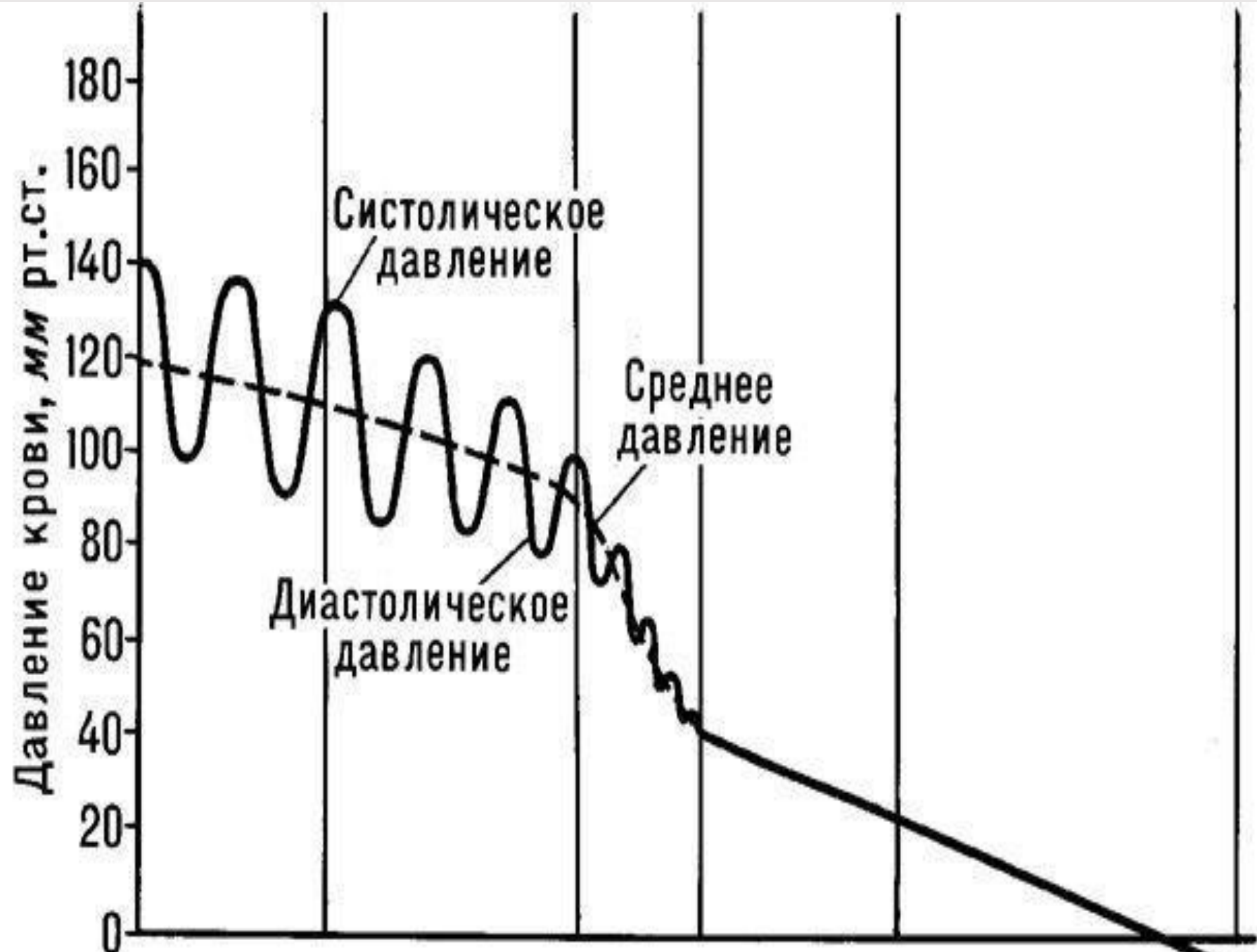


Рис. 7—1. Схематическое изображение системы мониторинга АД инвазивным способом.

- Артериальным пульсом называют ритмические колебания артериальной стенки, обусловленные систолическим повышением давления в ней. Пульсация лучевой артерии определяется путем прижатия ее к кости в области запястья. Пульс характеризуют следующие основные признаки: частота - число ударов в минуту; ритмичность - правильное чередование пульсовых ударов; наполнение - степень изменения объема артерии, устанавливаемая по силе пульсового удара; напряжение - характеризуется силой, которую нужно приложить, чтобы сдавить артерию до исчезновения пульса.
- Пульсовая волна возникает в аорте в момент изгнания крови из левого желудочка, когда давление в аорте повышается и стенка ее растягивается. Волна повышенного давления и вызванные этим растяжением колебания артериальной стенки распространяются от аорты до артериол и капилляров, превышая в 10 раз скорость движения крови.
- Пульс можно прощупать в тех местах, где артерия близко прилежит к кости. Такими местами являются: плечевой - медиальная поверхность средней трети плеча, общей сонной - передняя поверхность поперечного отростка VI шейного позвонка, поверхностной височной - височная область, лицевой - угол нижней челюсти спереди от жевательной мышцы, бедренной - паховая область, для тыльной артерии стопы - тыльная поверхность стопы

-



Желудочек Аорта Артерии Артериолы Капилляры Вены Предсердие

# Регуляция кровообращения

- Осуществляется нервной системой и гуморально.
- Нервная регуляция кровообращения осуществляется сосудодвигательным центром, симпатическими и парасимпатическими волокнами вегетативной нервной системы. Сосудодвигательный центр находится в продолговатом мозге.
- 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 следующие рецепторы: барорецепторы, воспринимающие колебания давления крови в сосудах; хеморецепторы, воспринимающие изменения химического состава крови ( $CO_2, O_2$ ) и волюморецепторы (франц. volume - объем), воспринимающие изменение объема крови. К числу наиболее важных рефлексогенных зон относятся: дуга аорты и синокаротидная зона (общая сонная артерия в месте ее разделения на наружную и внутреннюю сонные артерии)



- 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, простагландины;
- молочная кислота, углекислый газ, ионы калия, магния;
- натрийуретический гормон (аурикулин), вырабатываемый миокардом предсердий. Он подавляет секрецию ренина, расслабляет гладкие мышечные клетки сосудов, способствуя тем самым снижению АД