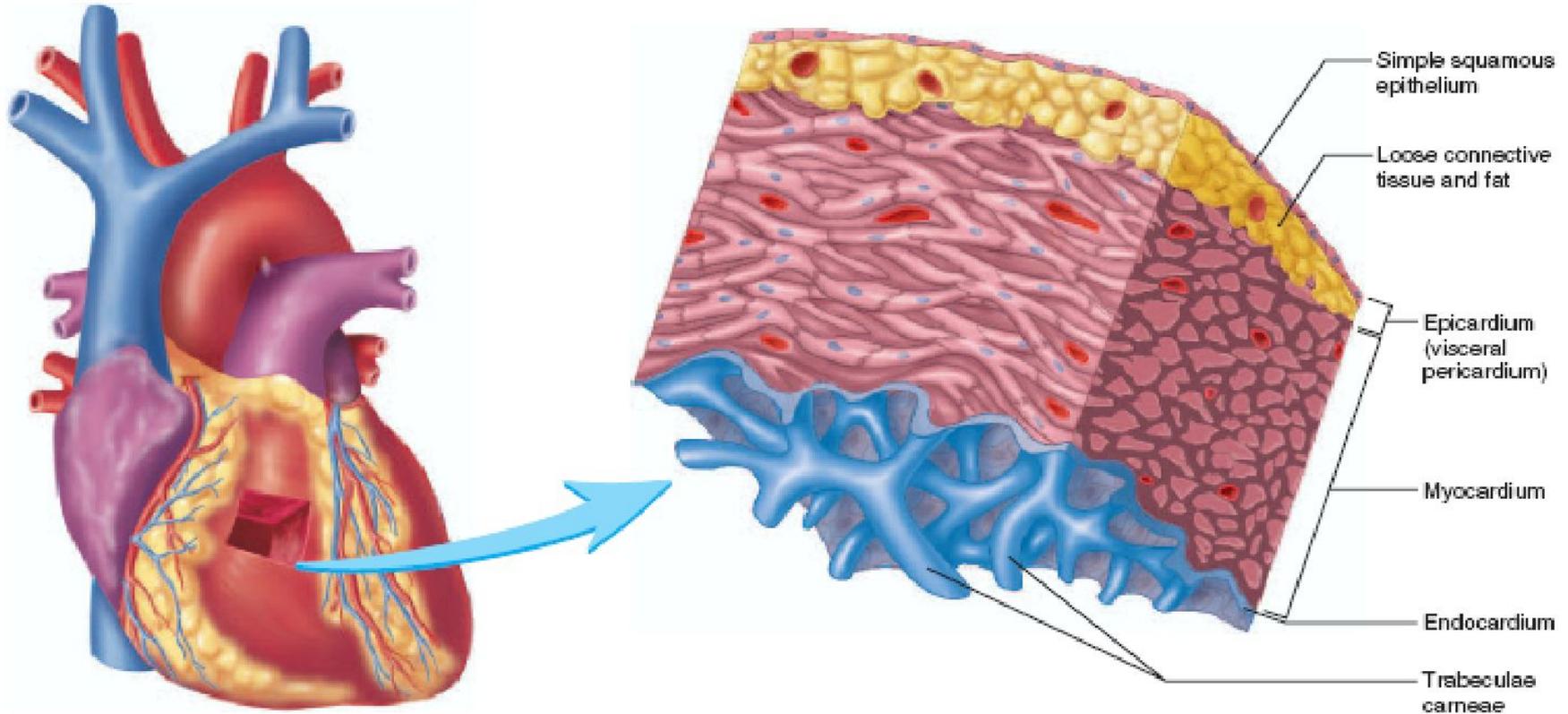


# Физиологические свойства сердечной мышцы



# сердце

- При этом сердечная мышца представляет собой особый вид поперечно-полосатой мышечной ткани, встречающейся исключительно в сердце.
- Сердце человека, сокращаясь в среднем 72 раза в минуту, на протяжении 66 лет совершит около 2,5 миллиардов сердечных циклов. Масса сердца у человека зависит от пола и обычно достигает 250—300 грамм (9—11 унций) у женщин и 300—350 грамм (11—12 унций) у мужчин.

# СЕРДЦЕ

- Сердце человека сокращается за сутки примерно 100 тыс. раз, перекачивая ни много ни мало — около 14 т крови. А за 70 лет сердце перекачивает примерно 360 тыс. т крови! За эти годы оно совершает около 2,5 млрд. сокращений и выполняет работу, равнозначную поднятию 10 т груза на высоту 16 км.
- Работоспособность для органа с такой небольшой массой поистине удивительная. По-видимому, этот орган должен быть признан одним из самых совершенных «механических» устройств, когда-либо созданных природой. Самая надежная современная пружина выдерживает не более 100 млн. сжатий и расслаблений.

---

**Сердце – это центральный орган кровообращения.** Оно не только проталкивает кровь в сосуды и принимает кровь из них, но и регулирует движение жидкости в сосудах.

Артериями называются кровеносные сосуды, по которым кровь течет от сердца к периферии – к органам и тканям. Вены – это кровеносные сосуды, по которым кровь возвращается к сердцу. Между артериями и венами находятся тончайшие кровеносные сосуды, называемые капиллярами.

## Стенка сердца состоит из трех слоев:

Внутренний – эндокард, средний – миокард  
и наружный – эпикард.

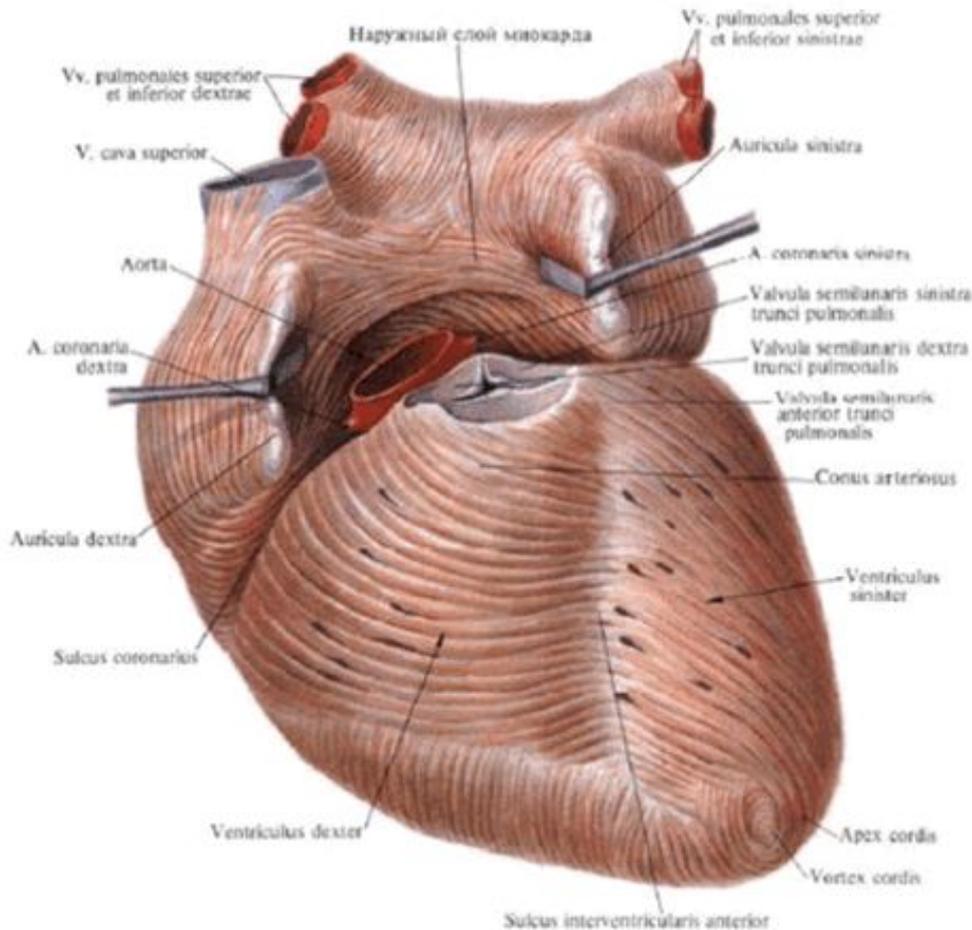
□ **Эндокард** – это тонкая серозная оболочка, которая выстилает полости сердца. Она состоит из соединительной ткани, содержащей коллагеновые, эластические и гладкомышечные волокна, кровеносные сосуды и нервы.

Со стороны полостей сердца эндокард покрыт эпителием.

□ **Миокард** – наиболее толстый слой стенки сердца, состоящий из поперечно-полосатой сердечной мышечной ткани.

Мускулатура желудочков построена сложнее и состоит из трех слоев: наружного, среднего и внутреннего. Наружный – продольный слой, общий для обоих желудочков, в области верхушки сердца переходит во внутренний продольный слой; между наружным и внутренним слоями располагается средний круговой (циркулярный) слой, отдельный для каждого желудочка.

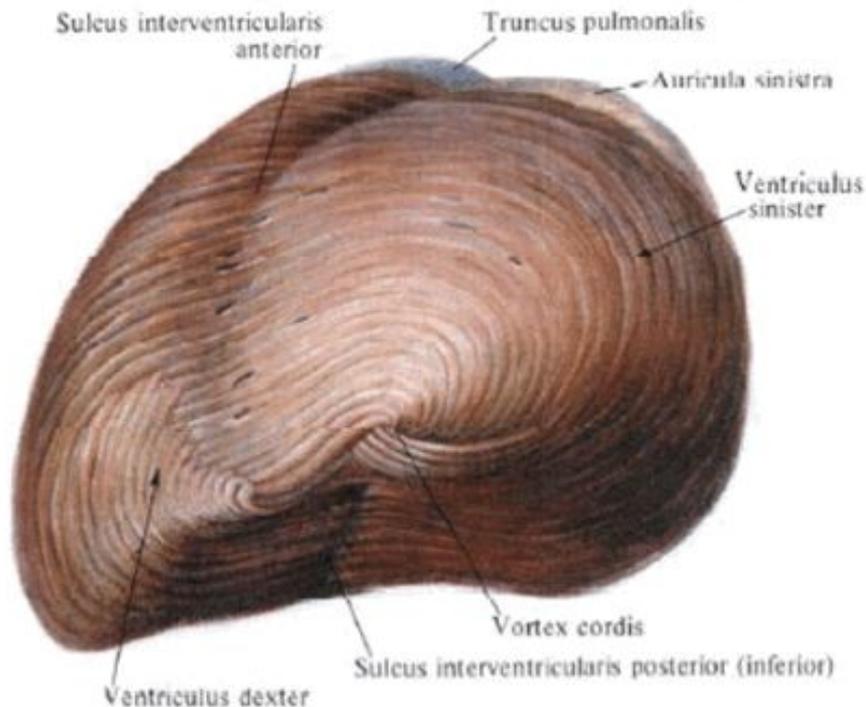
## Мышечный слой предсердий и желудочков, вид спереди



В мускулатуре сердца различают два отдела: мышечные слои предсердия и мышечные слои желудочков.

В предсердиях различают поверхностный и глубокий мышечные слои: поверхностный состоит из циркулярно или поперечно расположенных волокон, глубокий - из продольных, которые своими концами начинаются от фиброзных колец и петлеобразно охватывают предсердие.

Мышечный слой желудочков, вид со стороны верхушки сердца, apex cordis (эпикард удален).



Мускулатура желудочков **очень** сложная. В ней можно различить три слоя: тонкий поверхностный слой состоит из продольных волокон, волокна идут косо вниз, на верхушке сердца они образуют завиток, загибаясь здесь петлеобразно в глубину и составляя внутренний продольный слой. Волокна среднего слоя, расположенные между продольными наружным и внутренним, идут более или менее циркулярно, причем в отличие от поверхностного слоя не переходят с одного желудочка на другой, а являются самостоятельными для каждого желудочка.

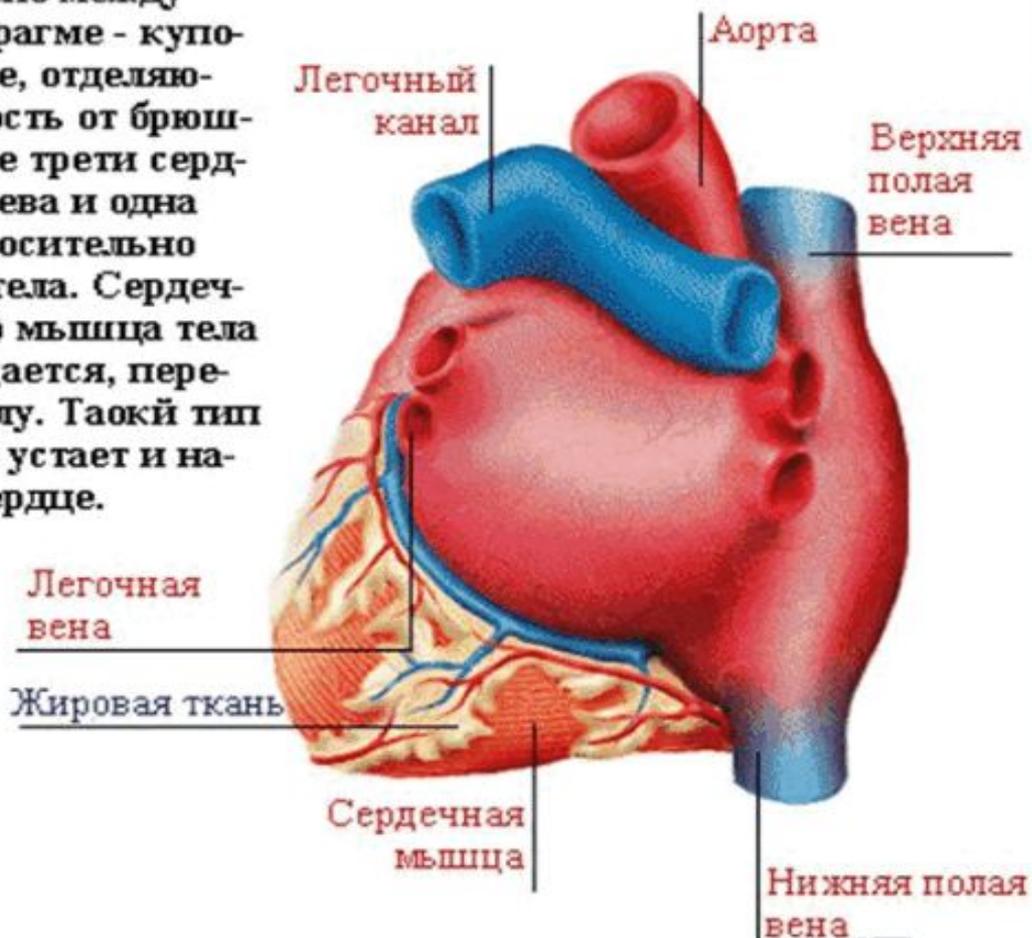
## Перикард, или околосердечная сумка

Это замкнутый мешок, в котором расположено сердце, состоящий из двух пластинок – наружной – фиброзной и внутренней – серозной. Фиброзная пластинка переходит в наружную (адвентициальную) оболочку сосудов. **Она очень плотно ограничивает сердце от лежащих по соседству органов и препятствует чрезмерному растяжению его.** Серозная пластинка является пристеночным листком серозной оболочки сердца. Таким образом, серозная оболочка сердца построена аналогично серозным оболочкам, покрывающим легкие, органы брюшной полости, полость яичка, т. е. **она имеет два листка – висцеральный и париетальный, с заключенной между ними серозной полостью.**



# АНАТОМИЯ СЕРДЦА

Сердце расположено между легкими и на диафрагме - куполообразной мышце, отделяющей грудную полость от брюшной. Примерно две трети сердца расположено слева и одна треть - справа относительно центральной оси тела. Сердечная (кардиальная) мышца тела постоянно сокращается, перегоняя кровь по телу. Такой тип мышц никогда не устает и находится лишь в сердце.



# Круги кровообращения

## I. Большой круг.

Начинается аортой из левого желудочка и заканчивается верхней и нижней полыми венами, впадающими в правое предсердие.

Через стенки капилляров происходит обмен веществ между кровью и тканями. Артериальная кровь отдает тканям кислород и забирает углекислоту, становясь венозной.

## II. Малый круг.

Начинается из правого желудочка легочным стволом и заканчивается четырьмя легочными венами, впадающими в левое предсердие.

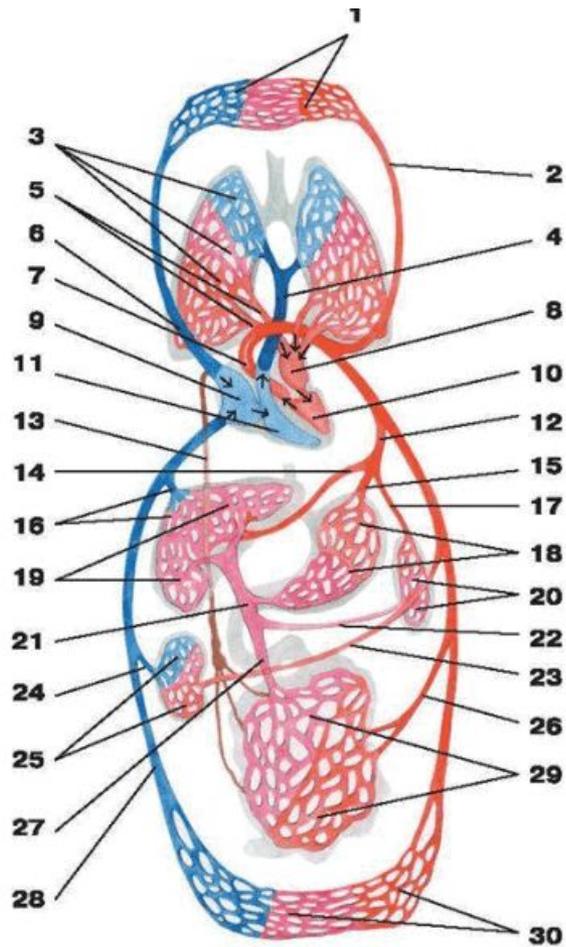
В капиллярах легкого венозная кровь обогащается кислородом и становится артериальной.

## III. Венечный круг.

Включает сосуды самого сердца для кровоснабжения сердечной мышцы.

Начинается выше луковицы аорты левой и правой венечными артериями. Впадают в венечный синус, который впадает в правое предсердие.

Протекая по капиллярам, кровь отдает мышце сердца кислород и питательные вещества, а получает углекислоту и продукты распада, и становится венозной.



**Малый круг  
кровообращения**

**Большой круг  
кровообращения**

## Правое предсердие

Правое предсердие имеет форму куба. В правое предсердие впадают верхняя полая вена, нижняя полая вена, венечный синус, собирающий кровь от стенки сердца, а также небольшие вены сердца. На его передне-верхней стенке имеется **Дополнительная полость – правое ушко**. В перегородке между правым и левым предсердиями **находится овальная ямка**. У плода в этом месте имеется овальное отверстие, через которое кровь из правого предсердия, минуя легкие, поступает в левое предсердие. Овальное отверстие закрывается в первый год жизни, однако в 1/3 случаев оно остается в течение всей жизни

## Левое предсердие

В него впадают четыре легочные вены, по которым течет артериальная кровь из легких. Левое предсердие, как и правое, имеет **дополнительную полость – левое ушко с гребенчатыми мышцами**. Левое предсердие сообщается с левым желудочком левым предсердно-желудочковым отверстием. Оно закрывается левым предсердно-желудочковым клапаном, который еще называют двустворчатым, или митральным. Этот клапан состоит из двух створок.

---

## Правый желудочек

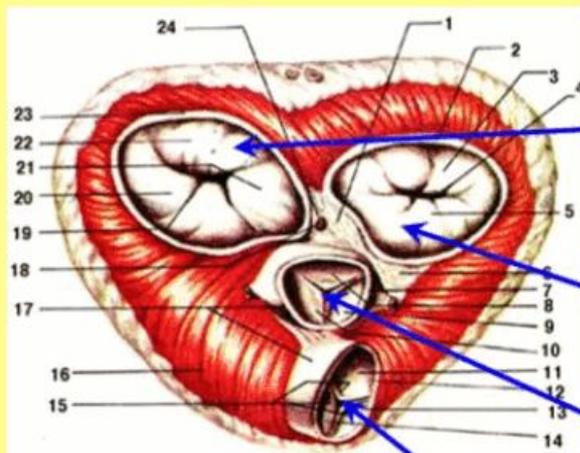
Внутренняя поверхность полости правого желудочка имеет многочисленные мясистые перекладки и конусовидные выступы, которые называются сосочковыми мышцами. От верхушки сосочковых мышц к свободному краю трехстворчатого клапана тянутся сухожильные струны, препятствующие вывертыванию трехстворчатого клапана в сторону предсердия при систоле желудочка.

Из правого желудочка выходит легочный ствол, по которому к легким течет венозная кровь. Отверстие его при диастоле (расслаблении) правого желудочка закрывается клапаном легочного ствола, состоящим из трех полулунных клапанов в виде кармашков. Этот клапан препятствует обратному току крови из легочного ствола в правый желудочек.

## **Левый желудочек**

Строение левого желудочка сходно со строением правого желудочка: в нем также имеются мясистые перекладки и сосочковые мышцы, от которых тянутся сухожильные струны к двустворчатому клапану. Из левого желудочка выходит аорта. Отверстие в аорту закрывается клапаном аорты, имеющим такое же строение, как и клапан легочного ствола (состоит из трех полулунных клапанов).

# Клапаны сердца



## **Предсердно-желудочковый:**

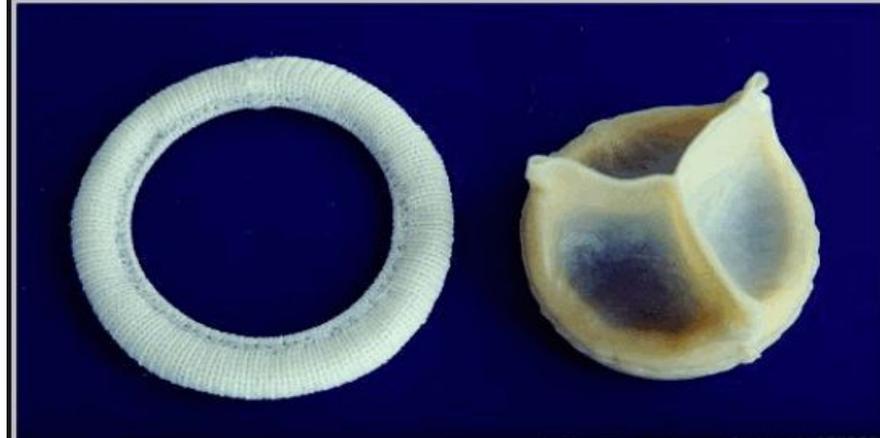
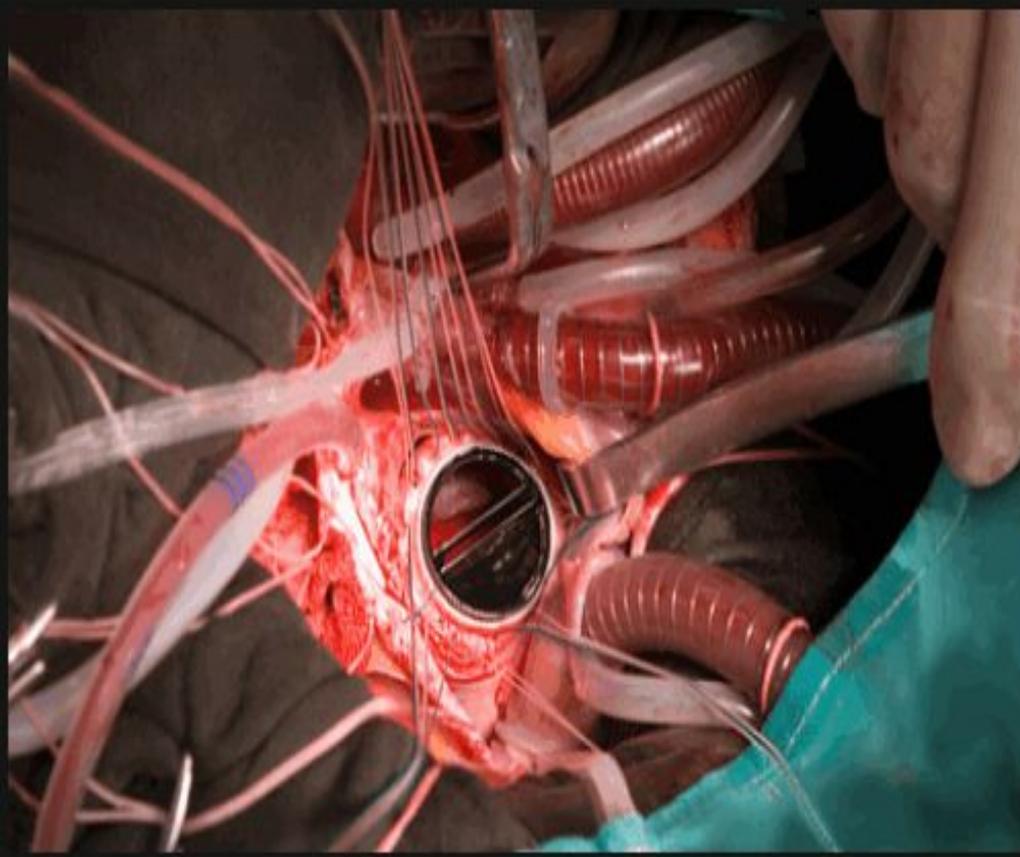
**правый** – 3-х створчатый (передняя, задняя и перегородчатая створки)

**левый** – 2-х створчатый (передняя и задняя створки)

**Клапан аорты:** состоит из 3-х полулунных складок (задняя, правая, левая)

**Клапан легочного ствола:** состоит из 3-х полулунных складок (передняя, правая, левая)

Предсердно-желудочковые клапаны со стороны желудочков удерживаются сухожильными хордами (плотные тяжи соединительной ткани)



## Физиология сердечной мышцы

- Функциональной единицей миокарда является **мышечное волокно**, образованное цепочкой нескольких кардиомиоцитов. Между ними имеются электрические синапсы, контакты, имеющие малое сопротивление.
- Среди клеток миокарда выделяют большинство *рабочих*, сократительных, или *типичных* кардиомиоцитов, и меньшинство (около 1%) *атипичных*, *узловых* кардиомиоцитов, составляющих проводящую систему сердца.
- Меньшую долю занимают секреторные, эндокринные кардиомиоциты (**ПНУФ**)

# Функциональные особенности сердца

Сердце обладает:

- Автоматизмом;
- Наличие в каждом сердечном цикле фаз изометрического сокращения и расслабления;
- сила сокращения миокарда подчиняется и работает согласно закона Старлинга (сила сокращения сердца минимальна при средней степени растяжения кардиомиоцитов, изменение исходной длины кардиомиоцитов увеличивает силу сокращения, но не влияет на скорость сокращения).
- Сердечная мышца не способна к тетаническому сокращению (связано с длительным абсолютно рефрактерным периодом в кардиомиоцитах)
- Подчиняется закону «все или ничего»
- Хроноинотропная зависимость-зависимость силы сокращения от частоты сокращения.
- Характерны внеочередные сокращения-экстрасистолы: предсердные (источник находится в синусном узле) и желудочковые (источник в предсердно-желудочковом узле). При желудочковой экстрасистоле появляется неравномерный ритм, а частота сокращений сердца остается прежней.

## **Функции миокарда: автоматизм, возбудимость, проводимость и сократимость.**

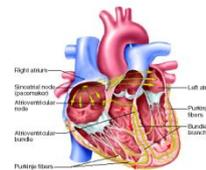
- **Автоматизм** — способность самостоятельно генерировать ПД для сокращения миокарда всего сердца; денервированное сердце продолжает сокращаться, так как автоматизмом обладают даже рабочие кардиомиоциты, однако скорость **спонтанной диастолической деполяризации** у них минимальна.
- **Проводимость** — способность проводить ПД; проводимостью обладает каждый кардиомиоцит.
- **Возбудимость** — способность возбуждаться (генерировать ПД) в ответ на воздействие раздражителя.
- **Сократимость** — способность сокращаться, реализуя тем самым насосную функцию сердца.

# Циклическая работа сердца

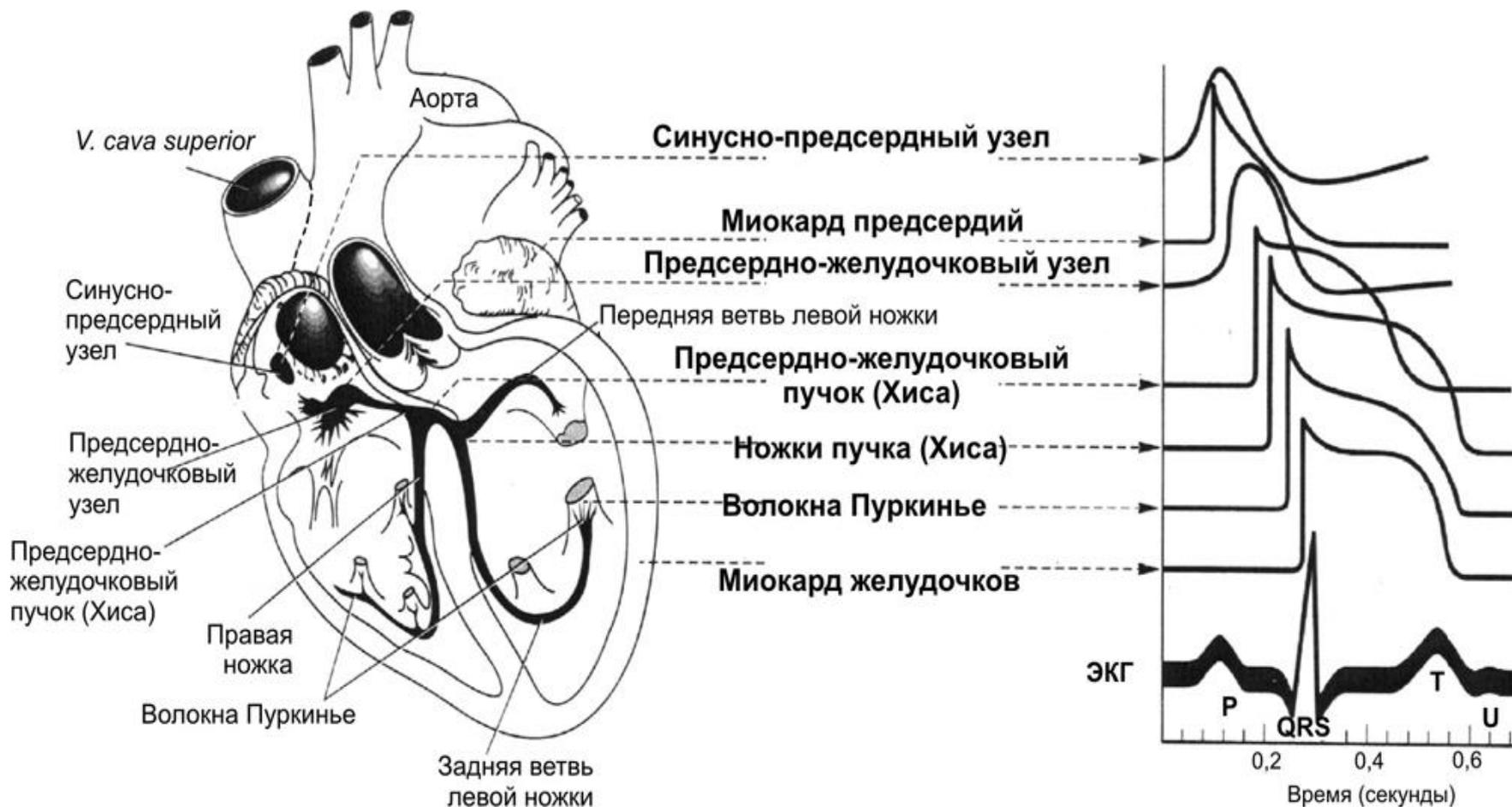
- Ритмическая;
- Заключается в сердечном цикле (работа правой и левой половины сердца, которая складывается из автоматически возникающего в сердце возбуждения, его распространения, последовательного сокращения (систола) предсердий и желудочков и их расслабления (диастола));
- Результат сердечного цикла – выброс из сердца ударного объема крови.
- Особенность: Кровь дважды проходит через сердце: 1-в правую половину – малый круг кровообращения; 2-вернувшись в левую половину – большой круг кровообращения.

# Ритмическое возбуждение сердца:

- Проводящая система сердца состоит из малодифференцированных атипичных мышечных волокон, которые возбуждаются, проводят возбуждение, но не сокращаются.
- Выделяют: синоатриальный или синусно-предсердный узел; проводящие волокна предсердий, атриовентрикулярный или предсердно-желудочковый узел, пучок Гиса, волокна Пуркинье.
- Синусно-предсердный узел –(состоит из сердечных проводящих кардиомиоцитов, расположенных под эпикардом между ушком правого предсердия и местом впадения верхней поллой вены) – возбуждение проводится по проводящим волокнам предсердий (возбуждаются типичные кардиомиоциты) к предсердно-желудочковому узлу- далее по желудочкам по пучку Гиса (делится в перегородке сердца на правую и левую ножки) –волокна Пуркинье достигая типичных кардиомиоцитов желудочков сердца.



# Проводящая система сердца



# Градиент автоматии

- САУ=60-80 уд/мин
- АВУ=40-50 уд/мин
- Пучок Гиса 30-40 уд/мин
- Волокна Пуркинье =20 уд/мин

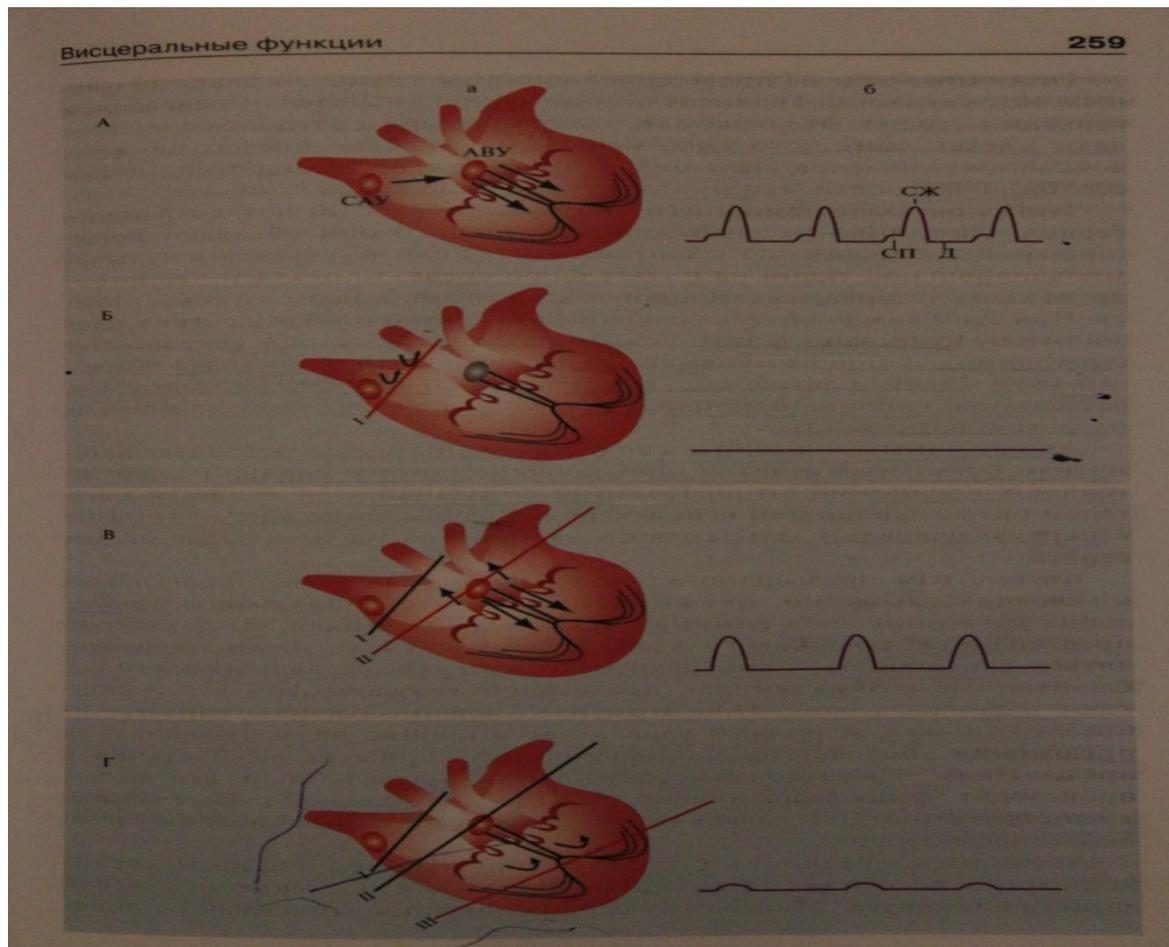
# Автоматизм сердца

- Способность сердца самопроизвольно возбуждаться без действия внешних раздражителей, под влиянием процессов происходящих в нем самом.
- Мера автоматизма- частота возникновения возбуждения в месте спонтанных возбуждений.
- Градиент автоматизма направлен от основания к верушки;(от синусного узла к предсердно-желудочковому);
- Типичные кардиомиоциты обладают потенциальной способностью к автоматизму;
- Синусный узел подавляет автоматизм других отделов, поэтому является водителем ритма или пейсмекером.
- Автоматизм предсердно-желудочкового узла проявляется в патологии

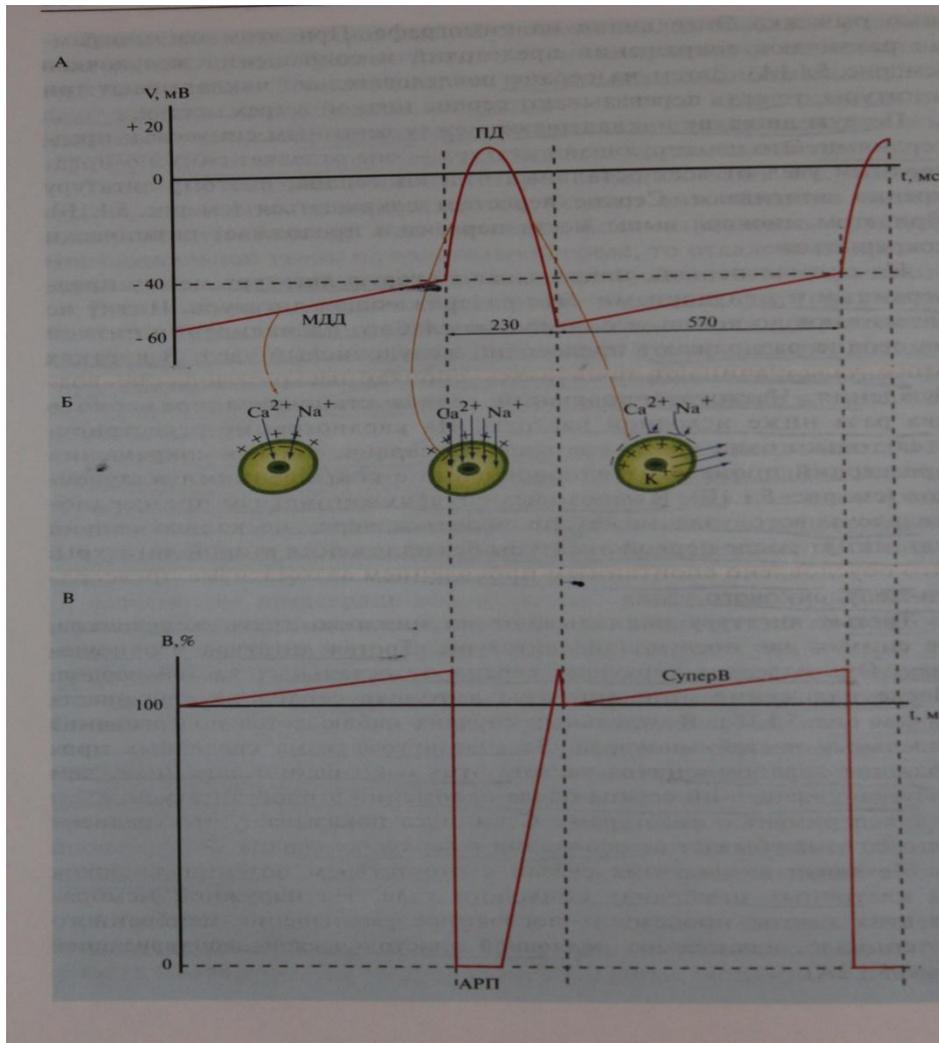
# Изучение автоматизма сердца с помощью лигатур Станниуса

- Первая лигатура накладывается между венозным синусом и предсердиями, изоляция синусно-предсердного узла – сердце перестает сокращаться
- Не снимая первой накладывают вторую между предсердиями и желудочками это раздражающая лигатура предсердно-желудочковый узел. В клетках этого узла начинают проявляться спонтанные ритмические возбуждения. Частота сокращений в 2 раза ниже исходной. На кардиограмме регистрируется волна сокращения сердца, т.к. сокращения предсердий происходит одновременно с сокращением желудочков.
- Третья лигатура на нижнюю треть желудочков не снимая предыдущих. Она изолирующая – отделяет верхушку сердца от остальных частей сердца. Верхушка сердца перестает сокращаться. За счет автоматизма сердечных проводящих кардиомиоцитов частота этих сокращений ниже чем частота сокращений сердца после наложения второй лигатуры.
- Эксперимент доказывает, что градиент автоматизма убывает от основания к верхушки.
- Механизм автоматизма- отсутствие потенциала покоя на клеточной мембране синусного узла. На наружной мембране происходит уменьшение мембранного потенциала-медленная диастолическая деполяризация (обусловлена ионными токами через клеточные мембраны пейсмекерных клеток. Во время расслабления и покоя (диастолы) предсердий происходит уменьшение проницаемости мембраны для калия – снижается мембранный потенциал. В межспайковый период усиленный ток натрия и кальция, поэтому в клетках синусного узла возникает кальциевый и натриевый равновесные потенциалы противодействующие калиевому. Мембранный потенциал клеток синусного узла ниже потенциала покоя миокарда желудочков. Увеличение входящего тока натрия и кальция способствует спонтанной деполяризации.

А-норма; Б-1лигатура; В-2 лигатура; г-3 лигатура

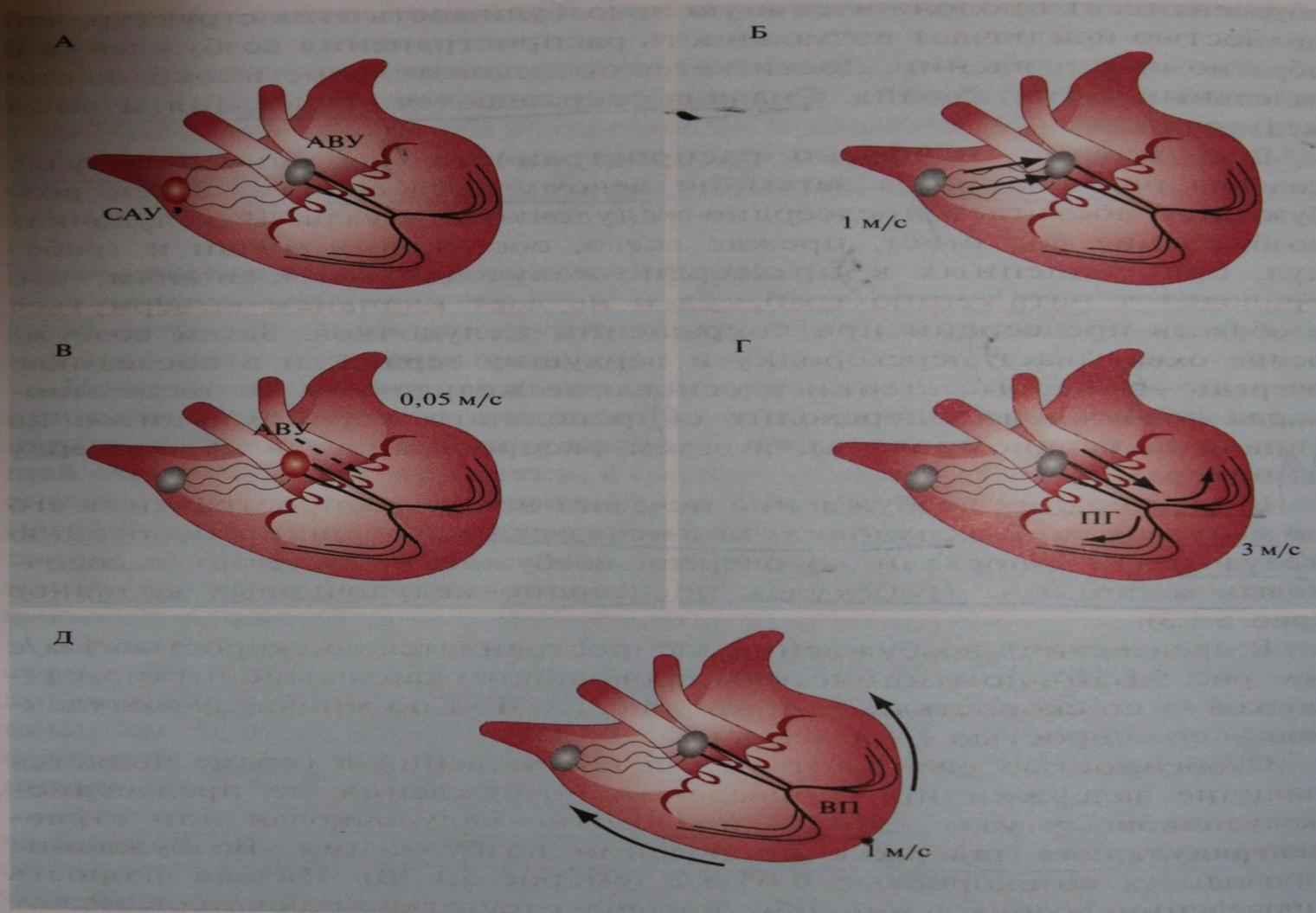


# Механизм автоматизма синоатриального узла



# Проведение возбуждения по сердцу

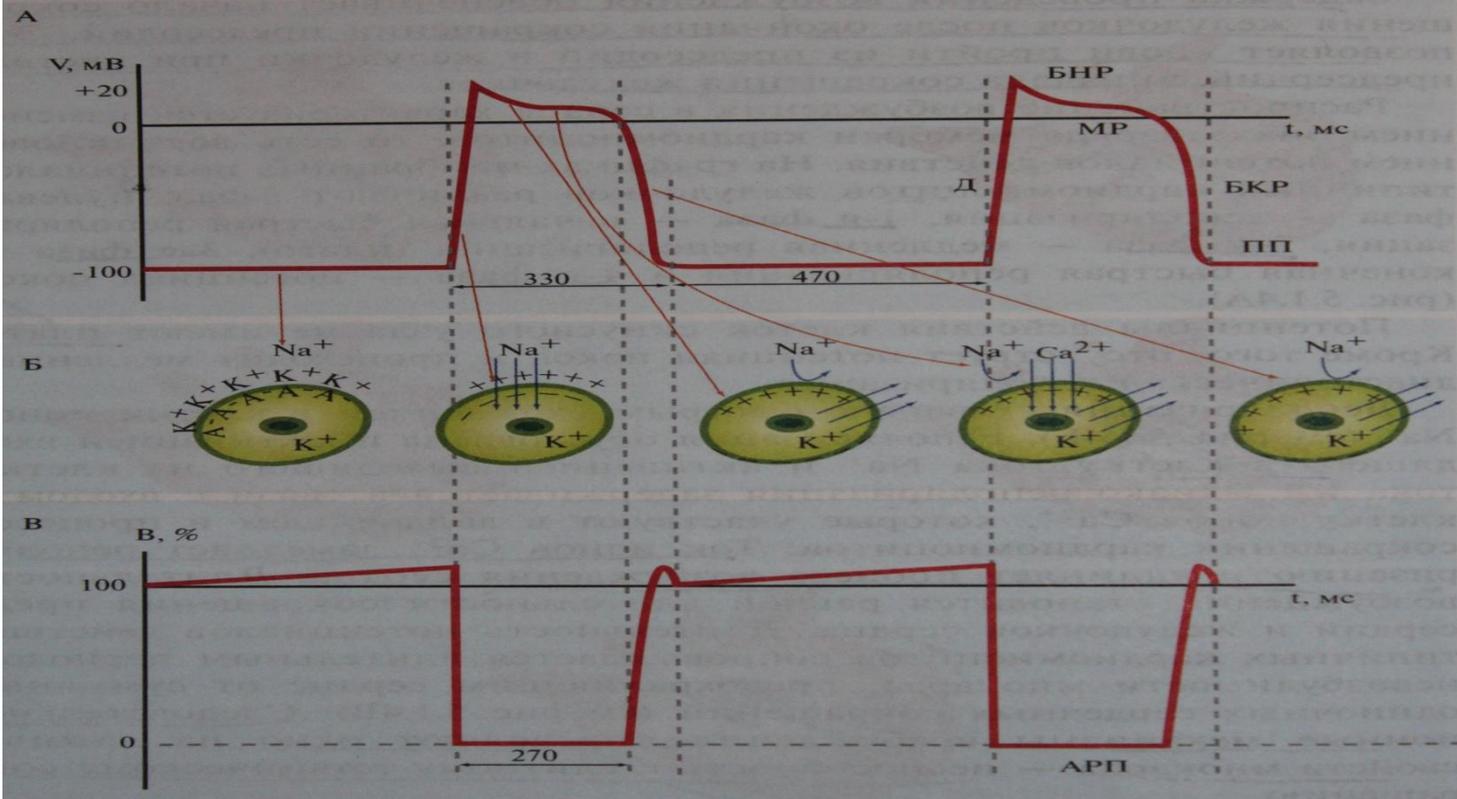
- Наличие тесных контактов нексусов (обеспечивают высокую проницаемость для ионов);
- Кардиомиоциты анатомически отделены мембраной, но физиологически объединены нексусами (определяющими ложно-синцитиальное строение миокарда);
- Проводящая система сердца обладает большой скоростью проведения возбуждения;
- Подчиняется законы «все или ничего» – возбуждение распространяется на все кардиомиоциты из синусного узла;
- Возбуждение проводится однонаправлено из предсердий в желудочки, обратному проведению возбуждения препятствует рефрактерность уже возбужденной части миокарда, особенно атипичных проводящих кардиомиоцитов желудочков и участков предсердий выше предсердно-желудочкового узла.
- Возбуждение диффузно распространяется: из синусного узла по правому и левому предсердиям - предсердно-желудочковый узел ( достигает сосочковых мышц и трабекул –предсердно-желудочковые клапаны (натяжение трабекул и предотвращение выворота клапанов в область предсердий при сокращении желудочков – перегородка и верхушка сердца – боковые стенки и основание желудочков; в толще миокарда возбуждение переходит с проводящих кардиомиоцитов –типичные кардиомиоциты –эндокард-эпикард.
- Задержка проведения возбуждения атриовентрикулярная.( низкая скорость проведения возбуждения обусловлена отсутствием нексусов в этом участке миокарда, атипичные кардиомиоциты расположены поперечно к направлению проведения возбуждения). Задержка проведения возбуждения обеспечивает начало сокращения желудочков после окончания сокращения предсердий, это позволяет крови пройти из предсердий в желудочки при систоле предсердий до начала сокращения желудочков



**Рис. 5.1.3.** Динамика проведения возбуждения по проводящей системе сердца: А — возникновение возбуждения в клетках синоатриального узла (САУ); Б — проведение возбуждения по атипическим волокнам предсердий; В — проведение возбуждения в атриовентрикулярном узле (АВУ); Г — проведение возбуждения по ножкам пучка Гиса (ПГ) и по волокнам Пуркинье (ВП); Д — проведение возбуждения по миокарду желудочков

# Распространение возбуждения в сердце

- 5 фаз:
- Нулевая-деполяризация;
- 1-быстрая реполяризация;
- 2-медленная реполяризация (плато);
- 3-конечная быстрая реполяризация;
- 4-потенциал покоя.
- Клетки синусного узла не имеют плато, отсутствуют потенциал покоя и происходит медленная диастолическая деполяризация. За счет тока ионов кальция замедляет реполяризацию и удлиняет процесс возбуждения сердца. Длительность возбуждения становится равной длительности сокращения предсердий и желудочков сердца. Длительность потенциалов действия типичных кардиомиоцитов сопровождается длительным периодом невозбудимости миокарда предохраняющим сердце от суммации одиночных сердечных сокращений (тетанических).



**Рис. 5.1.4.** Возбуждение и возбудимость кардиомиоцитов желудочков: А — мембранный потенциал кардиомиоцитов желудочков; Б — ионные процессы в кардиомиоцитах желудочков; В — изменение возбудимости кардиомиоцитов желудочков (Д — деполяризация; БНР — быстрая начальная реполяризация; МР — медленная реполяризация; БКР — быстрая конечная реполяризация; ПП — потенциал покоя; В — возбудимость; АРП — абсолютный рефрактерный период)

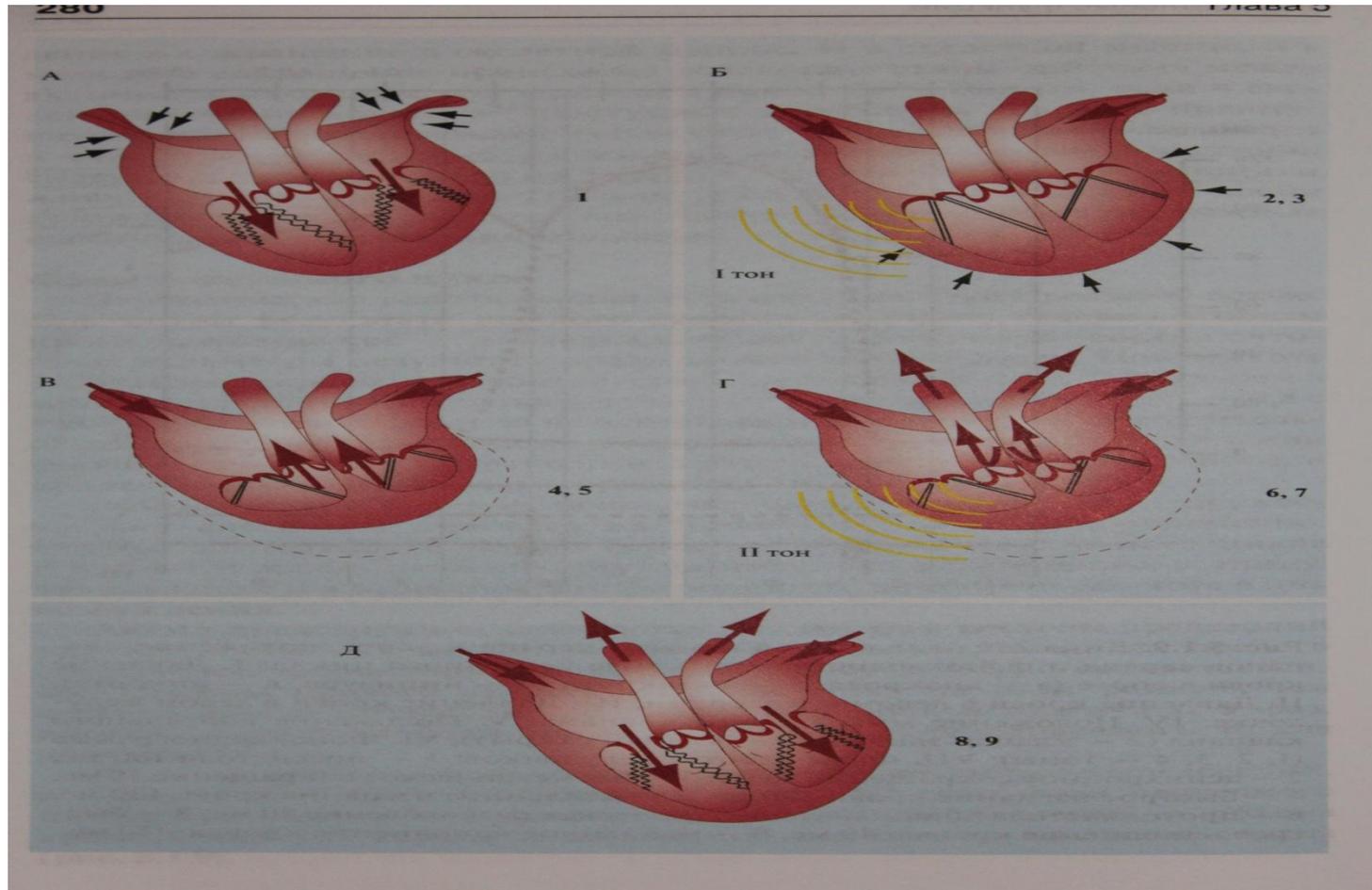
# Ритмическое сокращение сердца

- Сокращение происходит в миокарде вследствие взаимодействия между актином и миозином под влиянием ионов кальция, выходя в саркоплазму частично из эндоплазматической сети и частично снаружи кардиомиоцитов из Т-систем. Вхождение в кардиомиоциты называется кальциевым залпом во время плато потенциала действия.

# Фазы сердечного цикла

- Длительность одного сердечного цикла  $=60\text{с}/75=0,8\text{с}=800\text{мс}$
- Систола предсердий -100мс для левого предсердия и 110мс для правого
- Диастола предсердий -700мс и 690мс соответственно.

А1-систола предсердий;б2-асинхронные сокращения желудочков; 3-изометрическое сокращение желудочков;в4-быстрое изгнание из желудочков;5-медленное изгнание; г6-протодиастола;7-изометрическое расслабление;д8-быстрое наполнение кровью желудочков;9-медленное наполнение желудочков.



# Систола предсердий

- Систола обоих предсердий начинается с сокращения участка предсердий в месте впадения в них полых вен, эти места пережимаются, это препятствует движению крови из предсердий в вены во время систолы предсердий;
- Затем сокращаются ушки сердца;
- Через 50мс после начала систолы предсердий кровь полностью вытесняется из сокращающихся ушек сердца, что согласно закону Старлинга увеличивает силу их сокращений;
- Сокращаются кардиомиоциты боковых стенок предсердий и волна уменьшения объема предсердий движется в сторону желудочков;
- Давление крови повышается и кровь переходит в желудочки;
- Давление крови в желудочках повышается до 5 мм рт.ст. в правом и 10 мм рт.ст. в левом.
- Повышение давления в сердце происходит ступенчато т.к. сердце имеет многокамерное строение.
- Предсердия –тонкостенный отдел сердца, что благоприятствует заполнению их кровью, затем сокращаясь они накачивают дополнительное количество крови в желудочки, обеспечивая необходимое растяжение. Ушки сердца выполняют по отношению к предсердиям насосную функцию, как они предсердия имеют по отношению к желудочкам.

# Систола желудочков

- Систола правого и левого желудочка начинается их напряжением, повышается давление в них, открываются полулунные клапаны и кровь выбрасывается из правого желудочка в легочный ствол, из левого – в аорту.
- Напряжение желудочков складывается из 2 фаз: асинхронное и изометрического сокращения. Асинхронное 70мс в правом и 50 мс в левом и заканчивается сокращением всех кардиомиоцитов желудочков.
- **Асинхронное.** Связано с неодновременностью прихода возбуждения в различных участках миокарда желудочков. Сокращаются участки миокарда ближайšie к окончаниям проводящих кардиомиоцитов предсердно-желудочкового пучка Гиса. В связи с расслаблением предсердий давление в них начинает уменьшаться и кровь из желудочков пытается вернуться обратно в предсердия. Створки АВК всплывают над кровью желудочков и окончательное их захлопывание происходит только в начале следующей фазы.
- **Изометрическое сокращение желудочков.** При проведении возбуждения на все кардиомиоциты асинхронное сокращение переходит в синхронное. Продолжается 30мс. Начинается с закрытия АВК. Фаза заканчивается открытием полулунных клапанов и выбросом крови из правого желудочка в легочный ствол, а из левого – в аорту.
- АВК правой половины сердца состоят из трех створок, а в левой из 2-х (митральный). Клапаны открываются при движении створок в полость желудочков и закрываются при движении створок из полости желудочков в сторону АВ отверстий
- Долговечность работы клапанов определяется медленной скоростью их закрытия и трабекулами амортизирующими удар крови о стенки.
- Несмотря на синхронность сокращения всех кардиомиоцитов желудочков общая длина миокарда не меняется, кровь находящаяся в желудочках несжимаема и объем ее не меняется т.к. все клапаны сердца закрыты. Давление крови увеличивается в правом желудочке до 15 мм рт.ст. в левом до 80 мм рт.ст. полулунные клапаны открываются и кровь выбрасывается из желудочков

# Игнание крови из желудочков

- Полулунные клапаны состоят из трех кармашков на стенке сосудов. При выходе крови из желудочков кармашки легочного и аортального клапанов прилегают к стенкам легочного ствола и аорты.
- Изгнание крови из желудочков делаются на 2 фазы: быстрое и медленное.
- В фазе быстрого изгнания крови из желудочков (110мс для правого и 120 мс для левого желудочка) приток крови из правого желудочка в легочный ствол и из левого желудочка в аорту превышает отток крови из легочного ствола и аорты в мелкие артерии и капилляры. Давление в легочном стволе и аорте растёт;
- В фазу медленного изгнания (130 мс) отток крови превышает приток крови в легочный ствол и аорту. Давление крови в легочном стволе и аорте начинает уменьшаться;
- В течении обеих этих фаз давление крови в желудочках выше, чем давление в легочном стволе и аорте, что обеспечивает выброс крови из сердца в сосуды.
- Ударный объем крови-объем крови выбрасываемой из каждого желудочка и равен разнице между конечным диастолическим и конечным систолическим объемом каждого желудочка.
- При поступлении крови в желудочки и выбросе из них кровь течет не прямолинейно, а совершает вращательные движения , поэтому сердце работает как поршень и как центробежный насос (перистальтического), раскручивая кровь в полости желудочков перед ее выбросом из сердца.

# Диастола желудочка

- Предназначена для восстановления энергетических запасов и подготовки сердца к очередной систоле.
- Складывается из расслабления желудочков и наполнение их кровью;
- Расслабление желудочков состоит из протодиастолы и изометрического расслабления;
- Протодиастола- начинается с момента расслабления желудочков длится 50мс в правом и 40мс в левом и заканчивается закрытием полулунных клапанов;
- Давление крови в желудочках становится меньше чем в легочном стволе и аорте и часть крови из этих сосудов устремляется в сторону желудочков, расправляет полулунные клапаны и наполняет их кровью, кармашки смыкаются, происходит закрытие клапанов и кровь в желудочки не попадает.
- Долговечность клапанов обеспечивают комплекс эластичных и коллагеновых волокон, прикрепленных к основанию клапана.
- Фаза изометрического расслабления 60мс для правого и 80мс для левого желудочка и заканчивается открытием АВК. Расслабление мышцы с уменьшением ее напряжения, но без удлинения ее.

# Наполнение желудочков кровью

- Из вен кровь в сердце поступает периодически. Во время систолы кровь в сердце не входит. В предсердия кровь вливается в период диастолы. В желудочки кровь поступает в фазе быстрого и медленного наполнения. Окончательное наполнение желудочков кровью происходит во время систолы предсердий.
- **Фаза быстрого наполнения желудочков кровью** –начинается открытием АВК продолжается 80 мс и заканчивается сменой снижения давления в предсердиях и желудочках на его повышение. Желудочки наполняются кровью быстро в результате повышенного давления крови в предсердиях, полых и легочных венах, связано это с застоем крови в них во время систолы желудочков. Быстрому наполнению желудочков способствует резкое увеличению объема расслабляющихся желудочков, а также наполнения коронарных сосудов кровью в начале расслабления сердца, создает **гидравлический каркас сердца**.
- **Фаза медленного наполнения желудочков** –начинается подъемом давления в предсердиях и желудочках длится 160мс для правого и 170мс для левого и заканчивается сокращением предсердий.

# Зависимость давления от объема крови в сердце

- ЗАКОН ФРАНКА- СТАРЛИНГА («закон сердца»):
- **Чем больше мышца сердца растянута поступающей кровью, тем больше сила сокращения и тем больше крови поступает в артериальную систему.**
- Закон Франка-Старлинга обеспечивает:
- приспособление работы желудочков сердца к увеличению нагрузки объемом;
- «уравнивание» производительности левого и правого желудочков сердца (в единицу времени в большой и малый круги кровообращения поступает одинаковое количество крови)
- Физическая величина работы сердца равна произведению изменения давления на изменение объема крови в сердце в ходе сердечного цикла.
- При увеличении венозного притока крови работа сердца и ударный объем увеличиваются согласно закону Старлинга без повышения артериального давления.

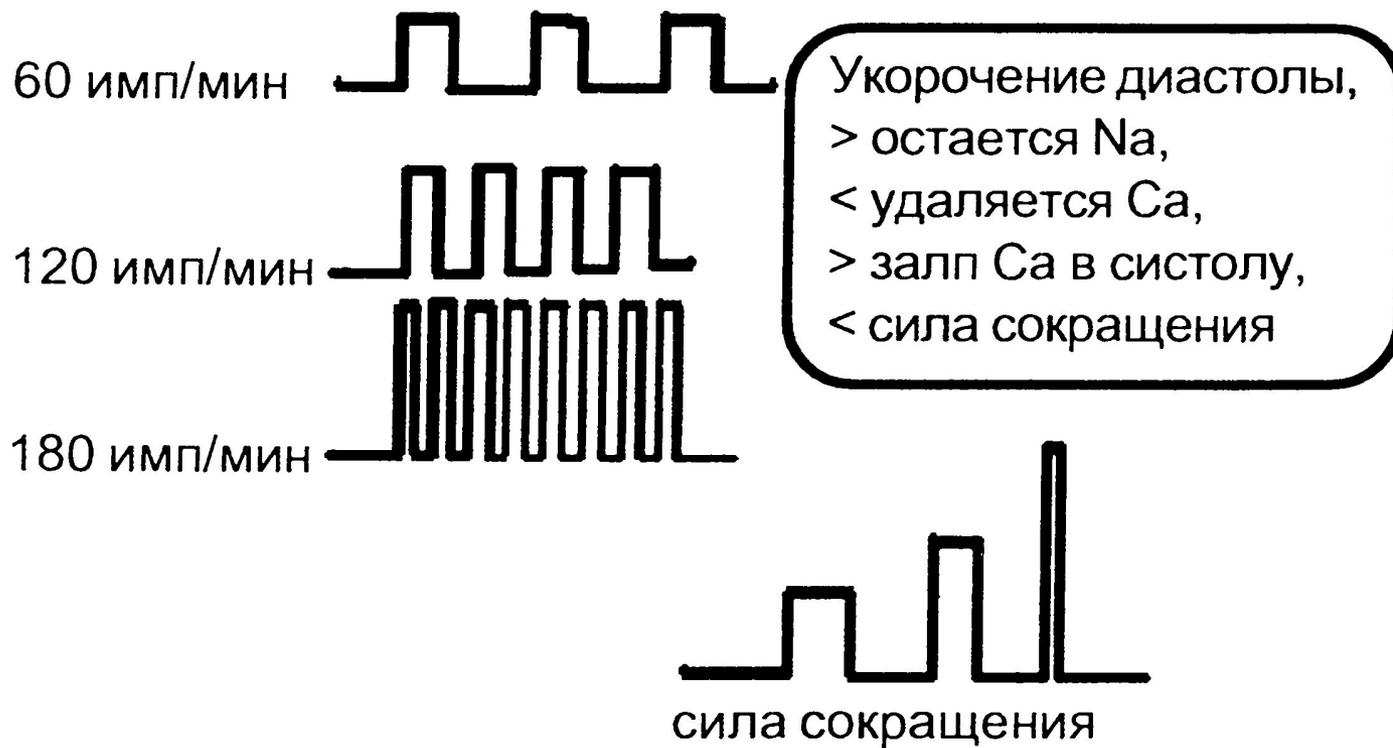
# Отличие левой половины сердца от правой

- Правая половина сердца работает медленнее и меньше отдыхает т.к. тратит меньше энергии на свою работу.

# *гомеометрическая саморегуляция*

- Эффект Анрепа (увеличение силы сокращения при повышении давления в аорте)

# Феномен Боудича (чем выше ЧСС, тем выше сила отдельного сокращения)



# Коронарное кровоснабжение

- Источник –жирные кислоты, глюкоза, лактат.
- Коронарный круг кровообращения начинается от аорты и заканчивается венозным синусом, который впадает в правое предсердие или отдельными венами, проникающими в полость сердца (табезиевы вены).
- Особенности:
  - Зависит от фаз сердечного цикла;
  - Кровь в венечные сосуды поступает во время диастолы
  - В период диастолы миоглобин сердечной мышцы насыщается кислородом;
  - Высокое давление
  - Венечные сосуды образуют густую сеть капилляров;
  - Наличие артериовенулярных анастомозов и артериоло-синусоидных шунтов;
  - Коронарные капилляры имеют высокий базальный тонус;
  - Сосуды сердца имеют двойную инервацию симпат. и парасимпат.;
  - Минимальное кровоснабжение миокарда во время фазы изометрического сокращения;
  - Коронарный кровоток ограничивает укорочение диастолы при тахикардии и наоборот меньшее ее ограничение при брадикардии.



# Основные функциональные показатели работы сердца

- В покое, во время диастолы, желудочки могут принять до 120-130 мл крови. Объем крови, содержащийся в конце диастолы, называется **конечно-диастолическим объемом**.
- Во время систолы при относительном покое организма в аорту выбрасывается около 70 мл крови. Оставшиеся в сердце 50-60 мл крови составляют **конечно-систолический объем**. При физической нагрузке конечный систолический объем может уменьшаться до 10-30 мл.

## Основные функциональные показатели работы сердца

- **Систолический объем** – **СО** – количество крови, выбрасываемой каждым желудочком за одно сокращение. Синоним – **ударный объем**. Разность между конечно-диастолическим и конечно-систолическим объемами.
- **Минутный объем** – **МОК** – сердечный выброс – количество крови, выбрасываемое желудочками сердца в минуту.
- **МОК**- интегральный показатель работы сердца, зависит от систолического объема и частоты сердечных сокращений:  **$МОК = СО \times ЧСС$**
- **МОК** у мужчин приближается к **4 - 5,5 л/мин**, а у женщин к **3 - 4,5 л/мин**
- В положении стоя **МОК** на треть меньше, чем лежа, кровь скапливается в нижней части тела и уменьшается систолический объем.

## Основные функциональные показатели работы сердца

- Общий объем крови, находящейся в сосудах, называется объемом циркулирующей крови.
- Этот показатель влияет на возврат крови в сердце.
- У взрослого человека около **84 %** всей крови находится в большом круге кровообращения, **9%** в малом, **7%** в сосудах и полостях сердца.
- **60-70%** всей крови постоянно содержится в венах

#### Д. Методы исследования сердечных объемов крови.

МОК (минутный объем крови, недостаточно точный термин) - количество крови, выбрасываемое сердцем в аорту в течение 1 мин. Для этой же цели используется еще менее точный термин «сердечный выброс» (более краткий и точный термин - **минутный выброс, МВ**). МВ является самым надежным критерием эффективности деятельности сердца. Количество крови, выбрасываемое левым желудочком в аорту за одно сокращение, называют «ударным объемом» или «систолическим объемом» (более короткое и точное название - **систолический выброс, СВ**). Правый желудочек выбрасывает такое же количество крови в легочную артерию, как и левый - в аорту. Малейшие отклонения от этого соответствия привели бы к нарушению кровообращения, поскольку большой и малый «круги» кровообращения не отделены друг от друга. МВ в состоянии покоя колеблется в пределах 4-6 л (чаще называют цифры 5-5,5 л); он прямо зависит от массы тела. При большой физической нагрузке МВ может возрастать до 25-30 л/мин, у спортсменов - до 35-40 л/мин, т. е. увеличивается в 5-7 раз. Если определен МВ, СВ рассчитывается путем деления МВ на число сокращений сердца в минуту. СВ в покое составляет 65-75 мл. Однако в покое не вся кровь, накопившаяся в желудочках к концу паузы сердца (**конечнодиастолический объем, 130-150 мл**), выбрасывается сердцем: около 50% остается в желудочке - **конечносистолический объем**. При увеличении силы сокращений сердце выбрасывает значительно больше крови - дополнительную порцию выбрасываемой при этом крови называют **резервным объемом**. Часть крови, остающаяся в желудочке после максимального его сокращения, называется **остаточным объемом**. Резервный и остаточный объемы составляют примерно по 30-40 мл. Резервный объем свидетельствует о том, что сила сердечных сокращений в покое не является максимальной. СВ при эмоциональном и физическом напряжениях может быть увеличен за счет резервного

189

объема крови. Непосредственными факторами, влияющими на МВ, являются частота и сила сердечных сокращений, точнее - СВ.

Для определения МВ применяют так называемый красочный метод, радионуклидный, термодилуции, метод Фика и многие другие.

Наиболее точной считают **методику Фика**, предложенную им еще в 1870 году, - измерение МВ по потребленному организмом кислороду за 1 минуту. Расход кислорода исследуют с помощью метаболитра. Затем рассчитывают, какой объем крови, прокачиваемой сердцем через весь организм, обеспечивает доставку необходимого организму кислорода. Например, человек потребил 250 мл  $O_2$  за 1 минуту. Содержание  $O_2$  в артериальной крови 19,5 об% (19,5 мл  $O_2$  на каждые 100 мл крови), содержание  $O_2$  в венозной крови 15 об% (15 мл  $O_2$  на 100 мл крови). Артерио-венозная разница по  $O_2$  равна: 19,5 мл - 15,0 мл = 4,5 мл  $O_2$ . Таким образом, 100 мл крови отдают организму 4,5 мл  $O_2$ , всего же организм потребил 250 мл  $O_2$ , отсюда следует:

100 мл крови поставляют 4,5 мл  $O_2$ ,

МВ крови поставляет 250 мл  $O_2$ :

Недостатком этой  $МВ = \frac{250 \cdot 100}{4,5} = 5555 \text{ мл}$  методики является то, что венозную кровь необходимо брать из правой половины сердца при помощи зонда, вводимого через плечевую вену, что весьма сложно и небезопасно для пациента. Поэтому используются и разрабатываются другие методики определения МВ или СВ. Разработан ряд формул для расчета СВ по показателям артериального давления, однако они, пока весьма неточны.

Для оценки деятельности сердца используется **сердечный индекс (СИ)**, представляющий собой отношение минутного выброса крови (МВ) к площади поверхности тела (S). Он составляет 3-4 л/мин/м<sup>2</sup>. Показатель введен из-за вариабельности МВ у разных лиц и является одним из вариантов выражения МВ:

Известен также **индекс СИ**  $= \frac{МВ}{S_{\text{тела}}}$  [л/мин/м<sup>2</sup>], **кровообращения (ИК)**, отражающий отношение МВ в мл к массе тела (МТ) в кг:

$$ИК = \frac{МВ}{МТ} \text{ [мл/кг/мин]}.$$

В норме он составляет около 70 мл/кг/мин.

190