

# Кровообращение

В организме позвоночных животных кровь циркулирует по замкнутой системе сосудов и полостей, называемой кровеносной системой.

Благодаря движению крови осуществляются обмен веществ, питание, дыхание, терморегуляция, выделение и другие функции организма. Прекращается движение крови - прекращается и жизнь.

## **Эволюция сердечнососудистой системы**

Строение сердца изменялось в процессе филогенеза. У низших позвоночных, например у рыб, оно состоит только из двух камер — предсердия и желудочка.

У амфибий в связи с развитием легких возникает новая система кровообращения, по которой в легкие направляется венозная кровь. Сердце имеет три камеры: два предсердия и желудочек.

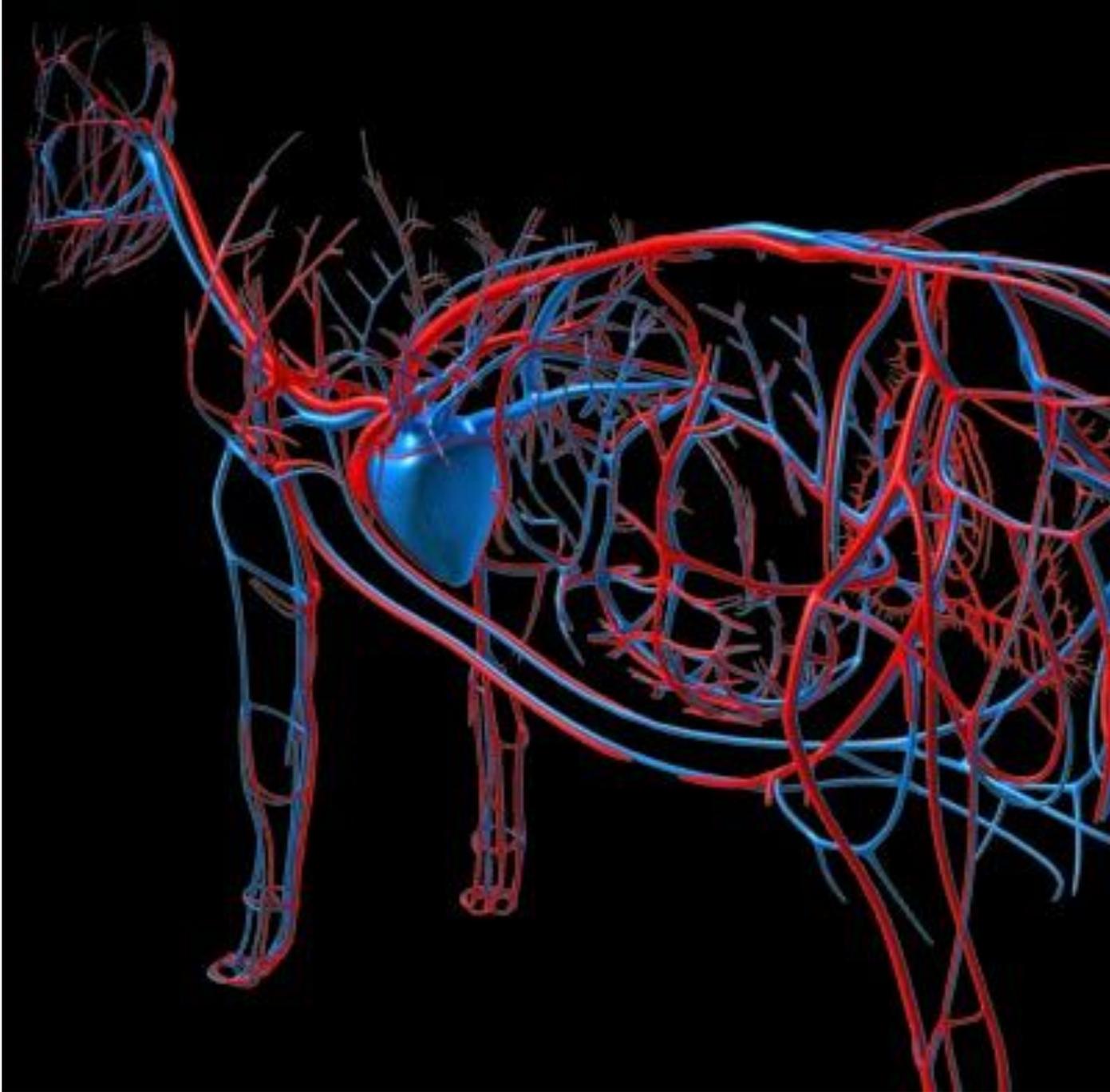
У крокодилов четырехкамерное сердце. У лягушек утолщенная часть аорты разделена на две части спиральным клапаном, обеспечивающим разделение крови так, что притекающая из правого предсердия кровь направляется в легочную артерию.

У млекопитающих и птиц сердце разделено на две половины, не сообщающиеся между собой. В сердце плода млекопитающих между предсердиями имеется отверстие, которое к моменту рождения постепенно зарастает.

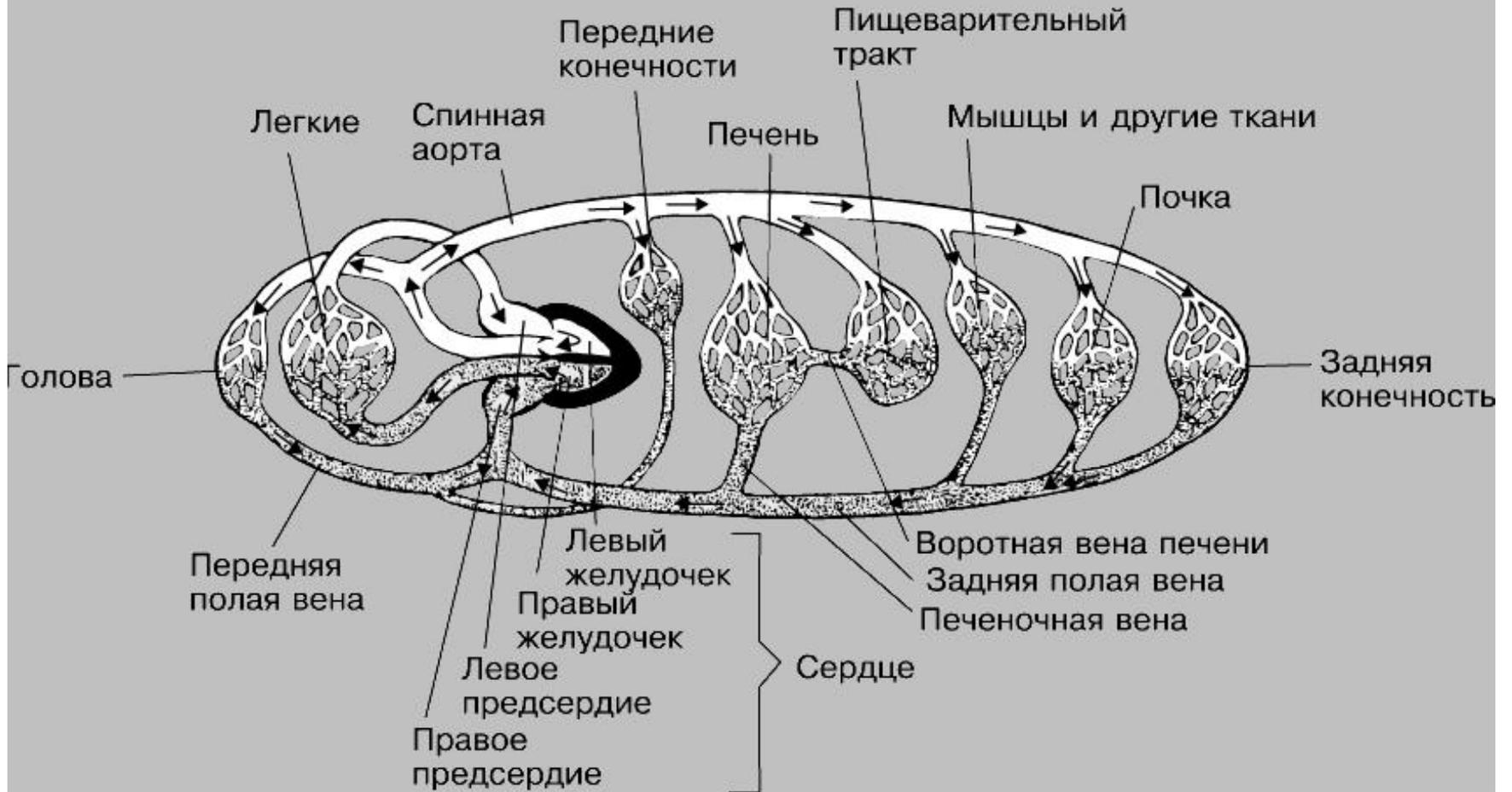
# Строение и функции сердца

Основу сердца составляет сердечная мышца - миокард, построенная из сердечной поперечнополосатой мышечной ткани.

**Строение миокарда.** Миокард состоит из отдельных волокон диаметром 10-15 и длиной 30 - 60 мкм. По всей длине волокна имеется множество поперечно исчерченных полосок, называемых *миофибриллами*. Ширина миофибриллы равна 1 мкм. Центральная полоса (длиной 1,5 мкм) содержит нити (диаметром 10 мкм) белка миозина.



# ПТИЦЫ И МЛЕКОПИТАЮЩИЕ



Сердце высших животных состоит из четырех камер: двух предсердий и двух желудочков. Между предсердиями и желудочками в каждой половине сердца расположены отверстия: **атрио-вентрикулярные**, снабженные в левой половине двух, а в правой - трехстворчатыми клапанами. Они могут открываться только в сторону желудочков, чему способствует наличие сухожильных нитей, прикрепленных к концам клапанов и капилляр

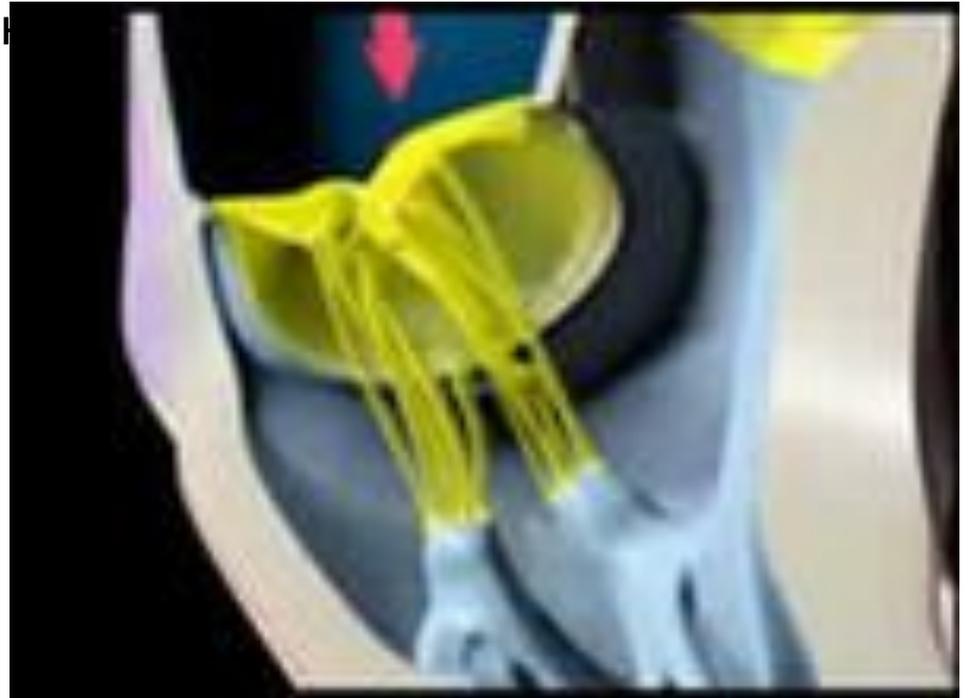


Рис. 3 - Двухстворчатые клапаны

Кроме клапанов, важную роль в механизме замыкания атриовентрикулярных отверстий играют кольцевые мышцы, окружающие эти отверстия.

От левого желудочка отходит аорта, а от правого - легочная артерия. У отверстий, где начинаются эти сосуды, расположены **полулунные клапаны**.

Они закрыты во время диастолы и открыты во время систолы желудочков. Мышцы предсердий отделены от мышц желудочков сухожильным кольцом, и только мышечный пучок Гисса проходит через это кольцо и соединяет их.

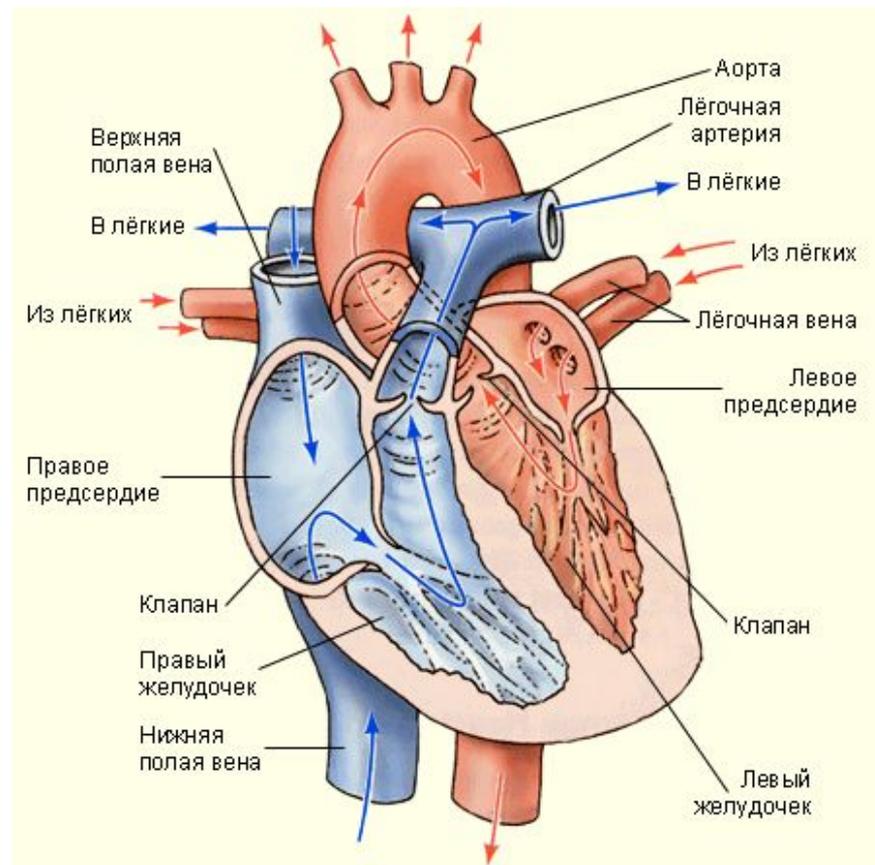
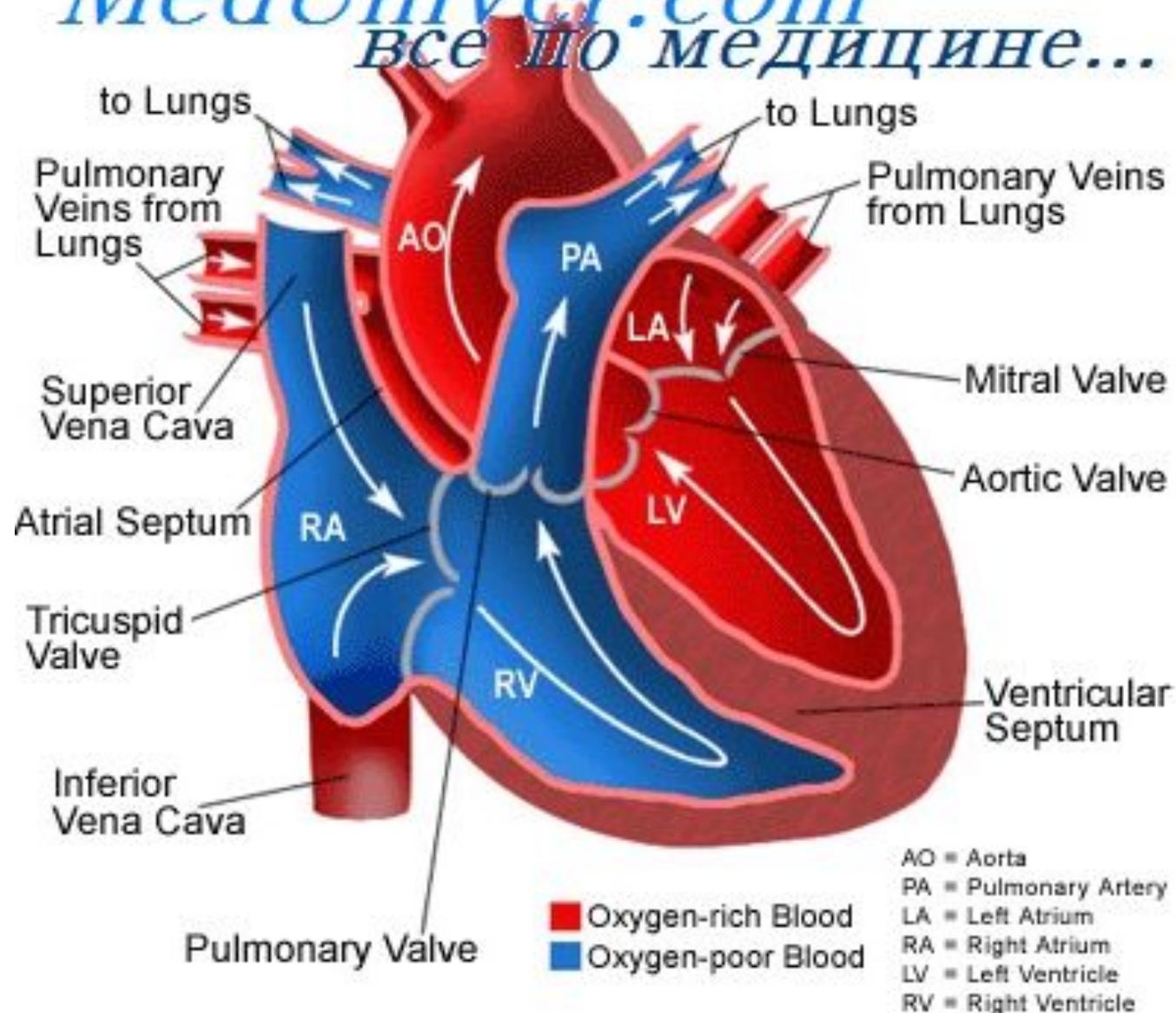


Рис. 4 - Полулунные клапаны сердца

MedUniver.com

Всё по медицине...



# Клапанная система сердце



# Физиологические свойства сердечной мышцы

Сердечная мышца обладает следующими свойствами:

- автоматии,
- возбудимости,
- проводимости,
- сократимости ,
- рефрактерности.

**Автоматия сердца.** Это способность ритмически сокращаться без каких-либо внешних побуждений, под влиянием импульсов, возникающих в сердце самом. Причина этого заключается в клетках *пейсмекеров*. Во время диастолы из этих клеток выводятся ионы  $\text{Na}^+$ , а внутрь клетки возвращаются ионы  $\text{K}^+$ . Ионы  $\text{Ca}^{++}$  проникают в цитоплазму. Движение ионов через мембраны пейсмекеров обуславливает процесс самовозбуждения в них.

**Возбудимость.** Сердечная мышца способна возбуждаться от различных раздражителей: электрических, химических, термических и др. В основе процесса возбуждения лежит появление отрицательного электрического потенциала в участке сердца.

**Проводимость.** Проведение возбуждения в сердце осуществляется вследствие образования потенциалов действия в мышечных клетках-пейсмекерах. Вначале процесс возбуждения в сердце возникает в области устья полых вен, в **сино-аурикулярном узле (Кис-флека)**, а затем распространяется на другие отделы проводящей системы сердца.

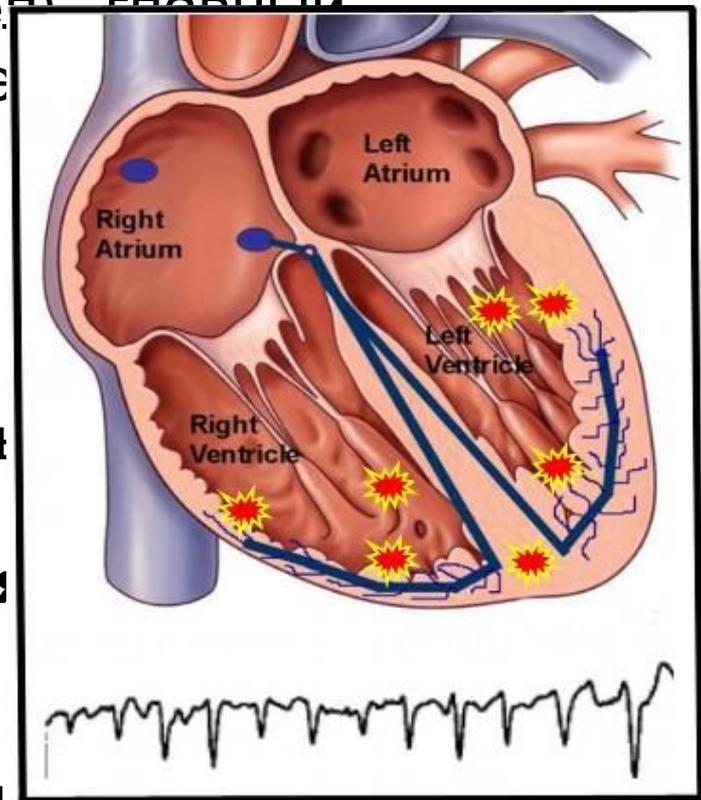
Синоаурикулярный узел (сиусный узел) — главный

водитель ритма сердца, вырабатывает в среднем 70 импульсов в минуту, и с такой же частотой сокращаются предсердия.

Вторым, не менее важным местом, обладающим свойством генерировать нервные импульсы с частотой 40 - 50 в минуту, является **атрио-вентрикулярный узел Ашоффа - Тавара**, от которого берет начало пучок Гиса.

**Пучок Гиса** имеет две **ножки Пуркинье**,

одна из которых идет к левому, а другая — к правому желудочку.



# ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА

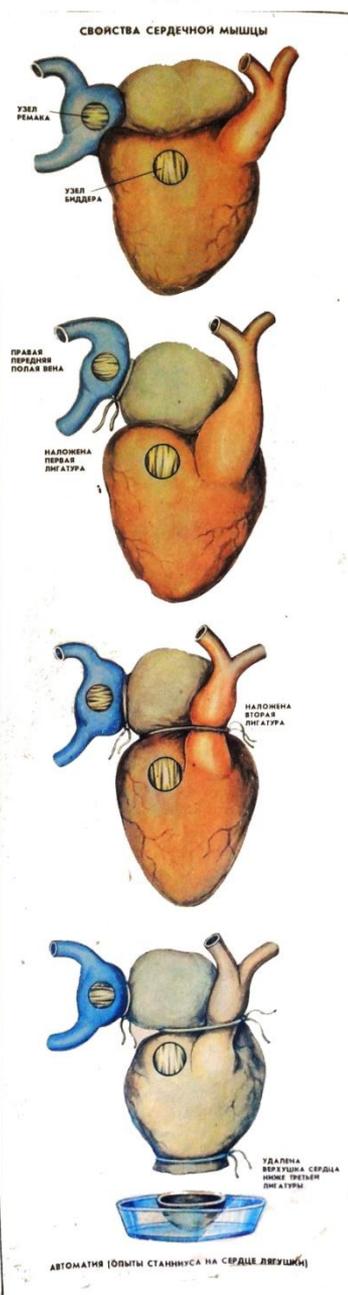
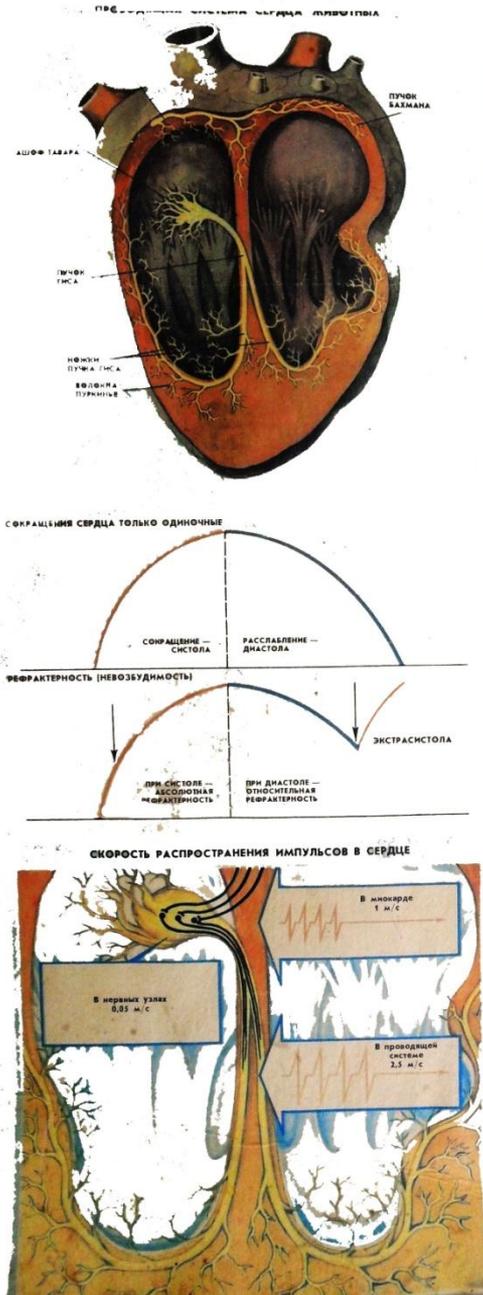


Рис. Проводящая система сердца.  
Опыты Станиуса

**Сократимость сердечной мышцы.** Это свойство связано ультраструктурными особенностями волокон миокарда. Сила сокращения сердечной мышцы прямо пропорциональна начальной длине мышечных волокон, то есть длине перед началом сокращения.

Эта особенность сердечной мышцы была установлена Э. Старлингом и получила название **«закон сердца»**. В скелетных мышцах сила сокращения зависит от силы раздражения, а в сердечной мышце это связано главным образом с воздействием нейрогуморальных влияний.

**Рефрактерность миокарда и экстрасистола.** Под рефрактерностью понимают неспособность сердечной мышцы отвечать второй вспышкой возбуждения. Это определяется большой длительностью *периода абсолютной рефрактерности*. Период длится столько же времени, сколько продолжается систола.

Если в синусном узле возникает внеочередное возбуждение в момент, когда рефрактерный период окончился, наступает **экстрасистола**, причем пауза, следующая за ней, длится столько же времени, сколько и обычная пауза после систолы. Экстрасистола может возникнуть вследствие возбуждения и самого желудочка (желудочковая экстрасистола), что приводит к продолжительной так называемой **компенсаторной паузе**. Экстрасистолы регистрируют и при внеочередном возбуждении атрио-вентрикулярного узла.

**Трепетание и мерцание предсердий – Фибрилляция.** Это особая форма нарушения ритма сердцебиений, характеризующаяся быстрыми асинхронными сокращениями мышечных волокон предсердий и желудочков, достигающими до 400 (при трепетании) и 600 (при мерцании) в минуту.

**Сердечный цикл.** Сокращение сердечной мышцы называют *систолой*, а расслабление - *диастолой*. Они составляют *сердечный цикл*.

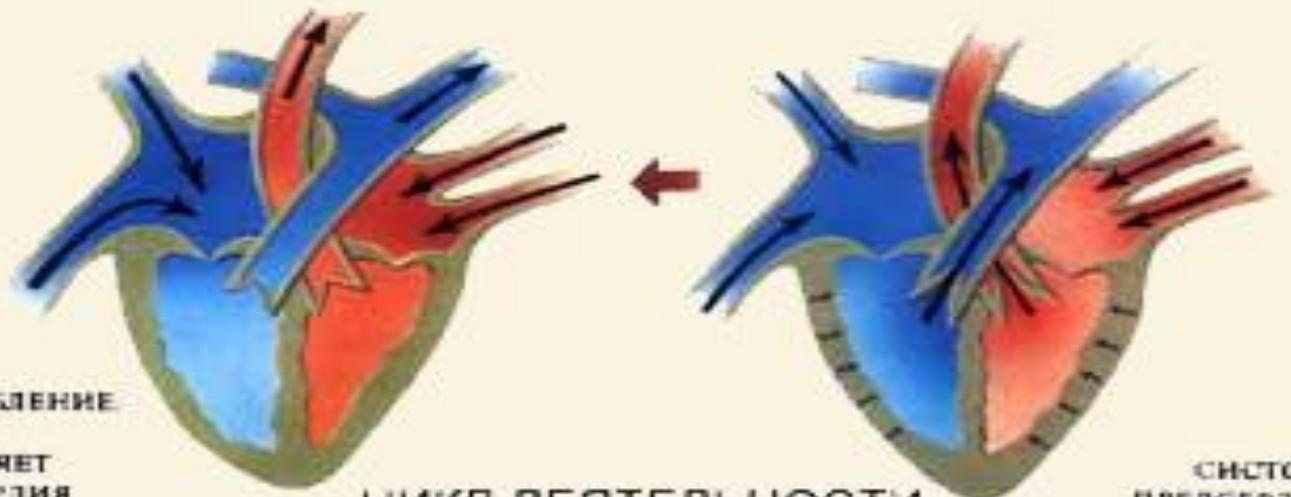
В сердечном цикле различают несколько фаз. Началом каждого сердечного цикла считают систолу предсердий (левое предсердие сокращается чуть позже правого), продолжающуюся в среднем 0,1 с. Во время систолы давление в их полостях несколько повышается (на 2 - 8 мм рт. ст.), что обеспечивает, выталкивание крови из предсердий, атриовентрикулярные клапаны открываются, и кровь поступает в желудки.

По окончании систолы предсердий начинается вторая фаза это систола желудочков - 0,3 - 0,4 с, предсердия в это время находятся в состоянии диастолы.

# Сердечный цикл

А					
Б		1	2	3	
Сек.	0,1	0,1	0,2	0,4	

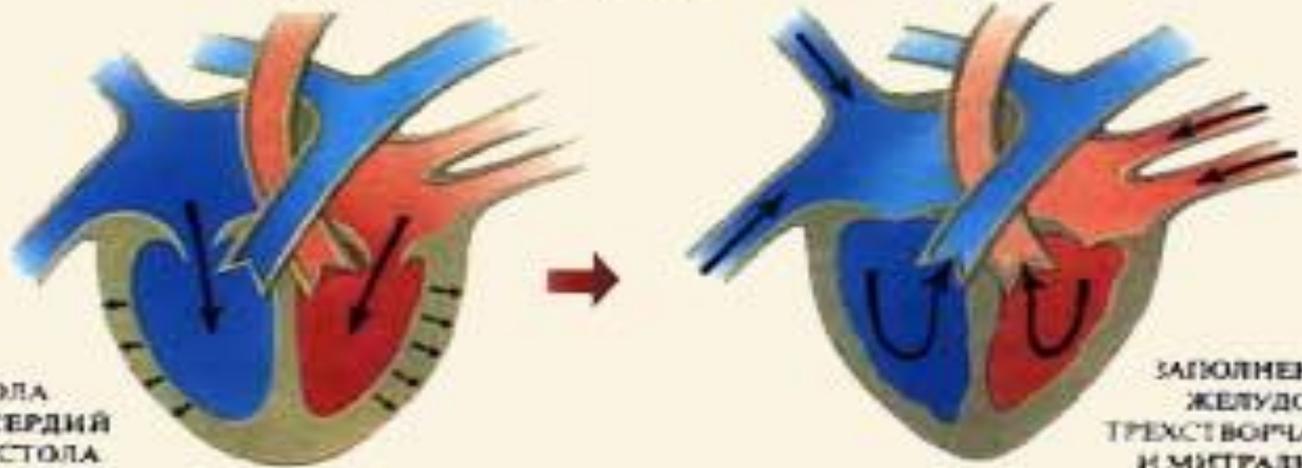
**А - работа предсердий и Б - желудочков;  
Синий цвет— систола, зеленый цвет —  
диастола;  
1 - фаза напряжения; желудочков, 2 - фаза  
изгнания крови из жел., 3 - фаза наполнения  
жел.**



РАССЛАБЛЕНИЕ  
КРОВЬ  
ЗАПОЛНЯЕТ  
ПРЕДСЕРДИЯ

СИСТОЛА  
ПРЕДСЕРДИЙ

ЦИКЛ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
СЕРДЦА



СИСТОЛА  
ПРЕДСЕРДИЙ  
И ДИАСТОЛА  
ЖЕЛУДОЧКОВ

ЗАПОЛНЕННЫЕ  
ЖЕЛУДОЧКИ:  
ТРЕХСТВОРЧАТЫЙ  
И МИТРАЛЬНЫЙ  
КЛАПАНЫ  
ЗАКРЫТЫ

При сокращении мускулатуры желудочков в них быстро возрастает давление крови, поэтому атрио-вентрикулярные клапаны захлопываются. В этот момент давление крови в полости желудочков становится выше, чем в аортальной системе, и полулунные клапаны раскрываются, происходит изгнание крови из сердца. Сразу после открытия полулунных клапанов (0,05 - 0,1 с) удаление крови из сердца начинает замедляться и сокращение миокарда ослабевает. В среднем через четверть секунды (что зависит от частоты работы сердца) после раскрытия полулунных клапанов систола желудочков прекращается, их мускулатура расслабляется и начинается диастола. В этот момент аортальные клапаны захлопываются, так как давление крови в желудочках резко падает и становится ниже, чем в аорте и легочной артерии.

***Ритм работы сердца*** зависит от массы, вида животного и уровня обмена веществ. Частота сердечных сокращений в минуту у животных разных видов различна:

у слонов - 25 - 28,

лошадей – 32 - 42,

верблюдов - 32 - 52,

крупного рогатого скота и свиней - 60 - 80,

собак – 70 - 80,

кроликов - 120-140,

кур - до 300.

**Тоны сердца.** Работа сердца сопровождается рядом механических, звуковых явлений, характеризующих динамику сокращений сердечной мышцы.

Звуковые явления называют тонами сердца. Их легко прослушать, если приложить к грудной клетке ухо или специальный прибор - фонендоскоп.

**Первый тон** возникает в начале систолы желудочков (систолический), он более глухой, протяжный и низкий, связано с колебательными движениями натянутых створок атрио-вентрикулярных клапанов и сухожильных нитей, а также с сокращением всей массы мышечных волокон.

**Второй тон** слышен в начале диастолы желудочков (диастолический), он более короткий и резкий, напоминающий звук «дук», вызывается захлопыванием полулунных клапанов сердца в момент начинающейся диастолы желудочков.

**Третий тон** возникает вследствие вибрации стенок желудочков в начале фазы их наполнения кровью;

**Четвертый тон** - двухкомпонентный, образуется в результате расслабления предсердий и падения давления в них, когда кровь устремляется из желудочков в предсердия.

Исследование тонов сердца с помощью чувствительного микрофона, соединенного с осциллографом, дает возможность графически зарегистрировать все тона сердца (**фонокардиография**).

**Систолический и минутный объем** . Количество крови, выбрасываемой желудочками сердца в минуту, называется минутным объемом кровотока, причем он одинаков для левого и правого желудочков, если животное находится в состоянии покоя.

Минутный объем сердца

у лошадей равен 20- 30 л,

у коров массой до 500 кг - 35 л,

у овец - до 4 л,

у собак - 1,5 л.

Разделив минутный объем на число  $i$  сокращений сердца в минуту, можно вычислить *систолический объем кровотока*.

У лошади массой до 500 кг он достигает 850 мл,

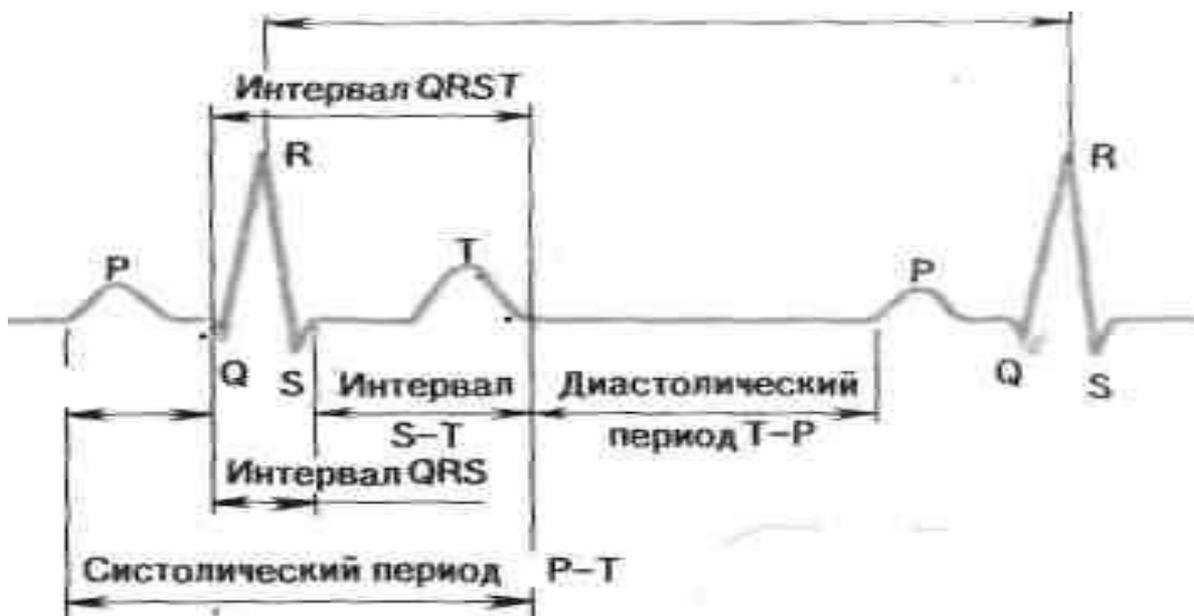
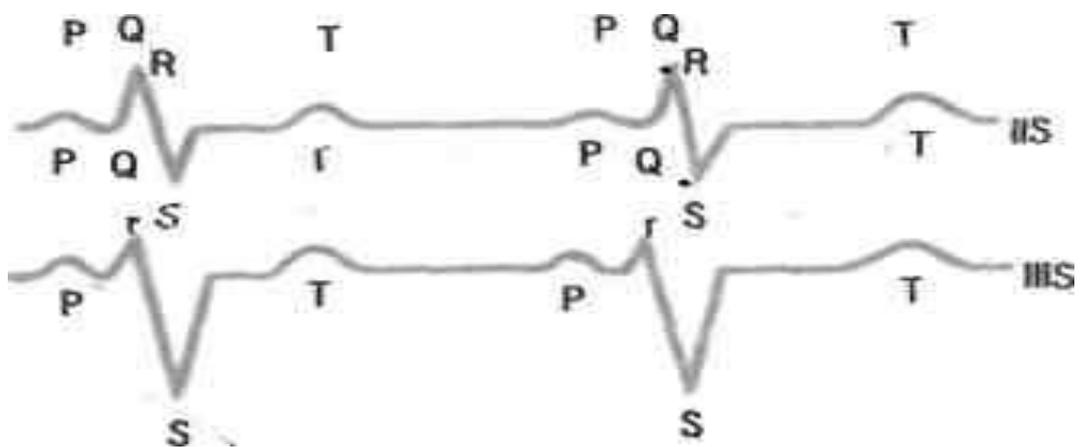
у крупного рогатого скота такой же массы – 580 мл,

у овцы – 55мл,

у собаки массой 10 кг - 14 мл.

**Биопотенциалы.** Электрические явления в сердце возникают в результате разности потенциалов между возбужденным и невозбужденным участком органа. Их можно обнаружить, приложив металлические электроды (электрокардиография) к поверхности тела.

*Электрокардиограмма.* ЭКГ здоровых животных состоит из отдельных зубцов и интервалов между ними, обозначаемых буквами латинского алфавита *P*, *Q*, *R*, *S*, *T* (рис. 5, 6). Небольшой зубец *P* отражает возбуждение правого и левого предсердий. У крупного рогатого скота и лошадей он нередко имеет раздвоенную вершину, что связано с неодновременным возбуждением предсердий. Комплекс зубцов *QRS* - наибольший по амплитуде, отражает процесс возбуждения желудочков в момент их систолы. Зубец *Q* - волна возбуждения от основания к верхушке сердца, а зубец *T* - от верхушки к основанию. Интервал от начала *P* до начала зубца *Q* показывает время проведения возбуждения от предсердий к желудочкам. Интервал *Q* - *T* почти совпадает с длительностью механической систолы и характеризует время возбуждения желудочков в момент систолы



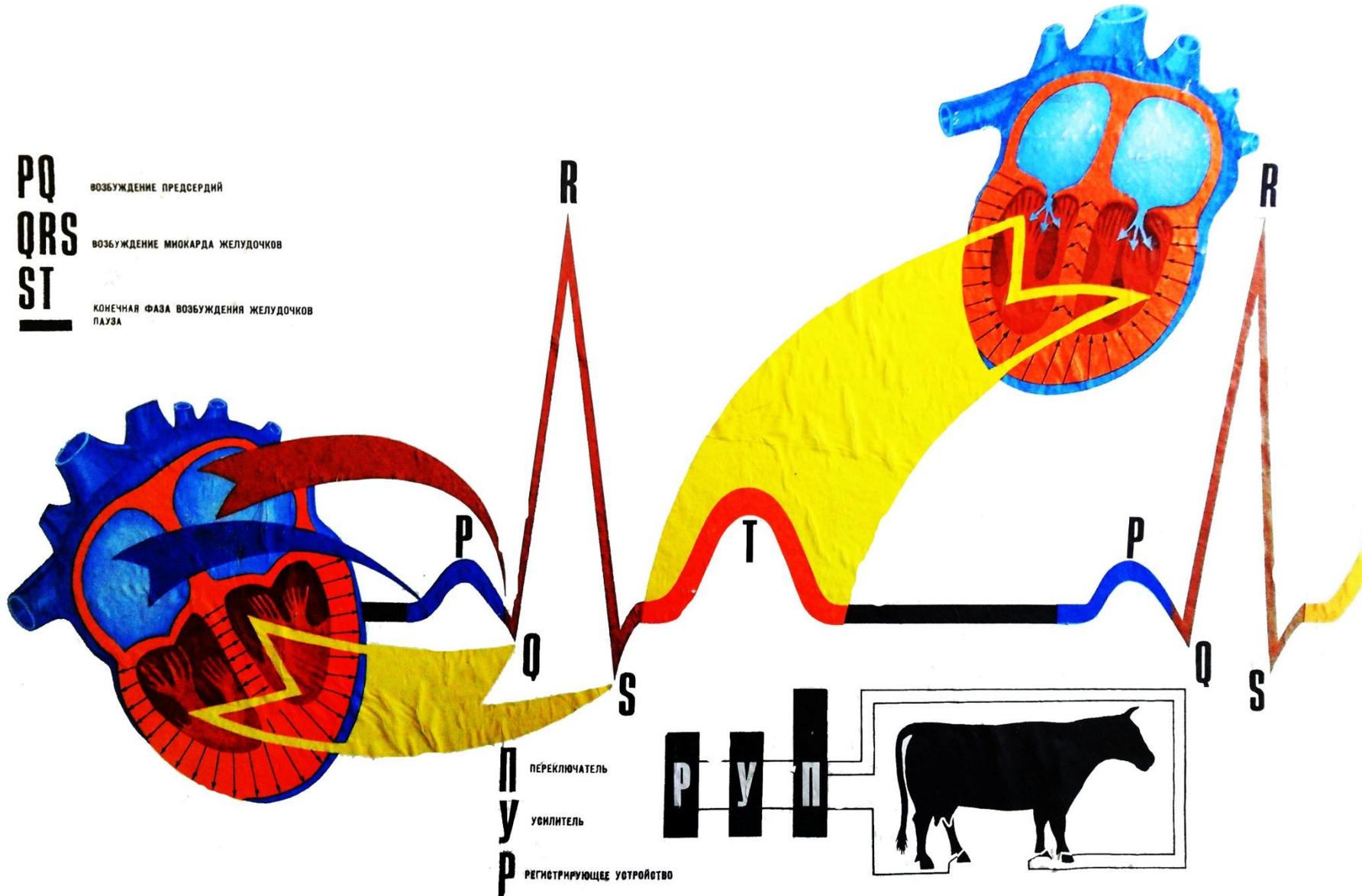
# СХЕМА РЕГИСТРАЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

**PQ**  
**QRS**  
**ST**

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПРЕДСЕРДИЙ

ВОЗБУЖДЕНИЕ МИОКАРДА ЖЕЛУДОЧКОВ

КОНЕЧНАЯ ФАЗА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ  
ПАУЗА



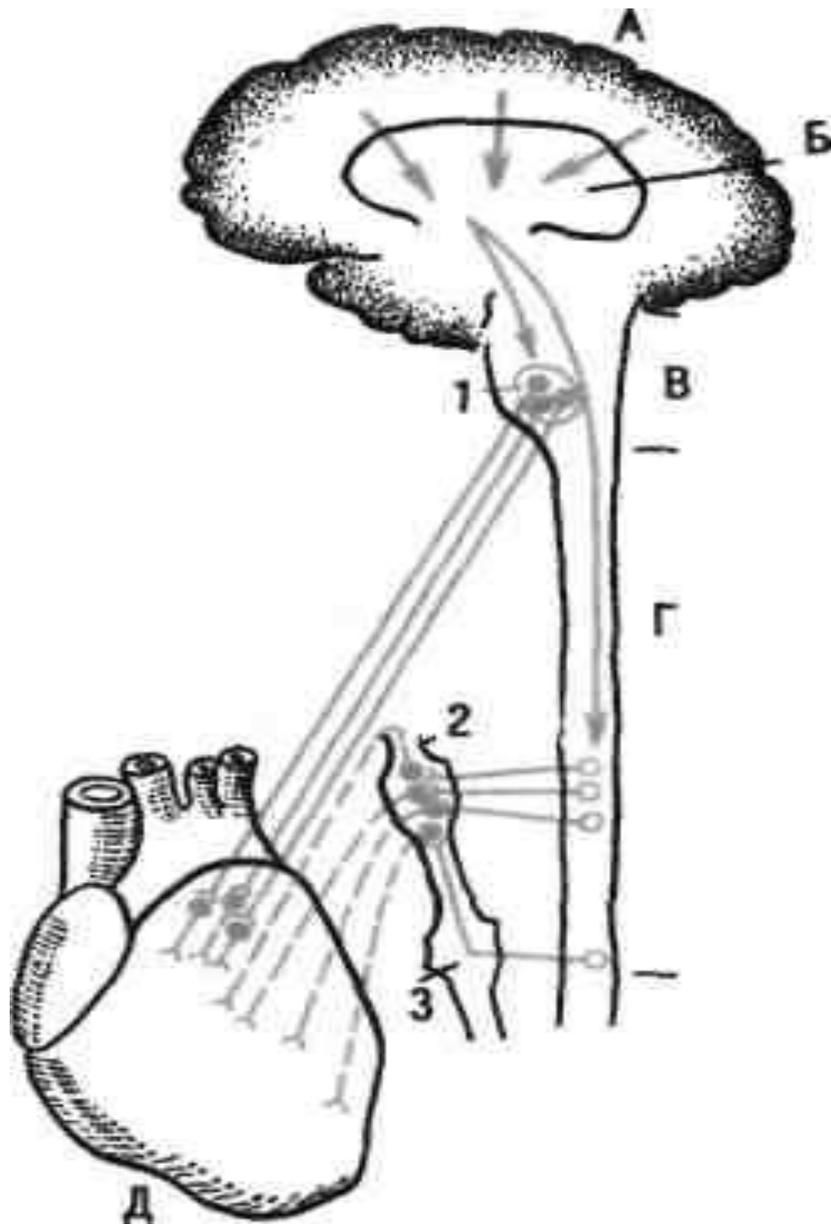
## Регуляция работы сердца.

**Рефлекторная регуляция** функций сердца обеспечивается центрами продолговатого и спинного мозга, корой полушарий (моторной и премоторной зоной), а также гипоталамической областью промежуточного мозга.

Деятельность сердца регулируется нервными импульсами, поступающими к нему из центральной нервной системы по блуждающим и симпатическим нервам, а также гуморальным путем.

Между центрами блуждающего нерва и сердцем имеется двухнейронная связь. Первые нейроны расположены в продолговатом мозге, а их отростки - аксоны - в интра-муральных ганглиях сердца. Здесь образуются вторые нейроны, отростки которых идут к узлу Кис - Флека, мышечным волокнам предсердий и атрио-вентрикулярному узлу.

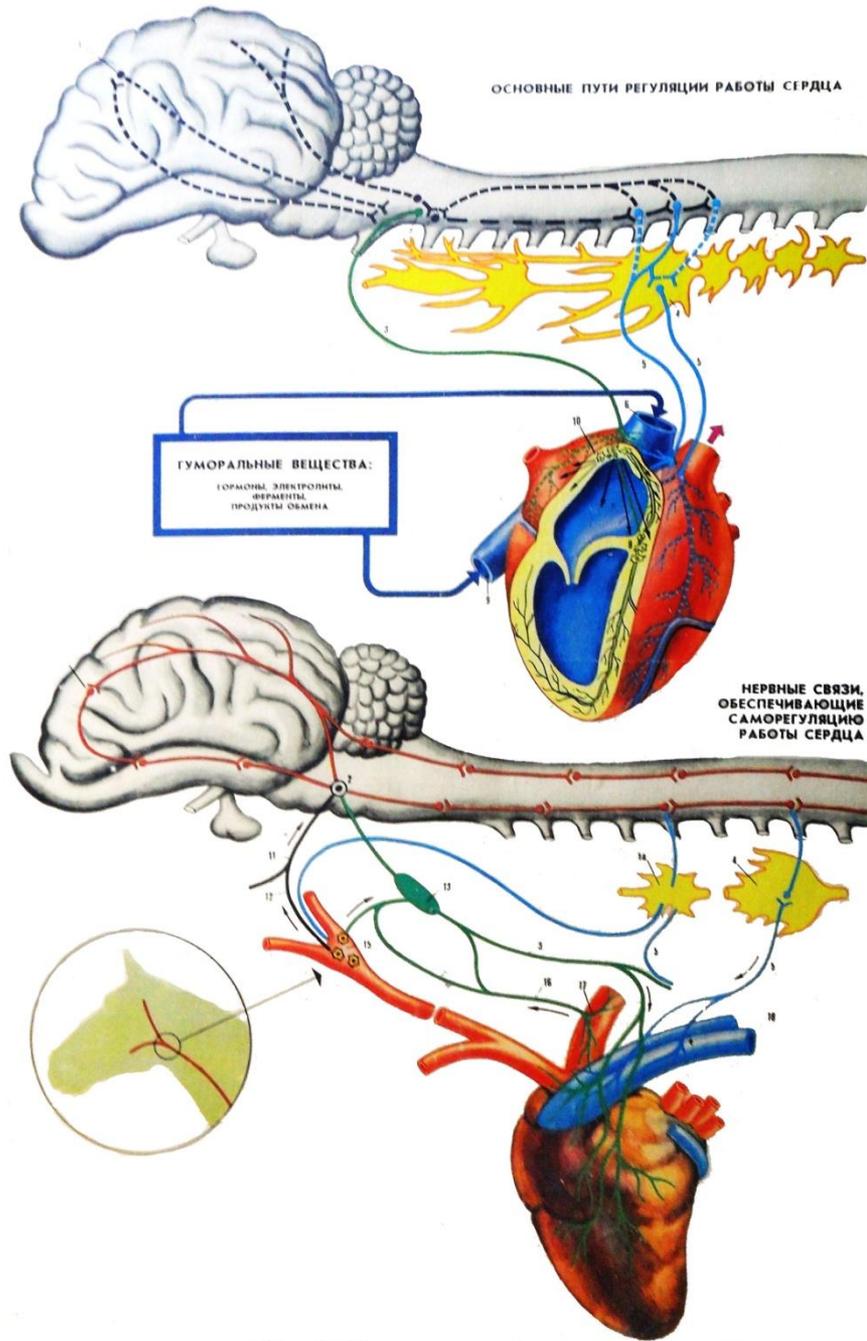
Симпатический нерв передает импульсы сердцу также по двухнейронной цепочке. Первые нейроны расположены в боковых рогах грудных отделов спинного мозга. Их отростки заканчиваются в шейных и грудных симпатических узлах. Особенно много нервных волокон отходит к сердцу от звездчатого ганглия, где расположены вторые нейроны.



**Рис . Рефлекторная регуляция сердца:**

*А* - кора большого мозга; *Б* - гипоталамус; *В* - продолговатый мозг; *Г* - спинной мозг; *Д* - сердце; 1 - ядра блуждающего нерва, идущего к сердцу в продолговатом мозге; 2 - звездчатый ганглий, к которому идут волокна симпатического нерва из спинного мозга; 3 - второй грудной симпатический ганглий; *линии точками* - постганглионарные волокна блуждающего нерва в сердце; *линии пунктиром* - постганглионарные симпатические волокна, идущие к сердцу; *линии стрелками* - влияние коры большого мозга на ядра блуждающего нерва и симпатические нервные волокна сердечной мышцы

# РЕГУЛЯЦИЯ И САМОРЕГУЛЯЦИЯ РАБОТЫ СЕРДЦА



**Гуморальная регуляция** работы сердца осуществляется химически активными веществами, выделяющимися в кровь и лимфу из желез внутренней секреции и при раздражении тех или других нервов. Норадреналин и адреналин сходны по химическому составу и действию, они ускоряют и усиливают работу сердца, ацетилхолин - тормозит. При раздражении блуждающих нервов в их окончаниях выделяется ацетилхолин, а при раздражении симпатических - норадреналин (симпатии). Тироксин (гормон щитовидной железы) повышает чувствительность сердца к действию симпатических нервов.

Большую роль в обеспечении оптимального уровня сердечной деятельности играют ионы крови. Ионы калия угнетают деятельность сердца: уменьшается сила сокращений, замедляются ритм и проведение возбуждения. Ионы кальция повышают возбудимость и проводимость миокарда, усиливают сердечную деятельность.

Движение крови по кровеносным сосудам - неперемное условие жизни клеток, тканей и организма. Кровь циркулирует по замкнутой системе сосудов в направлении артерия - вена. Существуют два круга кровообращения:

**Большой круг кровообращения** начинается от левого желудочка сердца аортой, которая дает разветвления, переходящие в артериолы, капилляры и вены всего тела, и заканчивается двумя большими венами, впадающими в правое предсердие.

**Малый круг кровообращения** начинается от правого желудочка легочной артерией, которая, разветвляясь, переходит в капилляры легких и заканчивается легочными венами, впадающими в левое предсердие. Легочная артерия - единственная артерия в организме, по которой течет венозная кровь из правого желудочка в легкие, а легочная вена - единственная, по которой течет обогащенная кислородом артериальная кровь из легких в левое предсердие.

В момент систолы предсердий кровь из них изгоняется в полости желудочков, а в момент систолы желудочков она поступает в аортальную систему: легочную артерию и аорту.

**Артериальный пульс.** При сокращении желудочков возникают ритмические колебания артериальных стенок. Эти ритмические колебания артериальных сосудов называют артериальным пульсом.

Пульсовая волна образуется в момент повышения давления в аорте, что по времени соответствует изгнанию крови из желудочков. Пульсацию артерий можно ощутить прикосновением артерии:

- у лошадей - к наружной подчелюстной,
- у коров - к лицевой,
- у мелких животных - к бедренной и пальцевой артериям.

Регистрацию пульса у животных осуществляют графически (сфигмография)

Пульсовая кривая характеризуется двумя основными коленами:

- подъемом кривой (анакрота)
- спуском (катакрота).

**Венный пульс.** Его регистрируют в крупных, близко расположенных к сердцу венах (полые и яремные вены). Он образуется вследствие затрудненного оттока крови из вен к сердцу во время систолы предсердий и желудочков. В момент систолы желудочков давление внутри вен повышается, и происходит колебание их стенок. Эти колебательные движения у крупных животных можно наблюдать и зарегистрировать (флебография).

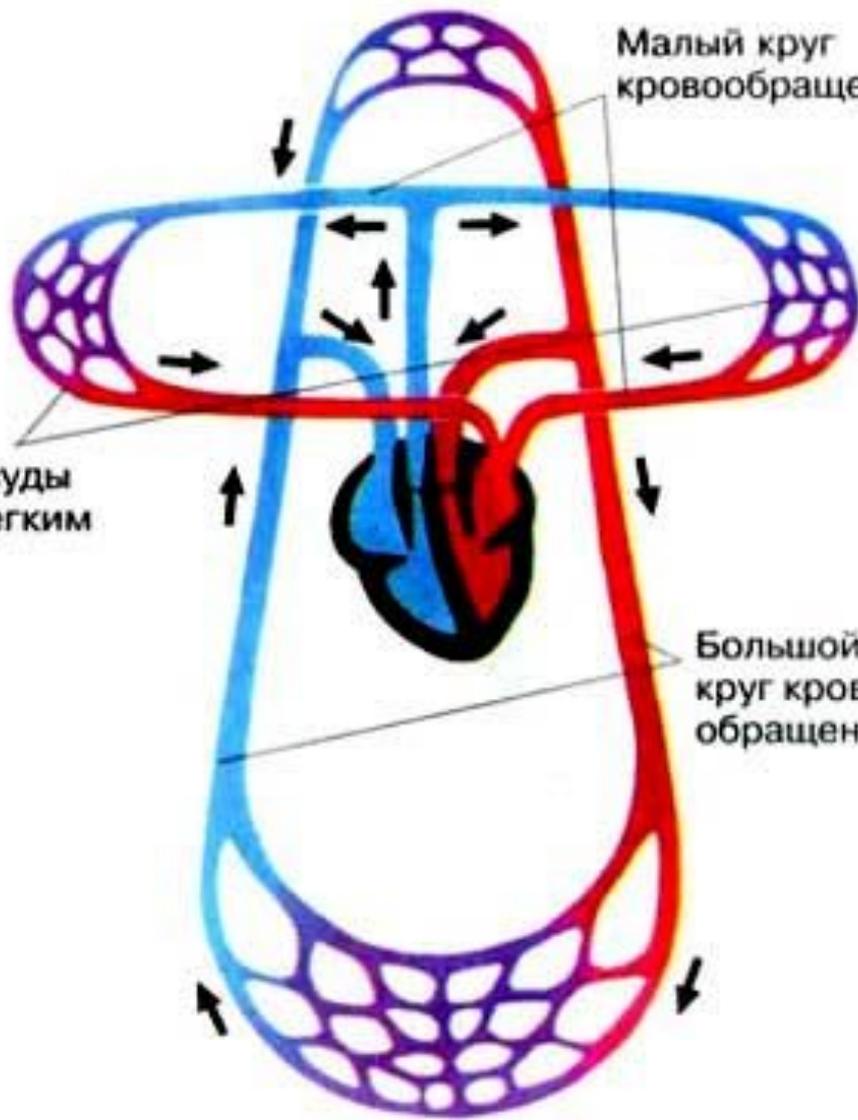
Сосуды к голове  
и верхним конечностям

Малый круг  
кровообращения

Сосуды  
к легким

Большой  
круг крово-  
обращения

Сосуды к внутренним органам  
и нижним конечностям



**Кровяное давление.** Это давление крови на стенки сосудов. В артериях оно зависит от объема крови, поступающей из сердца.

Подъем кровяного давления в артериях вследствие систолы желудочков характеризует *максимальное*, или систолическое, давление. Спад давления во время диастолы соответствует диастолическому давлению, или *минимальному*. Разность между систолическим и диастолическим давлением (амплитуда колебаний давления), называется *пульсовым давлением*.

*Среднединамическое давление* – это сумма минимального и  $1/3$  пульсового давления. Он выражает энергию непрерывного движения крови и является величиной постоянной для данного сосуда и организма.

**Регуляция кровообращения.** Осуществляется нерво-гуморальным путем. *Сосудодвигательные центры* расположены в продолговатом мозге на дне IV мозгового желудочка. Центр имеет два отдела:

1. прессорный
2. депрессорный.

Раздражение первого отдела вызывает сужение артерий и подъем кровяного давления, раздражение второго - расширение артерий и падение давления.

Регуляция осуществляется вегетативной нервной системой – симпатический нервный отдел сужает просвет кровеносных сосудов, парасимпатический - расширяет.

Артерии и артериолы имеют сосудосуживающие нервные волокна - **вазо-констрикторы**, относящиеся к симпатической нервной системе, и сосудорасширяющие - **вазодилататоры**, принадлежащие к парасимпатической нервной системе. Раздражение первого отдела вызывает сужение артерий и подъем кровяного давления, раздражение второго - расширение артерий и соответственное падение давления.

Важное значение имеют сосудорефлексогенные зоны. В организме существуют очень много таких зон.

- в дуге аорты
- области разветвления сонной артерии на внутреннюю и наружную (каротидный синус).
- Область предсердий.

## **Гуморальное регуляция**

Некоторые биологически активные вещества (гормоны, медиаторы) обладают сосудосуживающим и сосудорасширяющим действием.

Гормоны \_\_надпочечников адреналин и норадреналин, гормон задней доли *АДГ* вызывают сужение артерий и артериол органов брюшной полости и легких. Однако сосуды мозга и сердца реагируют на эти вещества расширением, что способствует улучшению питания сердечной мышцы и тканей мозга. В слизистой оболочке кишечника, в мозге при распаде кровяных пластинок образуется серотонин, обладающий сосудосуживающим действием; он препятствует кровотечению в этих органах в случае повреждения ткани.

Сосудорасширяющим способностью обладают: гистамин, ацетилхолин, простагландины, аденозинтрифосфюрная кислота, брадикинин и др.

Area of cardiac muscle deprived of blood supply if coronary vessel is blocked at point **A**:



Area of cardiac muscle deprived of blood supply if coronary vessel is blocked at point **B**:

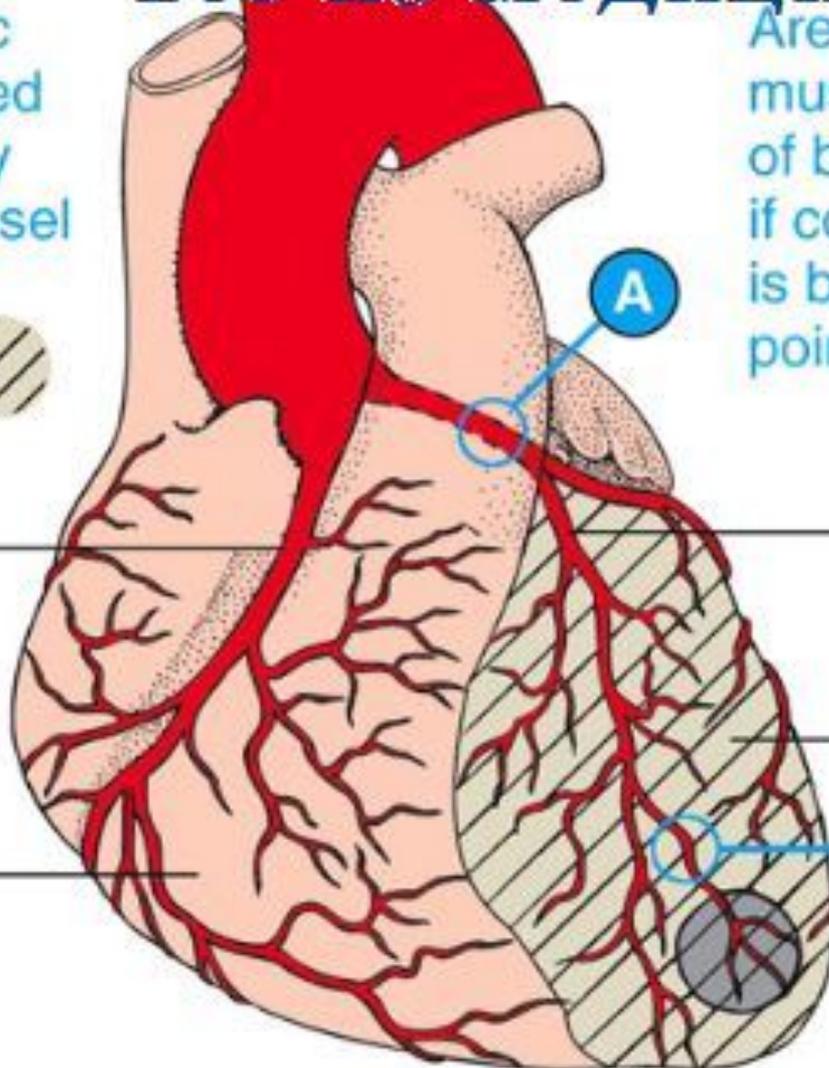


Right coronary artery

Left coronary artery

Right ventricle

Left ventricle



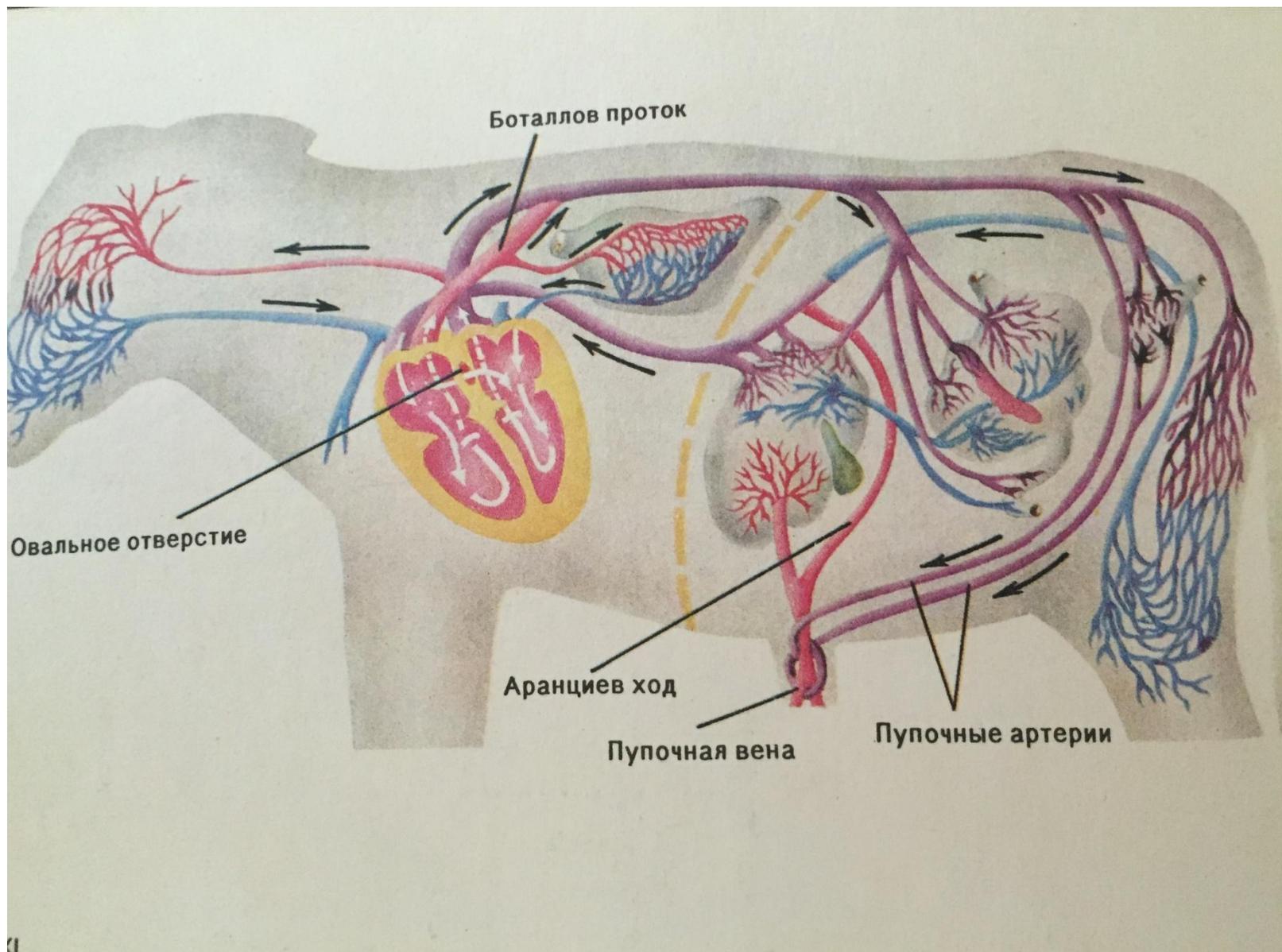
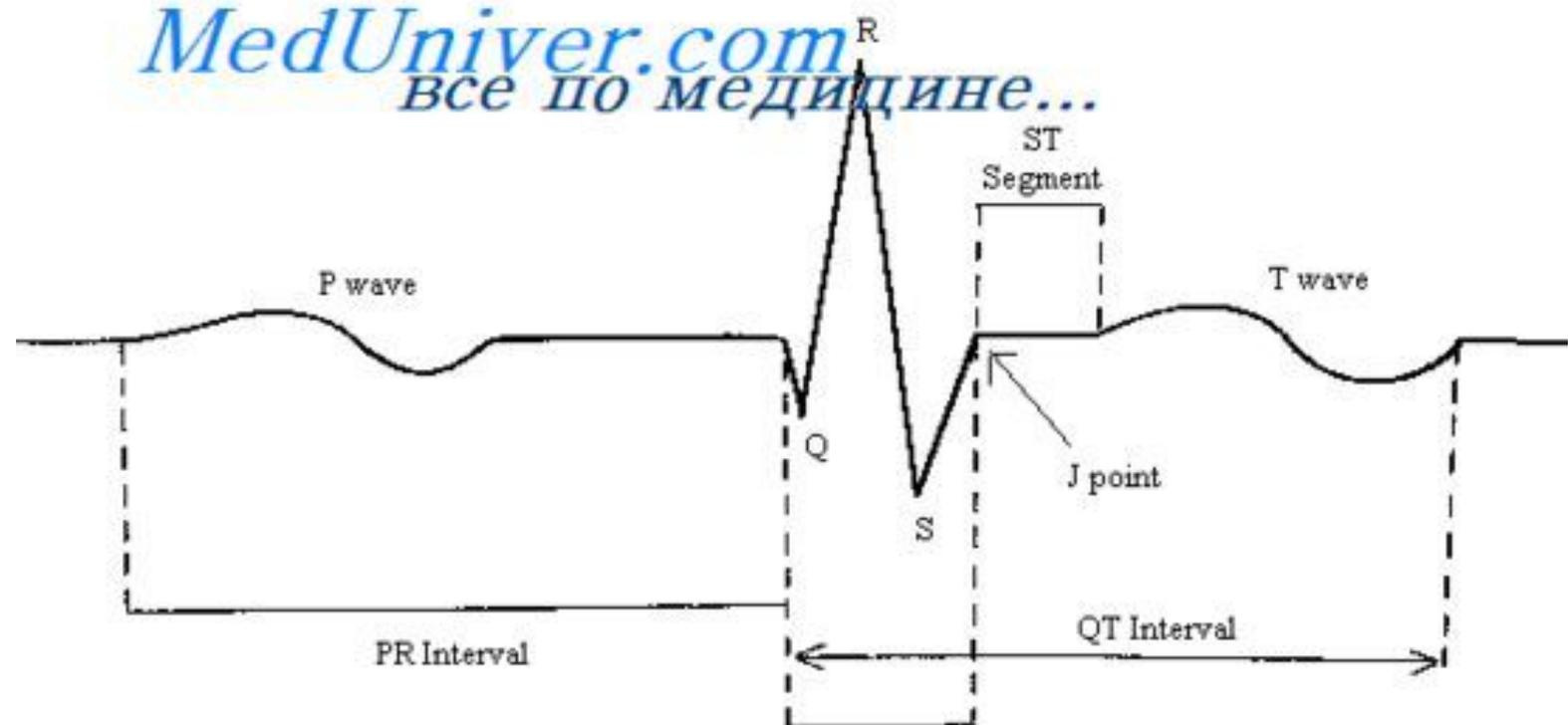
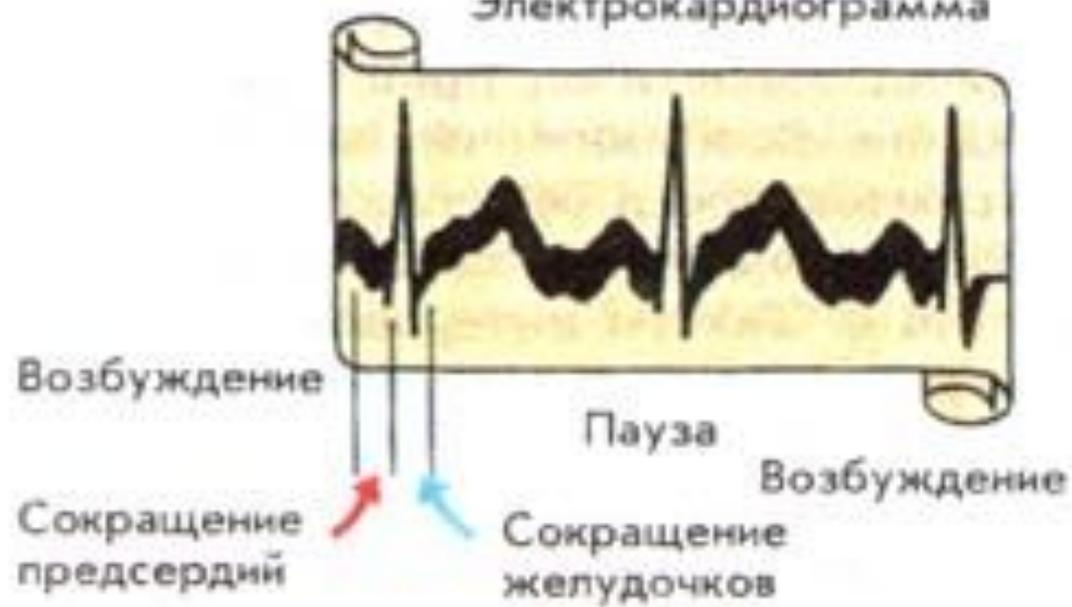


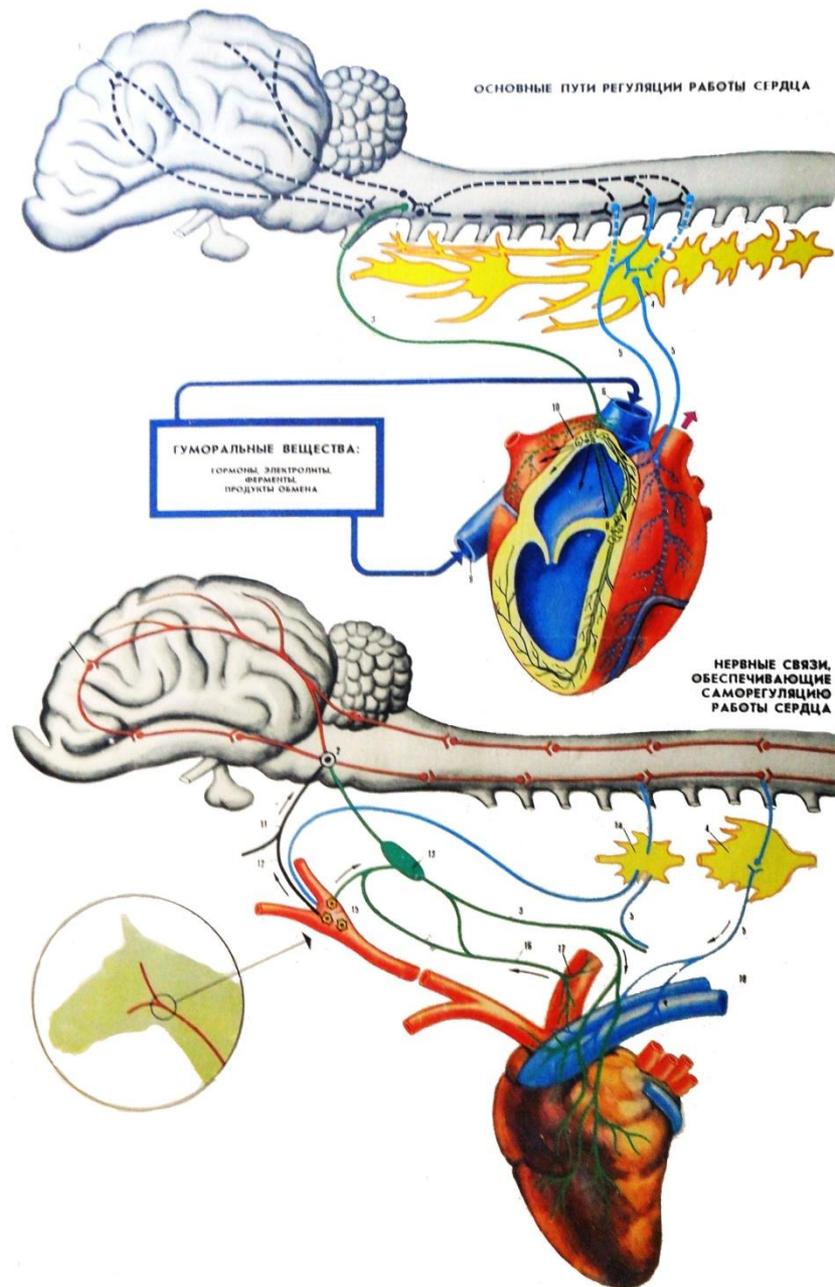
Рис. Схема кровообращения у плода



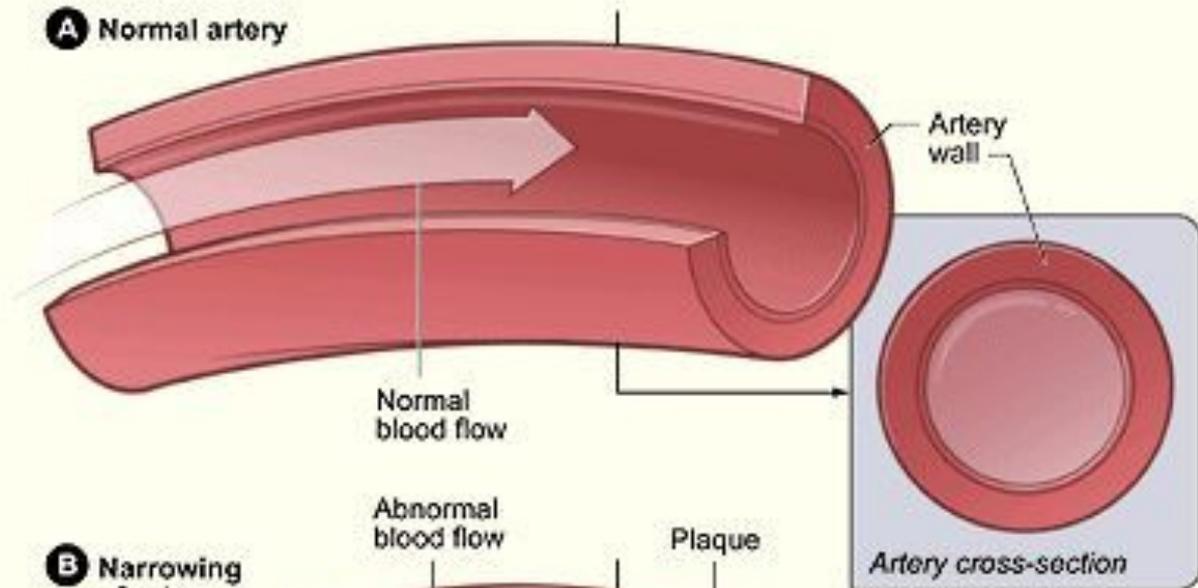
Электрокардиограмма



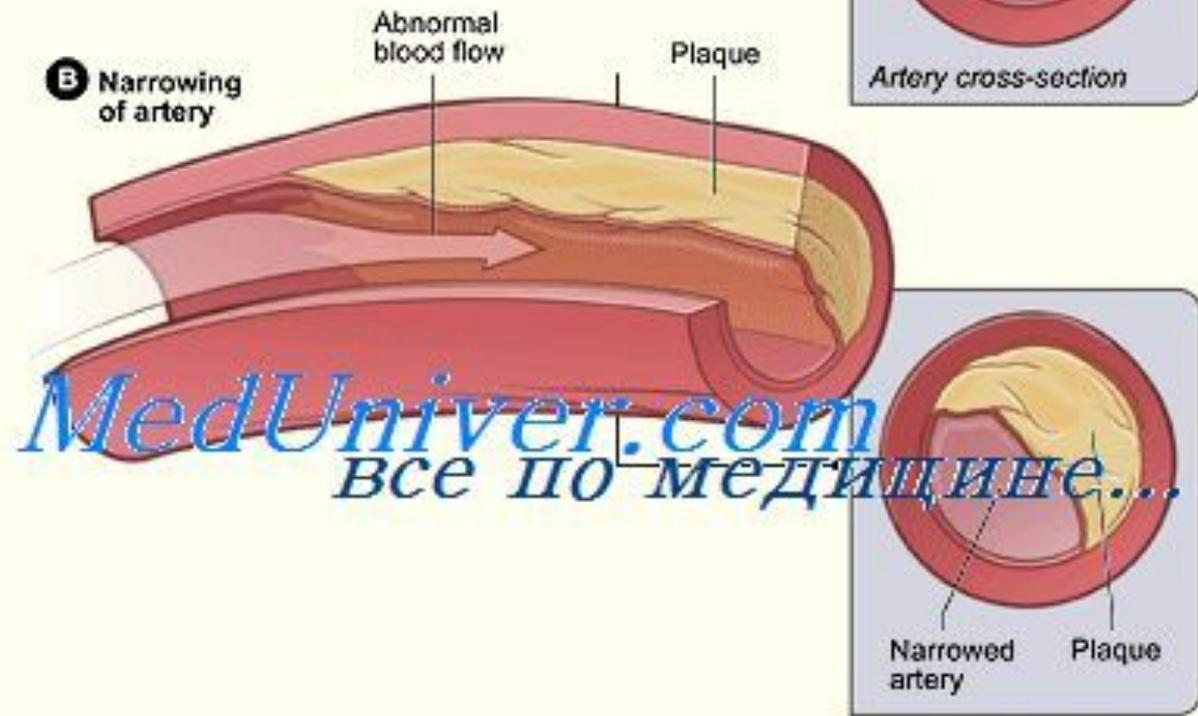
# Регуляция и саморегуляция работы сердца



**A** Normal artery



**B** Narrowing of artery



*MedUniver.com*  
*Все по медицине...*

