

# Кровообращение и лимфообращение

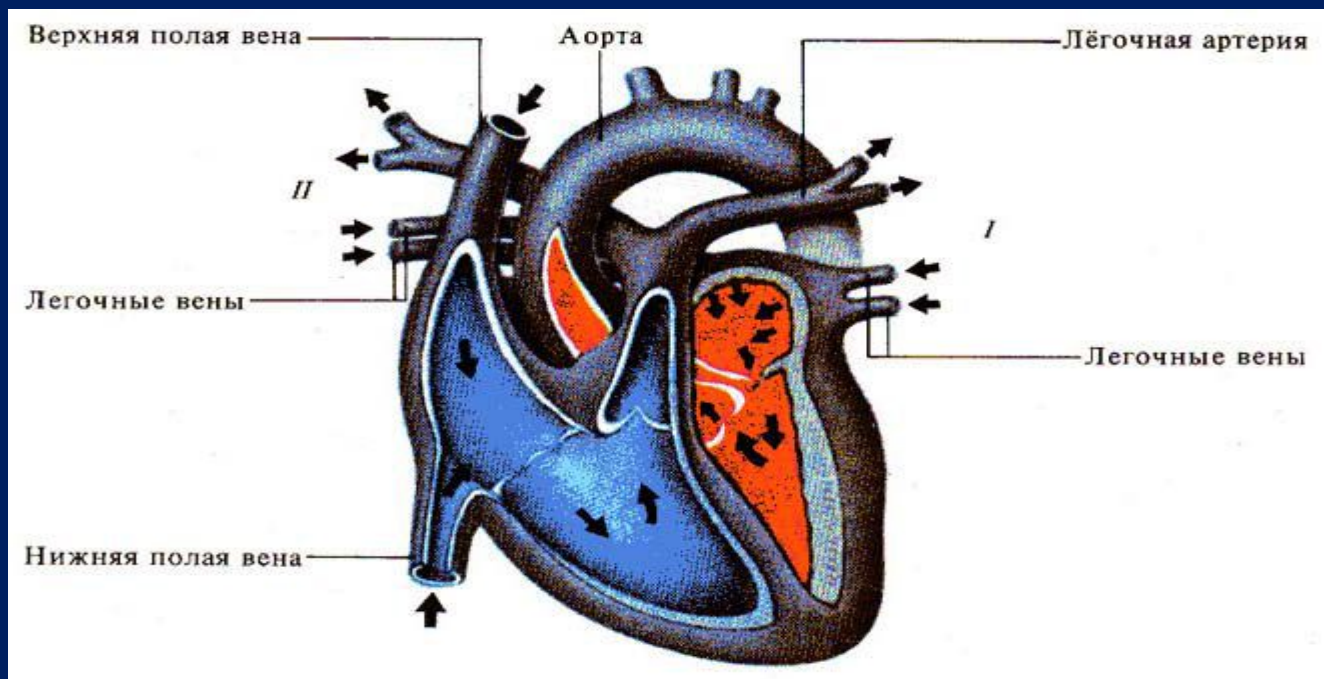
# Компоненты системы кровообращения

Основное значение имеет работа сердца как насоса.

К вспомогательным факторам относятся:

- разность давления в ССС;
- наличие клапанного аппарата в сердце и венах, что препятствует обратному току крови;
- замкнутость системы кровообращения;
- превращение пульсирующего выброса крови из сердца в непрерывный кровоток благодаря эластичности сосудистой стенки, особенно крупных артерий;
- сила тяжести крови;
- облегчение венозного возврата крови к сердцу из-за наличия отрицательного внутриплеврального давления;
- облегчения проталкивания крови по сосудам за счет сокращения скелетных мышц.

**Большой круг кровообращения.** Начинается от **Малый круг кровообращения.** Начинается от левых предсердия и желудочка сердца; правых предсердия и желудочка сердца; включает в себя аорту и все ее сосудистые ветви, в себя легочную артерию и все ее ветви, артериолы, капилляры, венулы, вены и артериолы, капилляры, венулы и вены легких, заканчиваются двумя полыми венами, впадающими в левое предсердие.



# Структурные особенности мышцы сердца:

- 1) неодинаковая толщина миокарда в разных отделах сердца – в предсердиях она меньше, чем в желудочках, в правом желудочке меньше, чем в левом;
- 2) обособленность мышц предсердий от мышц желудочков;
- 3) существование общих мышечных пластов в обоих предсердиях и в обоих желудочках;
- 4) наличие сфинктерообразных пучков мышечных волокон в области венозных устьев в предсердиях;
- 5) наличие двух морфофункциональных типов мышечных волокон.

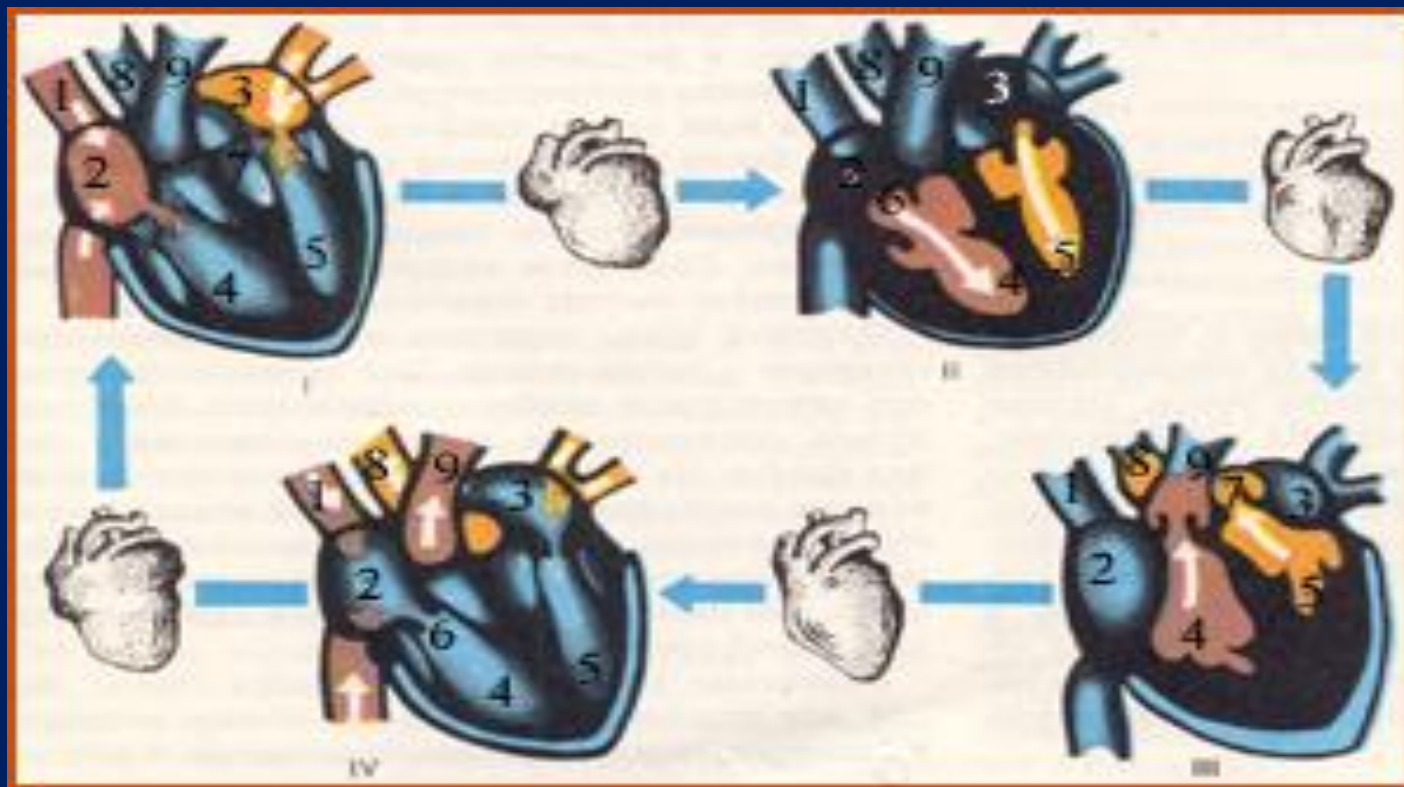
*Относительные размеры сердца* (в процентах к массе тела) у крупных и мелких животных одного класса примерно одинакова (у млекопитающих в среднем 0,5 – 0,6 %), несмотря на различную интенсивность метаболизма и разную потребность в кислороде.

# **Сердечный цикл**

Сокращение миокарда называется **систолой**, а расслабление – **диастолой**.

**Сердечный цикл** – это совокупность электрических, механических и биохимических процессов, происходящих в сердце в течение одного полного сокращения и расслабления, зависит от ЧСС в минуту.

Длительность систолы желудочков составляет 0,3 с. При этом кровь из левого желудочка выталкивается в аорту, из правого желудочка кровь поступает в легочную артерию. После систолы желудочков закрываются полулунные клапаны и наступает фаза расслабления сердечной мышцы (0,4 с). Весь сердечный цикл занимает 0,8 с.



# Свойства сердечной мышцы

## Основные свойства миокарда :

- автоматия,
- возбудимость,
- проводимость,
- сократимость,
- рефрактерность.



# ***Автоматия сердца***

его способность ритмически сокращаться без каких-либо внешних побуждений, под влиянием импульсов, возникающих в нем самом

## **Проводящая система**

В каждой группе клеток, задающих ритм автоматии, так называемых пейсмекеров (водители ритма), заложены не только регуляторы частоты, но целая программа частотных сокращений.

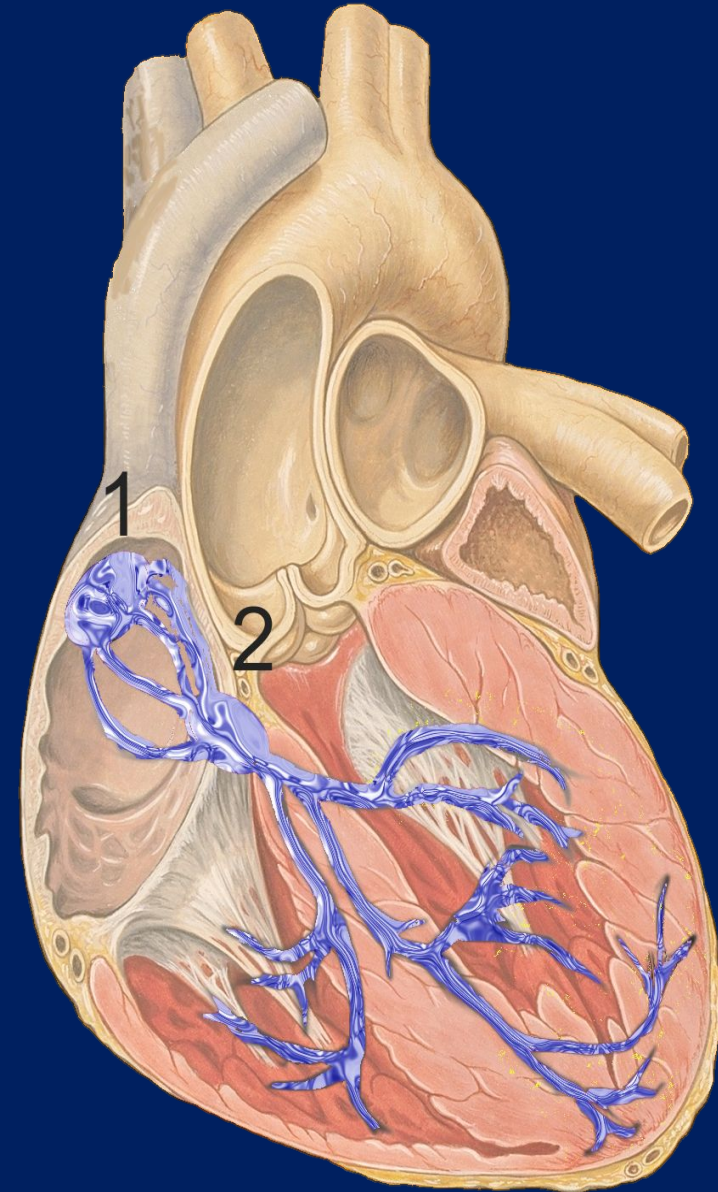
# Проводящая система сердца

## 1. Пейсмекер первого порядка

Синоатриальный узел  
(синусно-предсердный, узел  
Кис-Флека) в области устья  
полых вен

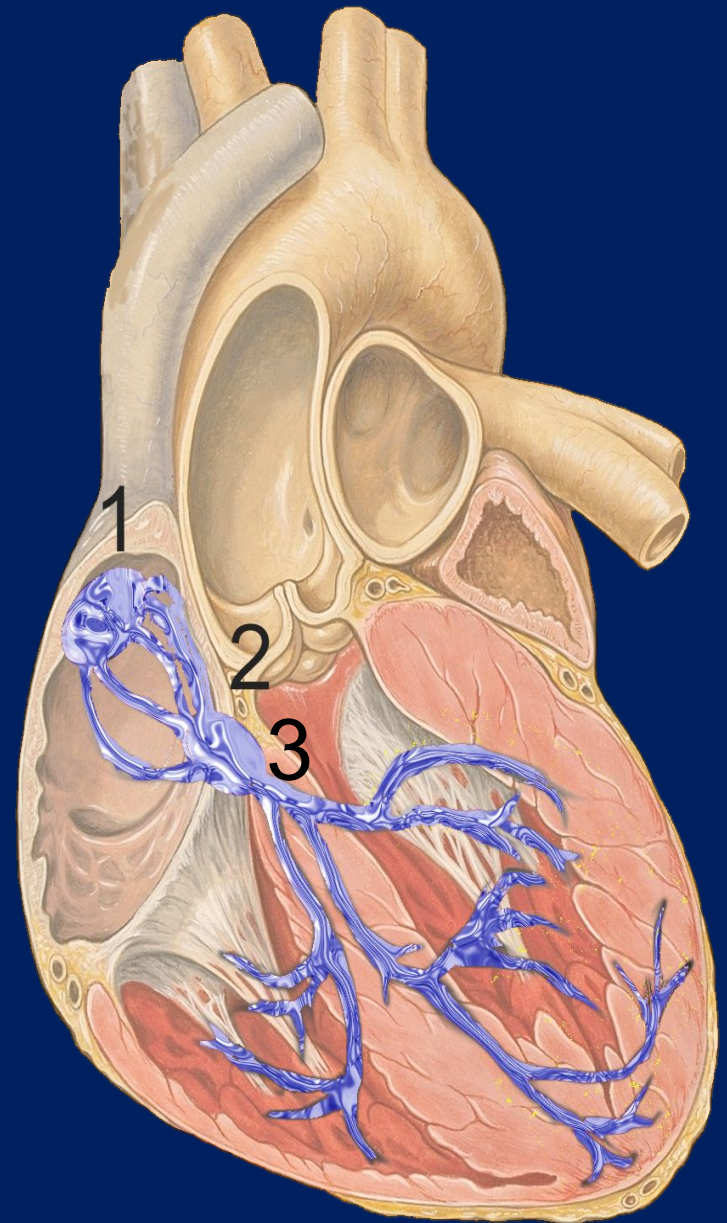
## 2. Пейсмекер второго порядка

Атриовентрикулярный узел  
(Ашофф-Тавара) расположен в  
правом предсердии, в области  
межпредсердной перегородки



### 3. **Пейсмекеры** третьего порядка

**Пучок Гиса** делится на две ветви - правую и левую ножки пучка Гиса. Конечные разветвления представлены сетью волокон **Пуркинье**, которые через транзиторные клетки соединяются с мышечными волокнами сердца.



# Распространение возбуждения по проводящей системе

- ✓ По мускулатуре предсердий возбуждение распространяется со скоростью около 1 м/сек и доходит до атриовентрикулярного узла.
- ✓ Атриовентрикулярная задержка 0,04-0,05 сек, в течение этой задержки систола предсердий уже заканчивается.
- ✓ По элементам проводящей системы желудочков возбуждение распространяется со скоростью около 0,75 м/сек.

# **Возбудимость**

это свойство сердца переходить в состояние возбуждения под действием, каких-либо раздражителей.

## ***Клетки рабочего кардиомиоцита***

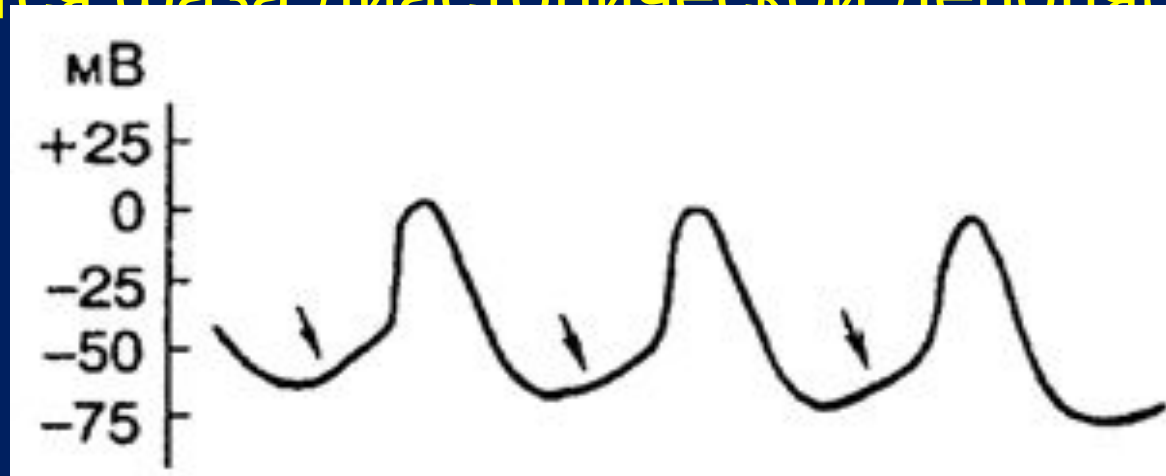
- Мембранный потенциал покоя. Разность потенциалов снаружи и внутри мембраны клеток миокарда составляет 60 – 80 мВ.
- Потенциал действия (0,3 с). Амплитуда потенциала действия составляет около 100 мВ.
- Условную линию, соединяющую в каждый данный момент две точки (два полюса), принято называть электрической осью сердца.

# Пейсмекеры

Потенциал действия развивается в период покоя – спонтанная диастолическая деполяризация.

- ✓ потенциал покоя от – 55 мВ до – 60 мВ (в отличие от рабочих клеток миокарда от – 85 мВ до – 90 мВ);
- ✓ их мембрана обладает повышенной проницаемостью для ионов  $\text{Na}^+$  по сравнению с другими клетками миокарда;
- ✓ не способны поддерживать постоянный потенциал действия;

- ✓ потенциал действия («кардиостимулирующий потенциал») имеет малую крутизну подъема;
- ✓ слабовыраженная стадия реполяризации: фаза медленной реполяризации почти отсутствует, за ней сразу следует фаза быстрой реполяризации, во время которой мембранный потенциал покоя достигает уровня  $-50$  мВ –  $-60$  мВ (вместо  $-85$  мВ –  $-90$  мВ в рабочем миокарде), после чего вновь начинается фаза диастолической деполаризации.



# Проводимость

свойство сердечной мышцы проводить возбуждение

- ✓ Проведение возбуждения в сердце осуществляется электрическим путем.
- ✓ Каждый центр автоматии сердца имеет свой собственный ритм возбуждения. Существует иерархия центров автоматии (закон градиента сердца), т.е. способность к автоматии различных структур проводящей системы сердца уменьшается по мере их удаления от синусно-предсердного узла.



Усвоение ритма – структуры с замедленным ритмом генерации потенциалов усваивают более частый ритм других участков проводящей системы.

Для обеспечения нормальной работы сердца является анатомическая целостность его проводящей системы.

Из всей массы синусно-предсердного узла только несколько клеток, называемых **ИСТИННЫМИ пейсмекерами**, обладают способностью к спонтанной генерации потенциала действия. Остальные клетки относятся к **ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ РОДИТЕЛЯМ РИТМА**

# *Сократимость*

- Сердечная мышца всегда реагирует как единое целое и не обладает зависимостью между силой раздражения и величиной реакции. На подпороговые раздражения сердце вообще не отвечает, при пороговом раздражении происходит полное сокращение миокарда.
- Сила сокращения сердечной мышцы прямо пропорциональна начальной длине мышечных волокон (Э. Старлинг «закон сердца»).

# Рефрактерность

Рефрактерный период клеток миокарда значительно больше, чем рефрактерный период скелетной мышцы (почти в 100 раз)

Возбудимость сердечной мышцы развивается циклически, что выражается законом периодической невозбудимости сердца или рефлексом Мэрея:

- ✓ в систоле отсутствует возбудимость миокарда,
- ✓ в диастоле сердечная возбудимость достигает самых высоких уровней.

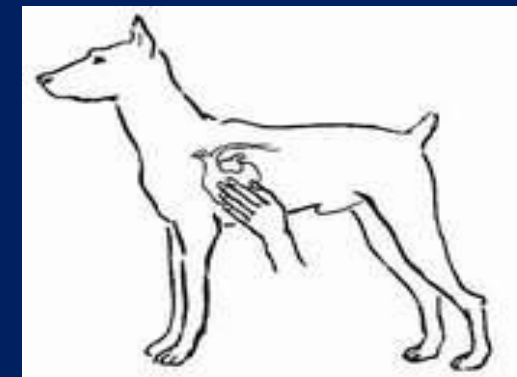
# Тоны сердца

Звуковые явления, которыми сопровождается работа сердца, называют **тонами сердца**.

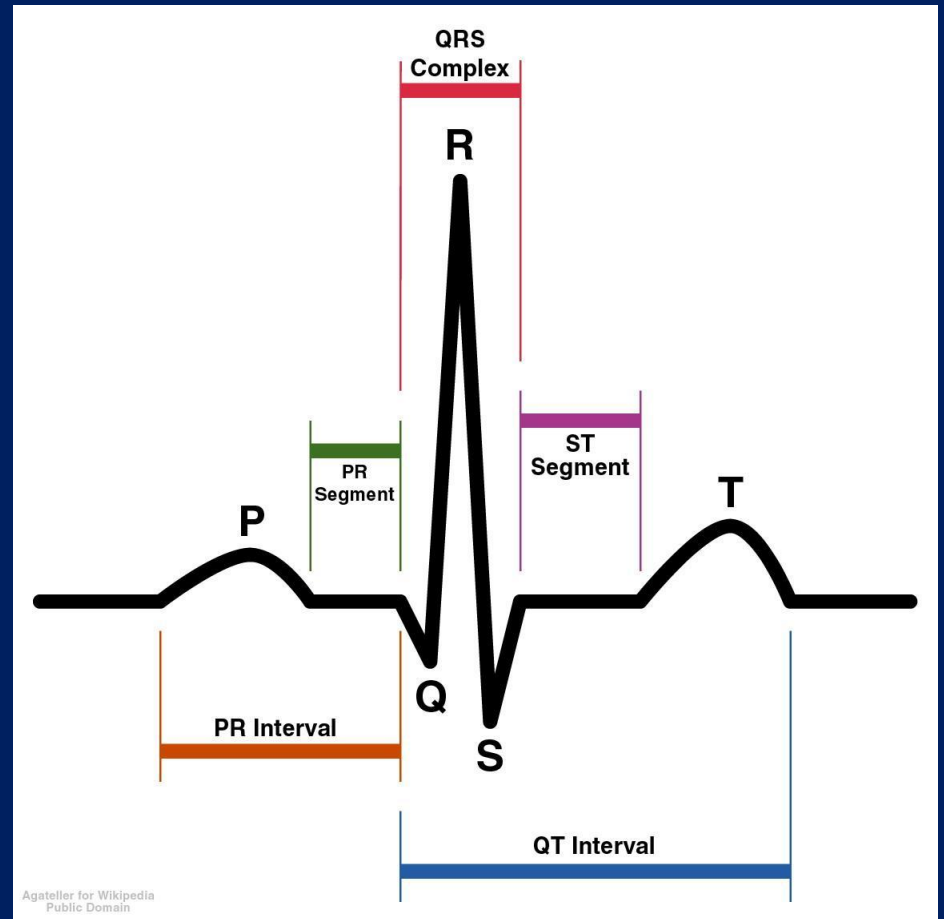
**Первый тон** начало систолы желудочков (систолический) – глухой, протяжный и низкий.

**Второй тон** начало диастолы желудочков (диастолический) – короткий и резкий, напоминающий звук «дук».

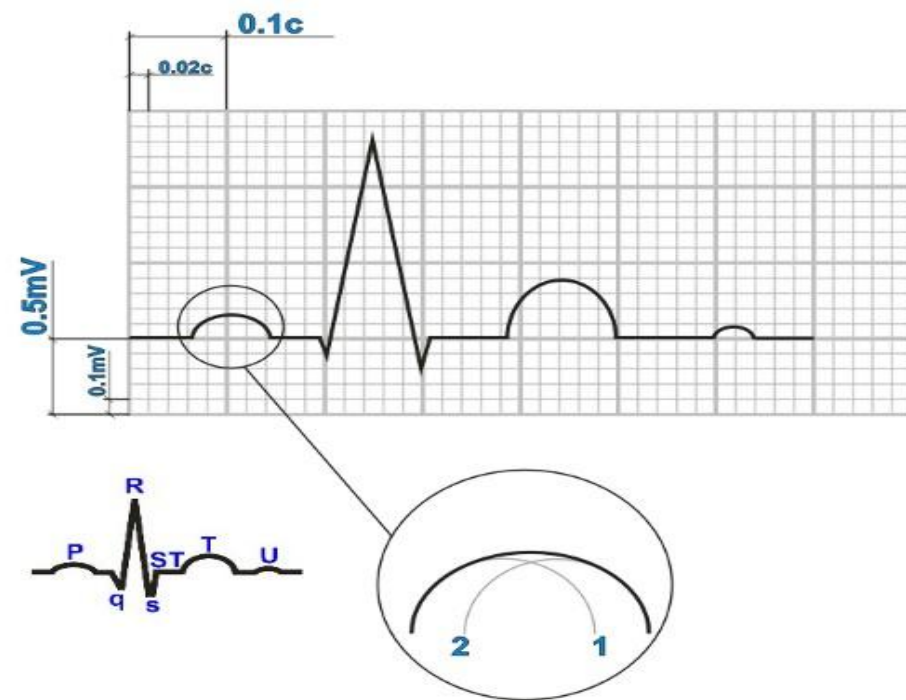
В результате изменения формы сердца (от эллипсовидной до круглой) возникает **сердечный толчок**.



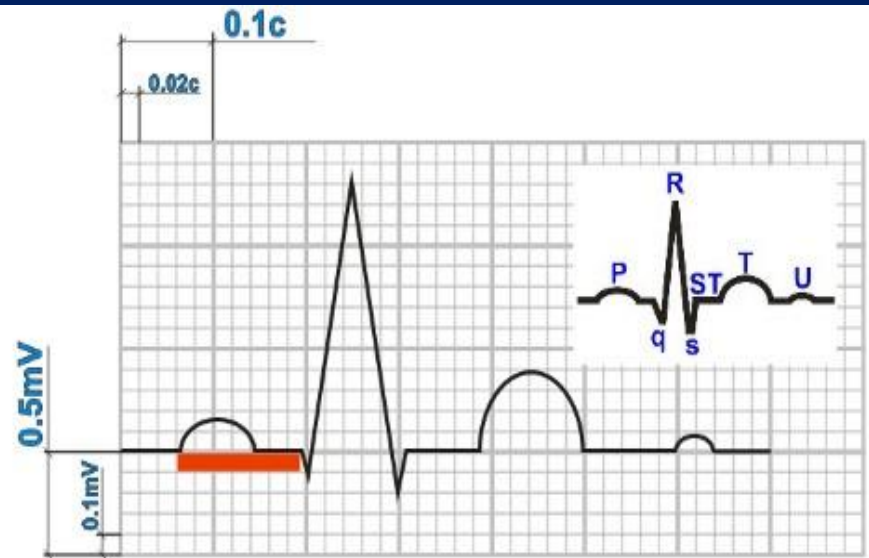
# Электрокардиограмма



**Зубец P – возбуждение  
правого и левого  
предсердий**



**Интервал PQ – время  
проведения  
возбуждения по  
предсердиям к  
желудочкам**

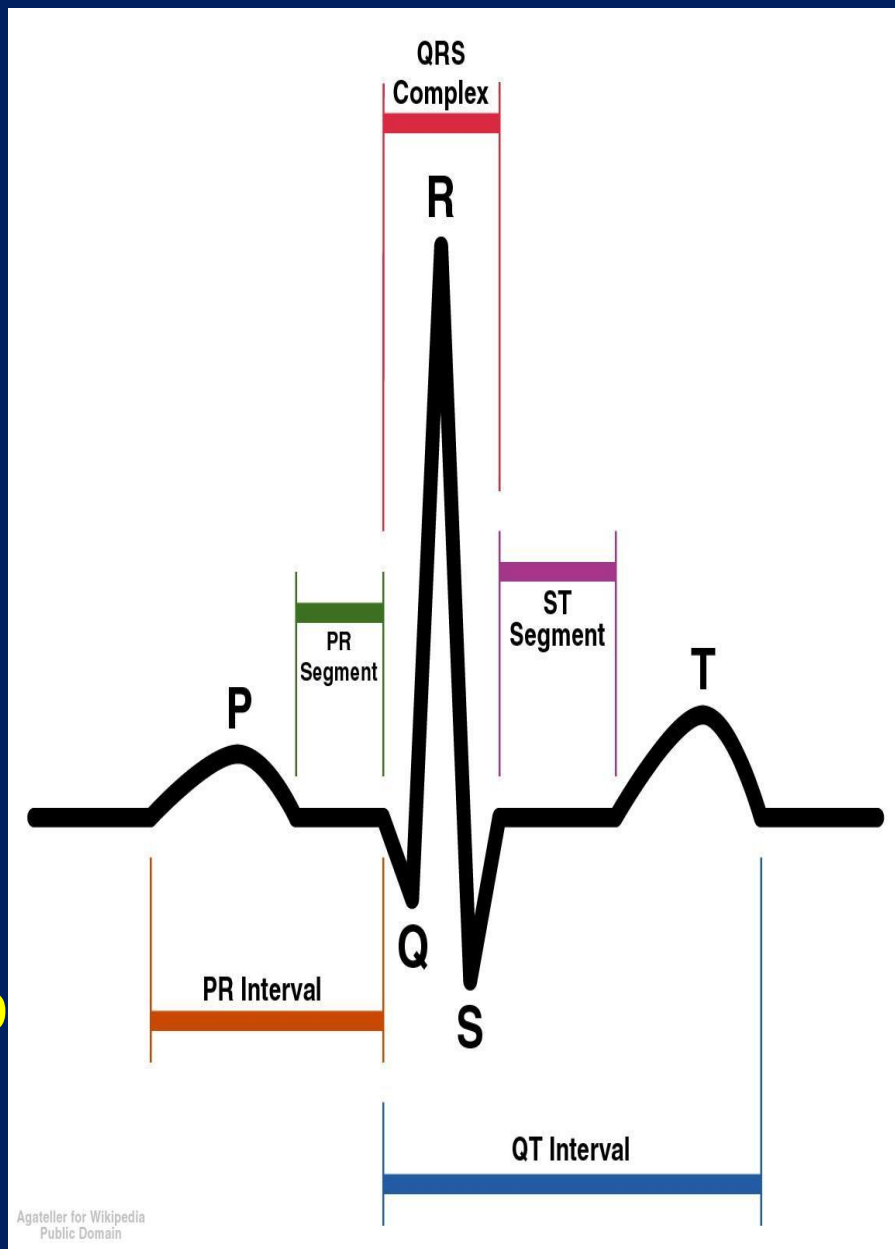


**Комплекс QRS – время возбуждения желудочков сердца**

**зубец Q – возбуждение межжелудочковой перегородки,**

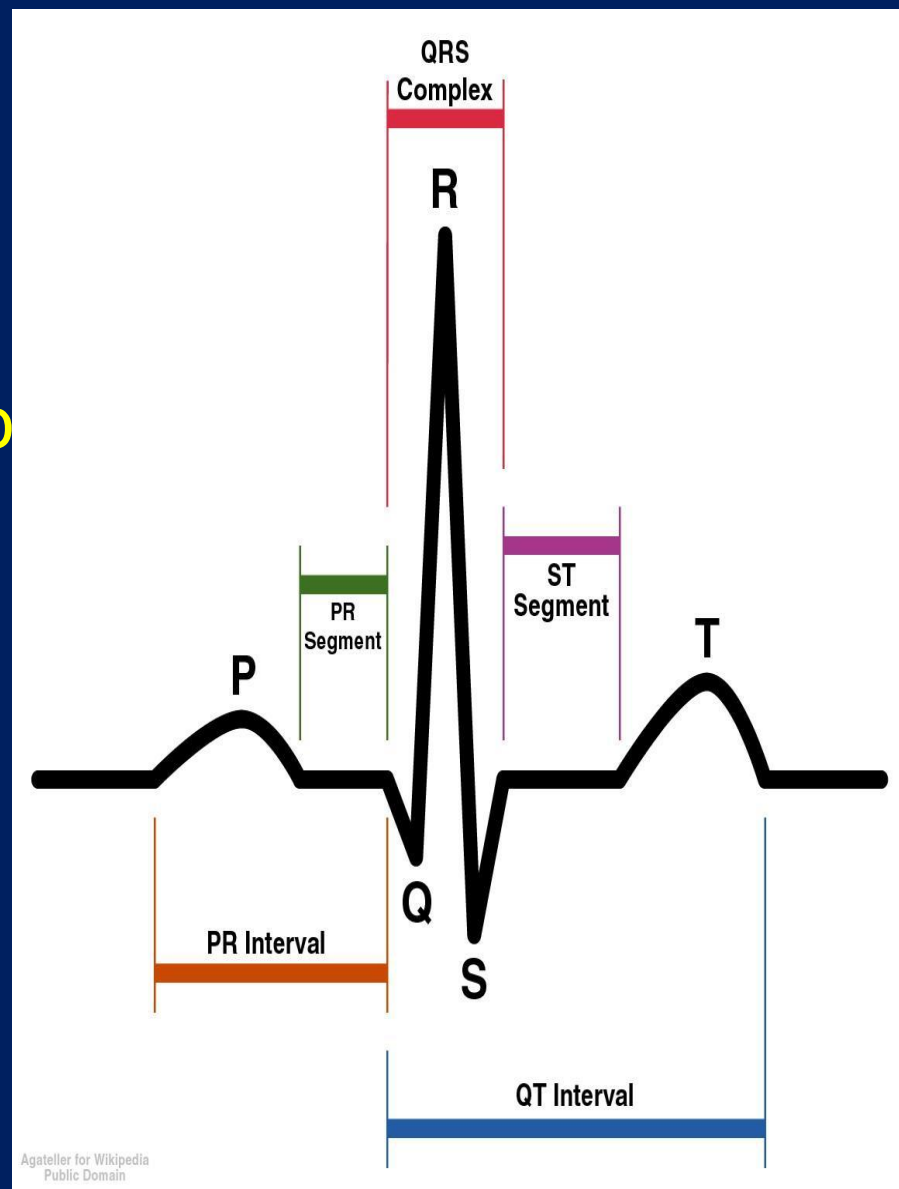
**R – возбуждение желудочков,**

**S – желудочки полностью охвачены возбуждением**



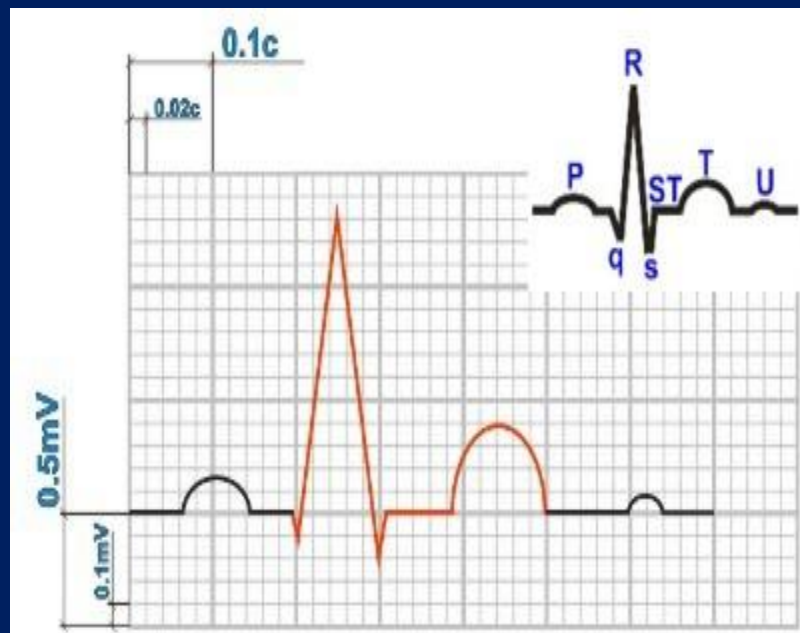
**Сегмент ST – период  
сердечного цикла, когда  
оба желудочка полностью  
охвачены возбуждением**

**Зубец T –  
восстановление  
потенциала миокарда  
желудочков**





# Интервал Q – T – систола желудочков



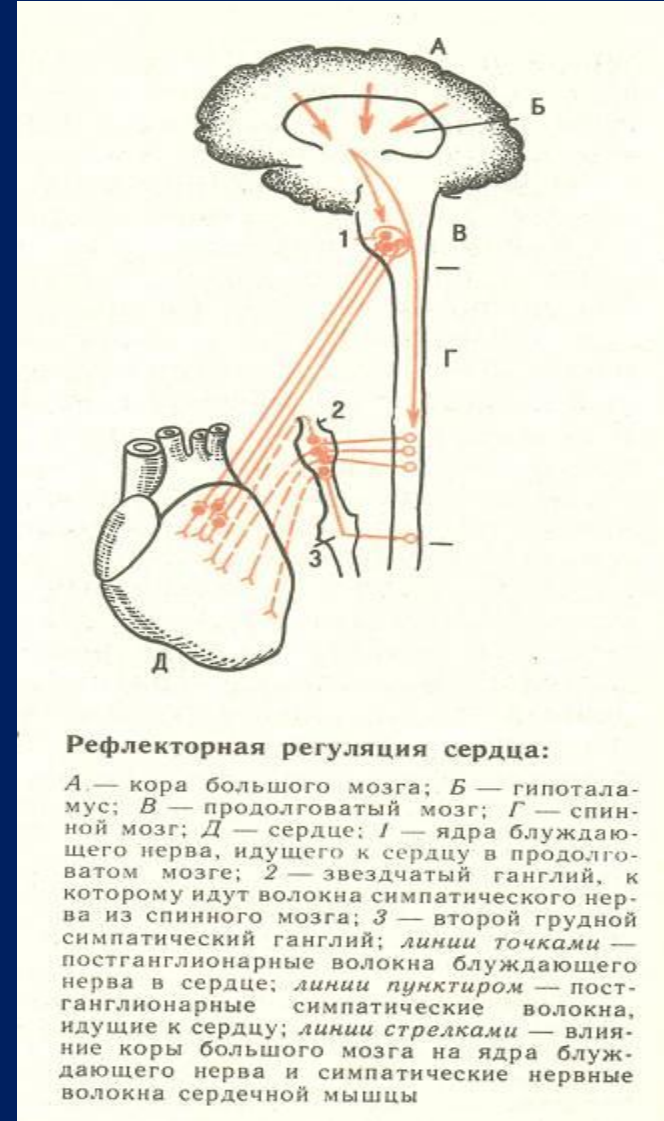


# Нервная и гуморальная регуляция сердечной деятельности

## Нервная регуляция

Центр регуляции деятельности сердца — нейроны продолговатого мозга, гипоталамуса, спинного мозга и других отделов ЦНС, обладает свойством автоматии.

Эфферентные пути от продолговатого мозга по блуждающему нерву и от 1–4-го грудных сегментов спинного мозга по симпатическим нервным волокнам.



**Возбуждение блуждающего нерва (медиатор – ацетилхолин) вызывает:**

- уменьшение силы сердечных сокращений;
- урежение ритма сердечных сокращений;
- понижение возбудимости сердечной мышцы;
- повышение проводимости проводящей системы и миокарда.

**Через симпатические нервы (медиатор – норадреналин) осуществляются:**

- увеличение силы сердечных сокращений;
- учащение ритма сердечных сокращений;
- повышение возбудимости сердечной мышцы;
- повышение проводимости проводящей системы и миокарда.

Собственная нервная регуляция сердца осуществляется метасимпатической нервной системой.

Метасимп. Н.С. осуществляет местные сердечные рефлексy, которые регулируют уровень сердечной деятельности в соответствии с потребностями организма.

# Гуморальная регуляция сердечной деятельности сердца

Адреналин, норадреналин и тироксин усиливают деятельность сердца, а ацетилхолин – ослабляет ее.

Снижение pH, увеличение содержания мочевины и молочной кислоты повышают сердечную деятельность, а избыток  $K^+$  снижает частоту ритма и силу сокращений, т.е. снижает возбудимость и проводимость.

$Ca^{2+}$ , наоборот, улучшают ритм и силу сердечных сокращений. Однако при избытке кальция сердце останавливается в стадии систолы.

# Физические закономерности движения крови по сосудам

**Гемодинамика** — это раздел физиологии кровообращения, использующий законы гидродинамики (науки о физических законах движения жидкости) для исследования механизмов движения крови в сердечно-сосудистой системе.

## Существует два вида тока крови:

- ламинарный (слои перемещаются параллельно основанию кровеносного сосуда, в сосудах большого калибра)



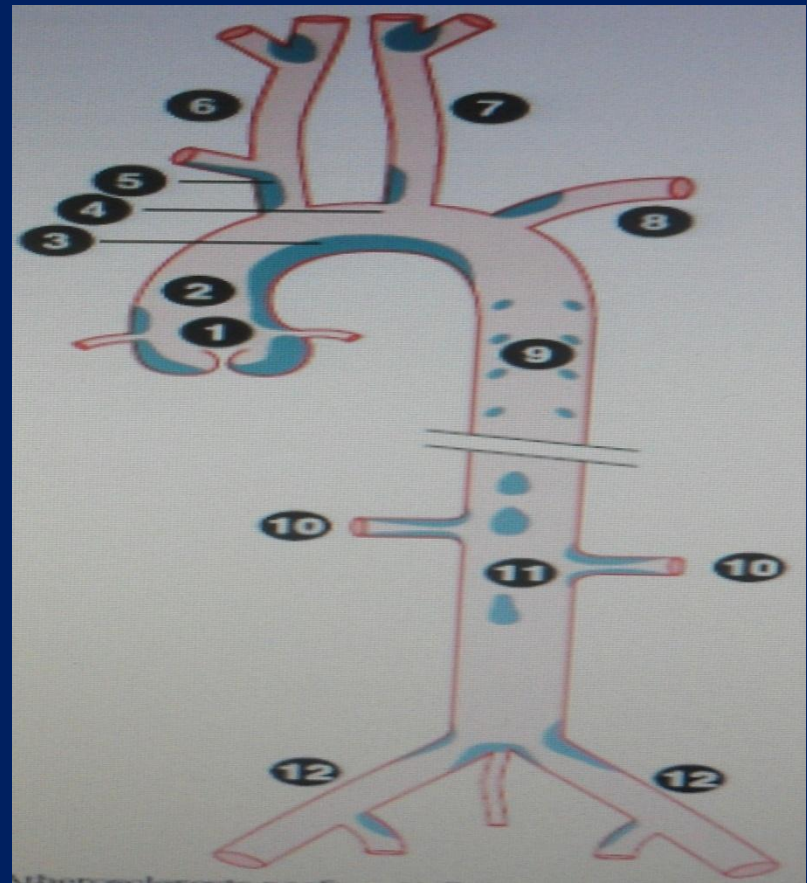
- турбулентный (частицы слоев перемещаются параллельно и перпендикулярно основанию сосуда)



При турбулентном токе крови появляются завихрения.

Турбулентный ток крови наблюдается:

- ✓ в местах бифуркации (раздвоения) сосудов;
- ✓ в местах сужения сосудов;
- ✓ в местах крупных изгибов сосудов;
- ✓ в проксимальном отделе аорты во время систолы желудочков.



1 аортальный синус; 2 восходящая аорта; 3 внутренняя кривизна дуги аорты; 4 внешняя кривизна дуги аорты; 5 безымянная артерия; 6 правая общая сонная артерия; 7 левая общая сонная артерия; 8 левая подключичная артерия; 9 грудная аорта; 10 почечная артерия; 11 брюшная аорта; 12 подвздошная артерия.

Выделяют силы, которые способствуют и препятствуют движению крови.

✓ **Способствующие:** разность давления в сосудистой стенке, максимальный перепад давления – 100 мм рт. ст. – в большом круге кровообращения на уровне артериол и капилляров.

✓ **Препятствующие:** периферическое гидродинамическое сопротивление сосудистой стенки движению крови, которое зависит от размера сосуда, вязкости крови, длины сосуда.

У человека среднего возраста при каждом сокращении сердца в сосудистую систему выталкивается 60 – 70 мл крови (систолический объем) или 4 – 5 л/ мин (минутный объем).

**К основным показателям физических закономерностей кровотока относятся:**

- ✓ **объемная скорость кровотока;**
- ✓ **линейная скорость кровотока;**
- ✓ **время кровооборота.**

**Объемная скорость кровотока**  
объем крови, протекающей через общую  
площадь сечения сосудов одного диаметра в  
единицу времени (определяется в л/мин)

Объемная скорость кровотока (Q) зависит от  
разности давлений в начале и конце трубки (P1 –  
P2), гидродинамического сопротивления в  
каждой трубке (R), длины (L) и радиуса (r) трубки,  
а также от вязкости крови –  $\eta$ :

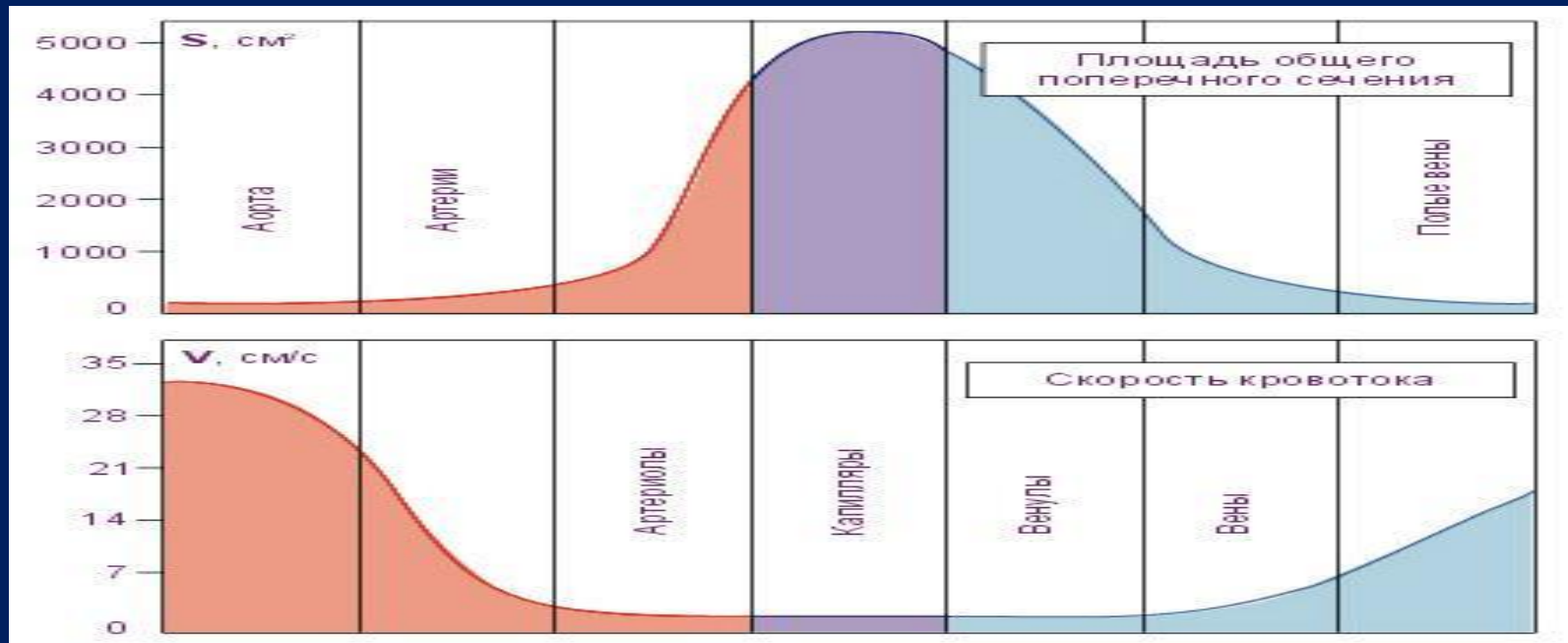
$$Q = (P1 - P2) / R, \text{ тогда как } R = 8L\eta / \pi r^4$$

# Линейная скорость кровотока

скорость перемещения отдельных частиц и слоев крови в сосудах (измеряется в м/сек)

Прямопропорциональна объемной скорости кровотока (Q) и обратнопропорциональна площади поперечного сечения сосуда (S):

$$V = Q/S$$



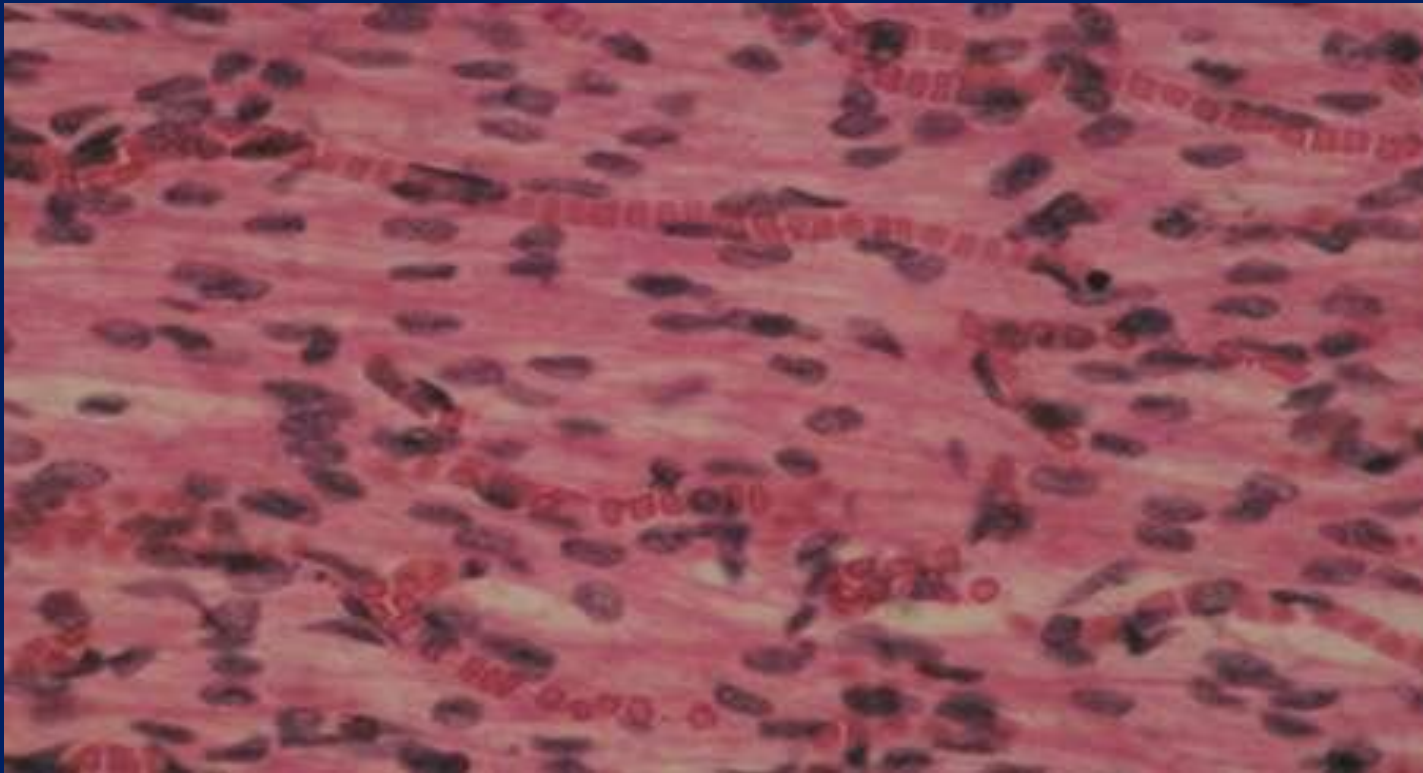
# Время кровооборота

время, в течении которого частица крови проходит по большому и малому кругам кровообращения (в норме 21 – 23 с)

На время кровооборота влияют периферическое сопротивление и нарушение сердечной деятельности (определяется методом введения рентгенконтрастных веществ).

# Вязкость

**Гемодинамический парадокс** при протекании крови через капилляры малого диаметра вязкость крови уменьшается, и чем меньше диаметр капилляра, тем ниже и вязкость крови.



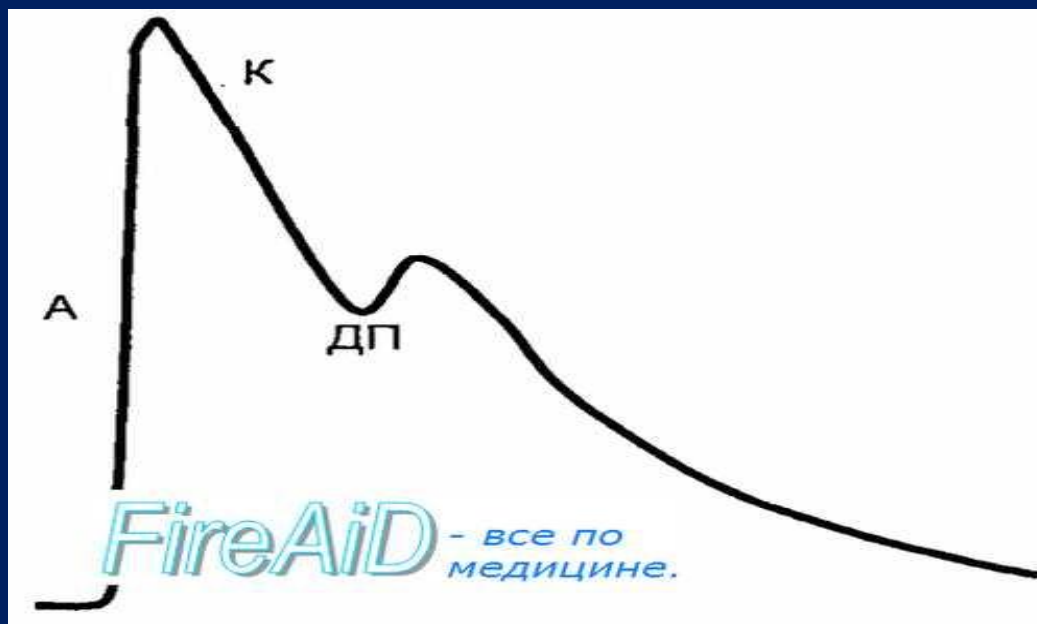


# Артериальный пульс

ритмические колебания артериальных стенок при сокращении желудочков вызванные систолическим повышением давления в артериях

Пульсация артерий: у лошадей – наружная подчелюстная, у коров – лицевая, у мелких животных – к бедренная и пальцевая артерии, у КРС и лошадей – хвостовая артерия.

Пульсовая кривая характеризуется двумя основными коленами: подъемом кривой (анакрота) и ее спуском (катакрота). Дикротический подъем – обратный ток крови по крупным артериям назад к левому желудочку, но полулунный клапан аорты в этот момент уже закрыт, при этом кровь отражается от него, вызывая вторичное растяжение сосудистой стенки.



# 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.

На флебограмме отмечают три зубца:

1 – систола предсердий, 2 – толчок сонной артерии, лежащей рядом с яремной веной, 3 – расширение стенки вены.

# Давление крови

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 колебания давления) называется пульсовым давлением.

# Регуляция кровообращения

Артерии и артериолы имеют сосудосуживающие нервные волокна — вазоконстрикторы (симпатическая нервная система), и сосудорасширяющие — вазодилататоры (парасимпатическая нервная система).

*Сосудодвигательные центры* расположены в продолговатом мозге на дне IV мозгового желудочка. Центр имеет два отдела: прессорный (сужение артерий и подъем кровяного давления) и депрессорный (расширение артерий и соответственное падения давления).

Прессобарорецепторы расположены в дуге аорты и в области разветвления сонной артерии на внутреннюю и наружную (каротидный синус). Места расположения прессорецепторов – сосудистые рефлексогенные зоны.

Раздражение депрессорного нерва вызывает рефлекторное повышение тонуса центра блуждающего нерва.

Хеморецепторы расположены в восходящей части аорты (аортальное тельце) и в сонных артериях (каротидное тельце), а также в сосудах сердца, селезенке, надпочечников, почек. Раздражение хеморецепторов передается сосудодвигательному центру – быстро суживаются сосуды, повышается кровяное давление и возбуждается центр дыхания.

Гормоны надпочечников адреналин и норадреналин, гормон задней доли гипофиза (АДГ) вызывают сужение артерий и артериол органов брюшной полости и легких. Серотонин обладает сосудосуживающим действием. В почках вырабатывается сосудосуживающее вещество – ренин.

Способностью расширять сосуды обладают: гистамин, ацетилхолин, простагландины, АТФ, брадикинин.

# Лимфатическая система

**Лимфой** называется жидкость, содержащаяся у позвоночных животных и человека в лимфатических капиллярах и сосудах.

Удельный вес в среднем равен 1016, реакция щелочная, рН – 9.

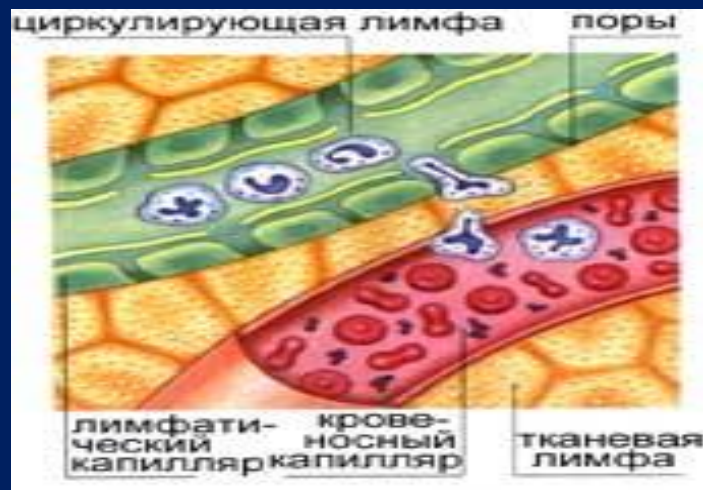
В лимфе содержатся белки, небелковые азотистые вещества, глюкоза, соли, гормоны, ферменты, витамины и антитела. Отличие состава лимфы от плазмы крови – более низкое содержание белка.

Различают периферическую и центральную (взятую из грудного протока) лимфу. Периферическая лимфа гораздо беднее клеточными элементами.



## Основные функции лимфатической системы :

- ✓ возвращение белка в кровь из тканевых пространств;
- ✓ участие в перераспределении жидкости в теле;
- ✓ в защитных реакциях как путем удаления и уничтожения различных бактерий, так и участием в иммунных реакциях;
- ✓ участие в транспорте питательных веществ, особенно жиров.



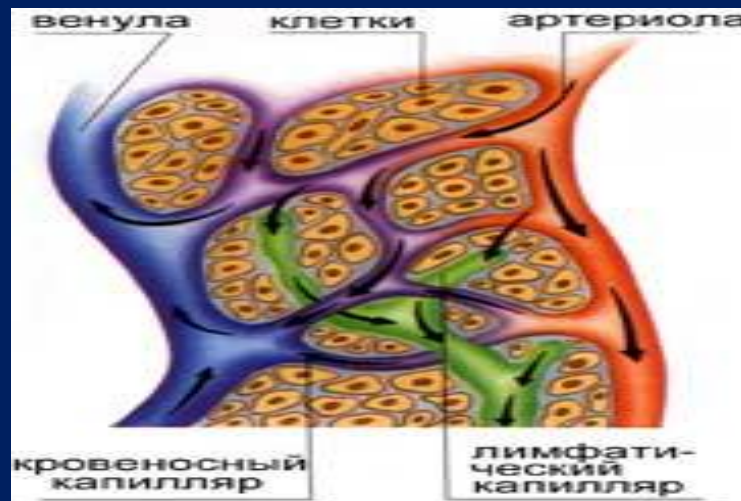
# Роль лимфатических узлов

Функция малых лимфоцитов – организация специфической защиты организма (иммунной реакции) от чужеродных агентов – антигенов.

# Механизм образования и движения лимфы

В 50-х годах К. Людвиг фильтрационная теория образования тканевой жидкости и лимфы. Лимфообразование происходит в результате разницы гидростатического давления в кровеносных капиллярах и тканевой жидкости.

Э. Старлинг. Кроме разницы гидростатического давления важную роль играет разница онкотического давления в крови и тканях.



Повышение лимфообразование происходит под действием некоторых лимфогенных веществ (пептоны, гистамин, экстракты из пиявок).

В сложной системе регуляции в системе лимфообразования и лимфообращения большую роль играют циркадные ритмы активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, определяющие уровень циркулирующих биогенных аминов.

Движение лимфы осуществляется за счет работы лимфангиомов, представляющие собой цепочки лимфатических сосудов и подчиненных адренергическому возбуждающему влиянию.

