

**ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный  
медицинский университет» Минздрава РФ**

# **ФИЗИОЛОГИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ**

**Лектор: зав. каф. нормальной физиологии,  
д.м.н., профессор Цатурян Л.Д.**

**Ставрополь, 2020**

# Вопросы лекции

1. Функциональная классификация кровеносных сосудов (упругорастяжимые, резистивные, обменные, емкостные, шунтирующие).
2. Основные законы гидродинамики и их использование для объяснения физиологических функций и закономерностей движения крови по сосудам.
3. Нервная, гуморальная и миогенная регуляция тонуса сосудов. Понятия о базальном тонусе сосуда, об авторегуляции сосудистого тонуса. Сосудодвигательный центр (прессорный и депрессорный отделы). Периферические и центральные влияния на активность нейронов сосудодвигательного центра.
4. Микроциркуляция и её роль в механизмах обмена.
5. Понятия систолического, диастолического, пульсового и среднего артериального давления. Факторы, определяющие величину АД. Функциональная система, поддерживающая нормальный уровень артериального давления.

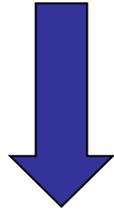


**Гемодинамика** – раздел физиологии кровообращения, использующий законы гидродинамики (физические явления движения жидкости в замкнутых сосудах) для исследования причин, условий и механизмов движения крови в сердечно-сосудистой системе.

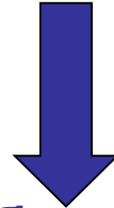
# Функциональная классификация кровеносных сосудов

- 1. Упруго-растяжимые (амортизирующие):** аорта, легочная артерия и их крупные ветви (эластического типа). Основная функция – поддержание движущей силы кровотока в диастолу желудочков сердца и уменьшение колебания давления между систолой и диастолой за счёт эластических свойств;
- 2. Резистивные (сосуды сопротивления):** артерии мышечного типа - артериолы, прекапилляры (сфинктеры) обеспечивают перераспределение объемного кровотока;
- 3. Обменные:** капилляры, обеспечивают обмен между кровью и тканевой жидкостью;
- 4. Шунтирующие (артерио-венозные анастомозы)** сосуды обеспечивающие сброс крови из артерий в вены, минуя капилляры;
- 5. Емкостные (аккумулирующие):** вены, мелкие вены, венозные сплетения обладают высокой растяжимостью, их общая емкость содержит 50 % всего объема крови.

# Типы кровотока в сосудах



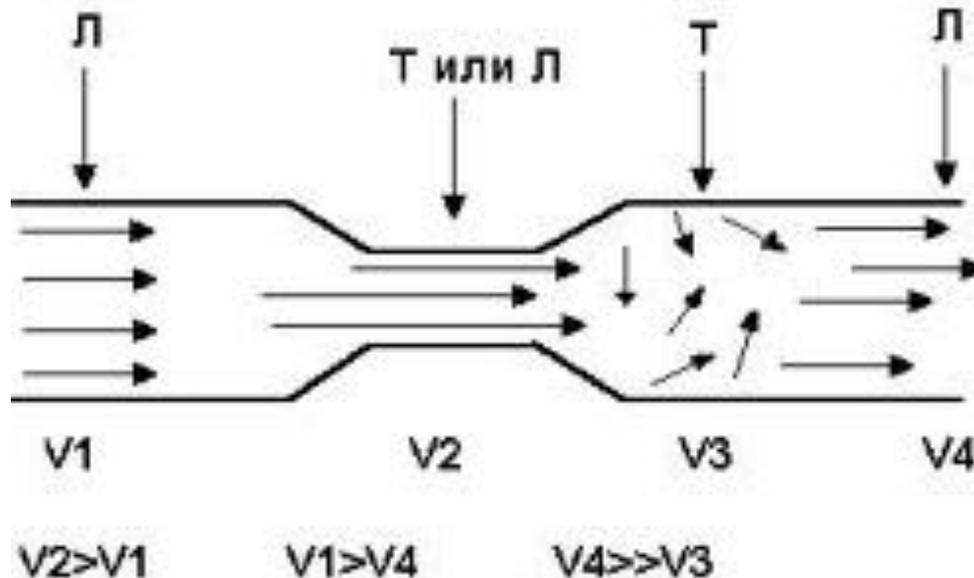
Ламинарный  
слоистый



Турбулентный

в проксимальных  
отделах аорты,  
легочного ствола  
в систолу, при сужении  
и расширении  
артерий, при  
снижении вязкости  
крови

Л-ламинарный поток, Т-турбулентный поток



# Основные показатели и закономерности гемодинамики

1. **P – давление** (между проксимальным и дистальным концом трубки – основная движущая сила кровотока)
2. **R – сопротивление** (препятствует движению крови в кровеносной системе)
3. **Поперечное сечение сосудов**
4. **Q – объемная скорость кровотока**
5. **V – линейная скорость кровотока**

# Основные показатели и закономерности гемодинамики

**Сопротивление (R) – препятствует движению крови в кровеносной системе.**

- Аорта, крупные артерии и их ветви – 20%
- Мелкие артерии (диаметр менее 100 мкм) и артериолы – 50%
- Капилляры 25%
- Веноулы и вены – менее 1%

# Сопrotивление (R)



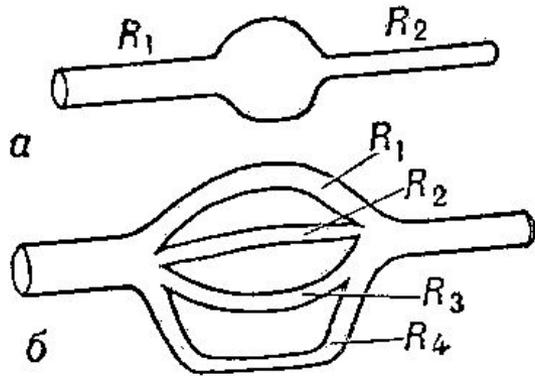
1799–1869)

Используя формулу Ж. Пуазейля, можно определить сопротивление току жидкости (R), зависящее от вязкости ( $\nu$ ), длины сосуда (L) и радиуса сосуда (r)

$$R = \frac{8\nu L}{\pi r^4}$$

**NB! Формула Пуазейля объясняет факторы от которых зависит R. Сопротивление тем выше, чем выше вязкость и длина сосуда, чем меньше радиус сосуда, тем больше сопротивление**  
**Артериолы называют «кранами» сосудистой системы.**

# Давление (P)



$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

где,  
 $P_1$  и  $P_2$  — давление в начале и в конце трубки  
 $R$  — сопротивление току жидкости,  
 $Q$  — количество жидкости, протекающей через трубку (объемная скорость кровотока).

Уравнение применительно к сосудистой системе



где,

$P$  — величина среднего давления в аорте,  
 $R$  — величина сосудистого сопротивления.  
 $Q$  — количество крови, изгнанное сердцем в минуту.

$$Q = \frac{P}{R}$$

**Давление (P)** в устье аорты прямо пропорционально объему крови, выбрасываемому сердцем в артерии в минуту ( $Q$ ) и величине периферического сопротивления ( $R$ ).



$$P = Q \cdot R$$

## Поперечное сечение сосудов (параметр гемодинамики)

Показатель	Аорта	Капилляры	Полые вены
Суммарное поперечное сечение (см <sup>2</sup> )	3-4 <b>min</b>	2500-3000 <b>max</b>	6-8
Линейная скорость (см/с)	20-25	0,03-0,05	10-15
Давление (мм рт ст)	120 сист. 80 диаст	30-15	6-0

# Объёмная скорость кровотока (Q)

характеризует количество крови (в миллиметрах), протекающее через поперечное сечение сосуда за единицу времени (1 мин).

На 100 г ткани объем кровотока равен:  
в мозге – 55 мл/мин, в сердце – 80,  
в печени – 85, в почках – 400,  
в скелетных мышцах – 3 мл/мин.

$$Q = \frac{P}{R}$$

Распределение общего объема крови

Отдел	Объем крови (%)
Сердце в покое	7
Большой круг кровообращения:	
-артерии	14
-капилляры	6
-вены	64
Малый круг кровообращения	9

## Объем крови

Объем крови, протекающий через поперечное сечение в любом участке большого и малого круга одинаков, если эта закономерность нарушается – развиваются нарушения кровоснабжения.

**Линейная скорость движения крови (V)** характеризует скорость перемещения ее частиц вдоль сосуда при ламинарном потоке.

$$V = \frac{Q}{\pi r^2}$$

Она выражается в сантиметрах в секунду и определяется как отношение объемной скорости кровотока Q к площади поперечного сечения сосуда  $\pi r^2$ :

# Изменения линейной скорости кровотока по ходу сосудистой системы

- в аорте = 50-70 см/с
- в артериях = 20-40 см/с
- в артериолах = 0,5 см/с
- в капиллярах = 0,05 см/с
- в венах = 7-20 см/сек.

**V** кругооборота крови – время в течении которого частица крови пройдет большой и малый круг кровообращения = 20-25 сек.

# Гидродинамические характеристики сосудистого русла

- Артериальное русло – высокое давление и сравнительно небольшой объем крови
- Венозное русло – низкое давление и большой объем крови

# Роль эластических артерий

1. Уменьшают нагрузку на сердце (энергия сокращения сердца переходит в потенциальную энергию эластической тяги аорты)
2. Обеспечивают непрерывный ток крови
3. Увеличивают емкость сосудов
4. Поддерживают кровяное давление
5. Предотвращают гидравлический удар во время каждой систолы

**NB !!! Кровь движется непрерывно в сосудах за счет эластической тяги аорты и артерий**

**Артериальный пульс (пульсовая волна)** - ритмические колебания стенки артерии, обусловленные повышением давления в период систолы.

**Скорость распространения пульсовой волны не зависит от скорости движения крови.**

Максимальная **линейная скорость течения** крови по артериям не превышает 0,3-0,5 м/с,

Скорость распространений пульсовой волны:

- у людей молодого и среднего возраста в аорте 5,5-8,0 м/с,
- в периферических артериях – 6,0-9,5 м/с.
- С возрастом по мере понижения эластичности сосудов скорость распространения пульсовой волны, особенно в аорте, **увеличивается.**

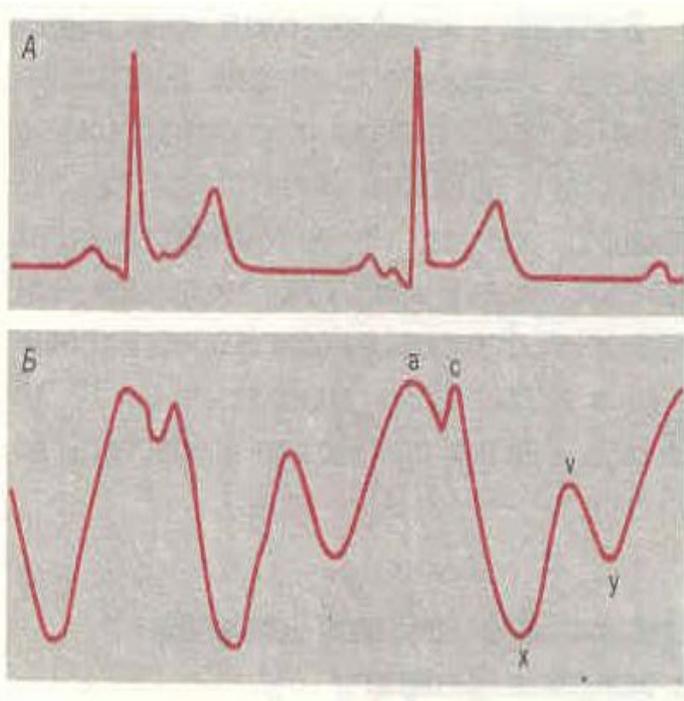
# Сфигмограмма - графическая регистрация пульсовых колебаний



# Факторы, обеспечивающие движение по венам

1. Основная движущая сила – разность давлений в начальном и конечном отделах вен, создаваемая работой сердца
2. Сокращение мышц, сдавливающих вены и венозные клапаны (движение к сердцу)
3. Пульсация артерий, ведущая к сдавлению вен
4. Присасывающее действие отрицательного давления в грудной полости
5. Присасывающее действие сердца
6. Гидростатический фактор в венах, расположенных выше уровня сердца, способствует возврату крови к сердцу, а в венах – ниже сердца он препятствует ему

# Венный пульс (флебограмма)



**a** – систола правого предсердия вызывает замедление оттока крови из вен (от лат. atrium),

**c** – возникает в начале систолы правого желудочка при закрытии трехстворчатого клапана (от лат. sagotis),

**v** – наполнение правого предсердия при закрытом трехстворчатом клапане (от лат. ventriculus).

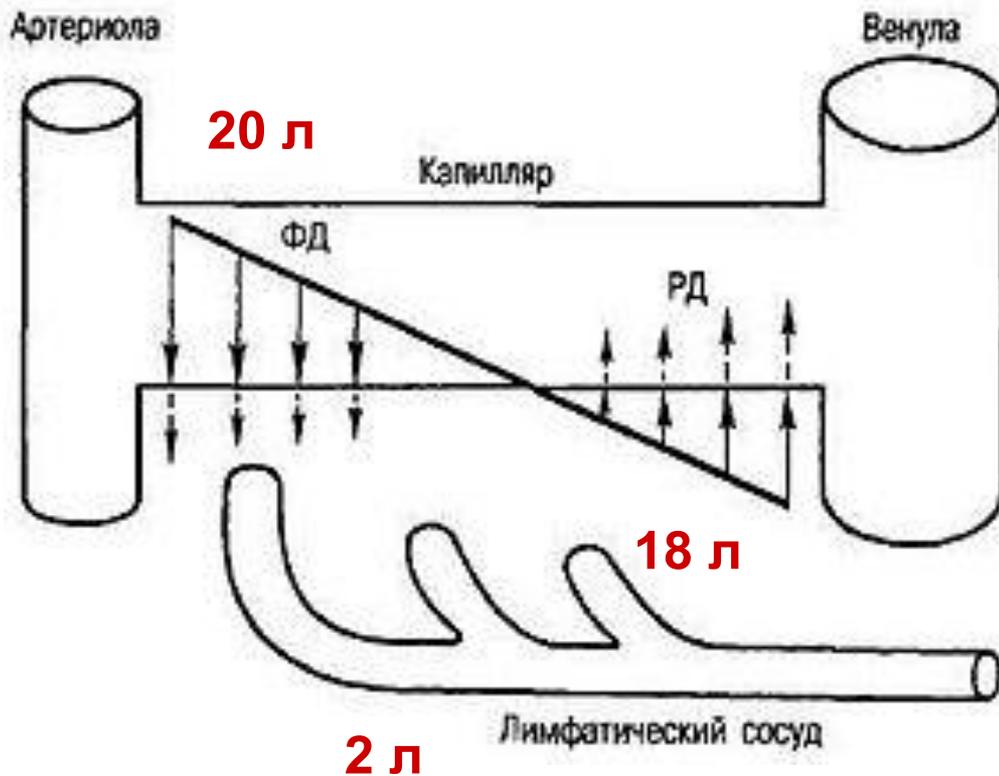
Флебограмма используется при расчетах величины давления крови в малом круге кровообращения

**Микроциркуляция** - движение крови в тканях по сосудам, диаметром менее 200 мкм

## **Общие свойства капилляров**

- Общее количество - 40 миллиардов
- Диаметр - 5-8 мкм, длина 0,5 - 1,1 мм, толщина 7-8 мкм
- Суммарная длина всех капилляров – 100000 км (можно 3 раза опоясать земной шар)
- Скорость кровотока – 0,5-1мм/с
- Каждая частица находится в капилляре 1 с
- Наибольшая площадь поверхности на единицу массы ткани -  $>50 \text{ см}^2/\text{г}$
- Очень малое расстояние между кровью и клетками ткани -  $<50 \text{ мкм}$

# Показатели обмена жидкости



Фильтруется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости

Реабсорбируется в кровь через стенку капилляров из тканей: 18 л/сут

По лимфатическим сосудам оттекает из тканей в кровь: 2 л/сут

# Роль гидростатического давления крови для транскапиллярного обмена

фильтрация жидкости – переход жидкости из капилляров в интерстиций

$P_{\text{фильтр.}}$

A



V

$P_{\text{реаб.}}$

реабсорбция жидкости – переход из интерстиция в капилляры

$$P_{\text{реаб.}} = \text{ОДК} - \text{ГДК} - \text{ОДТк} = 25 - 15 - 5 = 5 \text{ мм рт ст}$$

$$P_{\text{фильтр.}} = \text{ГДК} + \text{ОДТк} - \text{ОДК}, 30 + 5 - 25 = 10 \text{ мм рт ст}$$

**ГДК = 30 мм рт ст**

ОДК = 25 мм рт ст

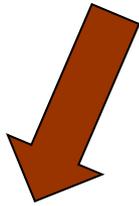
ОДТк = 5-8 мм рт ст

**ГДК = 15 мм рт ст**

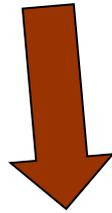
ОДК = 25 мм рт ст

ОДТк = 5-8 мм рт ст

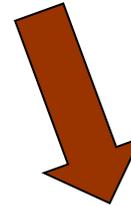
# Механизмы регуляции кровообращения



**Нервные**



**Миогенные**



**Гуморальные**

## **Исторические факты**

- **А. Вальтер (1842) - киевский физиолог - сужение сосудов на плавательной перепонке лягушки**
- **Клод Бернар (1852) - симпатические вазоконстрикторы на ухе кролика**
- **Ф.В.Овсянников (1871) - сосудодвигательный центр продолговатого мозга**
- **Бейлис (1923) - прессорный и депрессорный отделы центра**

# Опыт Клода Бернара

**Перерезка симпатического нерва** – расширение сосудов – покраснение, потепление уха

**Раздражение симпатического нерва на шее** – сужение артериол – побледнение, понижение температуры



# Миогенная регуляция

При увеличении кровяного давления стенки сосудов растягиваются



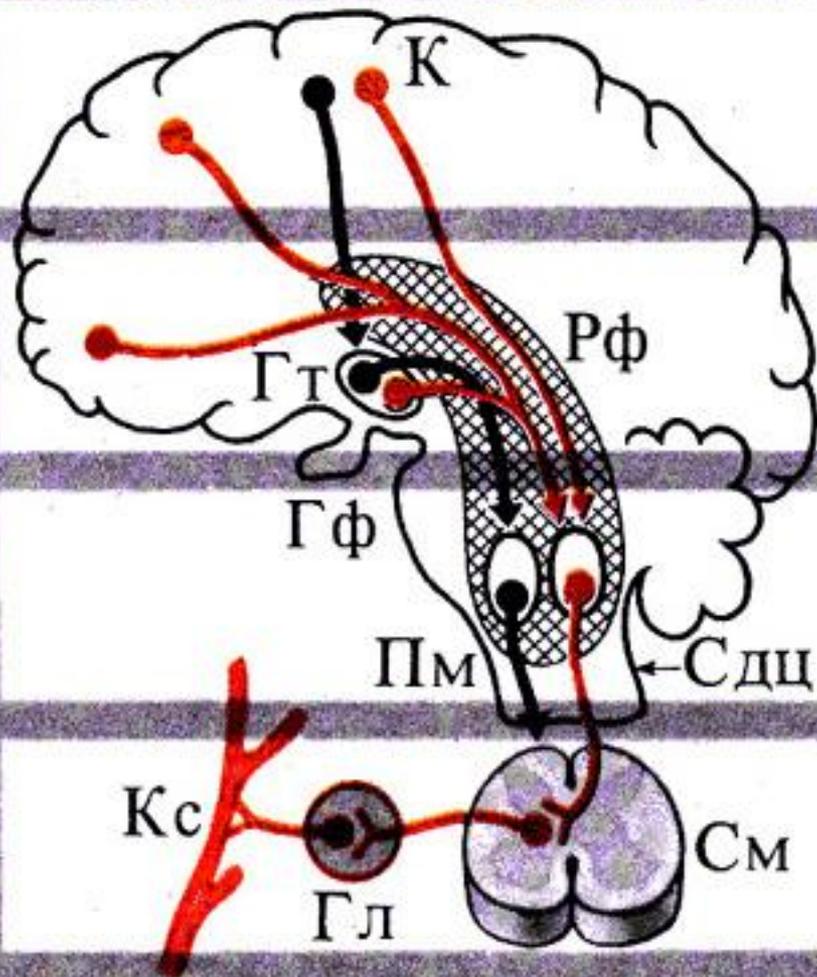
Увеличивается проницаемость для ионов  $\text{Ca}^{2+}$ .  $\text{Ca}^{2+}$  поступает в клетку и обеспечивает увеличение сокращения миоцитов, И уменьшению просвета сосудов и уменьшению кровотока

При уменьшении давления в сосудах их стенки растягиваются меньше



Проницаемость для ионов  $\text{Ca}^{2+}$  уменьшается, сокращение миоцитов ослабевает, сосуды расширяются, увеличивается кровоток

# Компоненты сосудодвигательного центра



Корковое представительство  
сосудодвигательного центра

Центры гипоталамуса  
Передний гипоталамус (депрессорные зоны)      Задний гипоталамус (прессорные зоны)

Бульбарные центры  
(сосудорасширяющий)      (сосудосуживающий)

Центры спинного мозга (боковые рога)

# Регуляция кровообращения

- **Депрессорные** нейроны активируются от рецепторов растяжения (барорецепторы)
- **Прессорные** от афферентной импульсации от хемо- и экстерорецепторов, посылают импульсацию к симпатическим нейронам спинного мозга, иннервирующим сердце и сосуды
- **Прессорный** отдел находится в состоянии тонуса – в симпатических нервах постоянно идут нервные импульсы с частотой 1-3 с 1 сек, а при возбуждении до 15 в сек. (при перерезке симпатических волокон сосуды расширяются, а сердце не изменяется).

# Регуляция кровообращения

- Спинной мозг. Совокупность симпатических нейронов С8-L3 – нейроны регулирующие тонус сосудов
- Гипопаламус. Содержит прессорные и депрессорные зоны, происходит интеграция соматических и вегетативных влияний на организм.
- Кора больших полушарий. Лобная и теменная кора. Чаще прессорные эффекты.

# Главные сосудистые рефлексогенные зоны

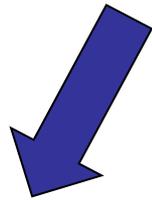
- **Аортальная и синокаротидная зоны** – содержат барорецепторы и хеморецепторы.
- **При снижении АД** - барорецепторы возбуждаются меньше, и влияние блуждающего нерва снижается и **возрастает сила сердечных сокращений.**
- **При повышении АД** - противоположная динамика.  
**При повышении АД до 180 мм рт ст, происходит адаптация барорецепторов**
- Хеморецепторы аортальной и каротидной зон возбуждаются при уменьшении кислорода и увеличении напряжения  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}^+$ , гипоксии, ацидозе – сужение сосудов.

**Артериальное давление  
является одним из ведущих  
параметров гемодинамики**

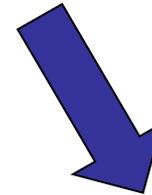
# Факторы, определяющие величину артериального давления

- Работа сердца
- Просвет сосудов
- Объем циркулирующей крови
- Вязкость крови

# Артериальное давление определяется

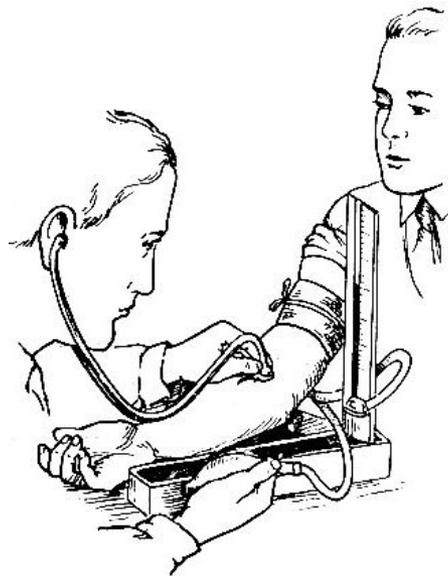


**Прямыми (кровавыми способами)**



**Косвенные (бескровные) способы**

- метод Рива-Роччи
- метод Короткова Н.С.



# **ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)**

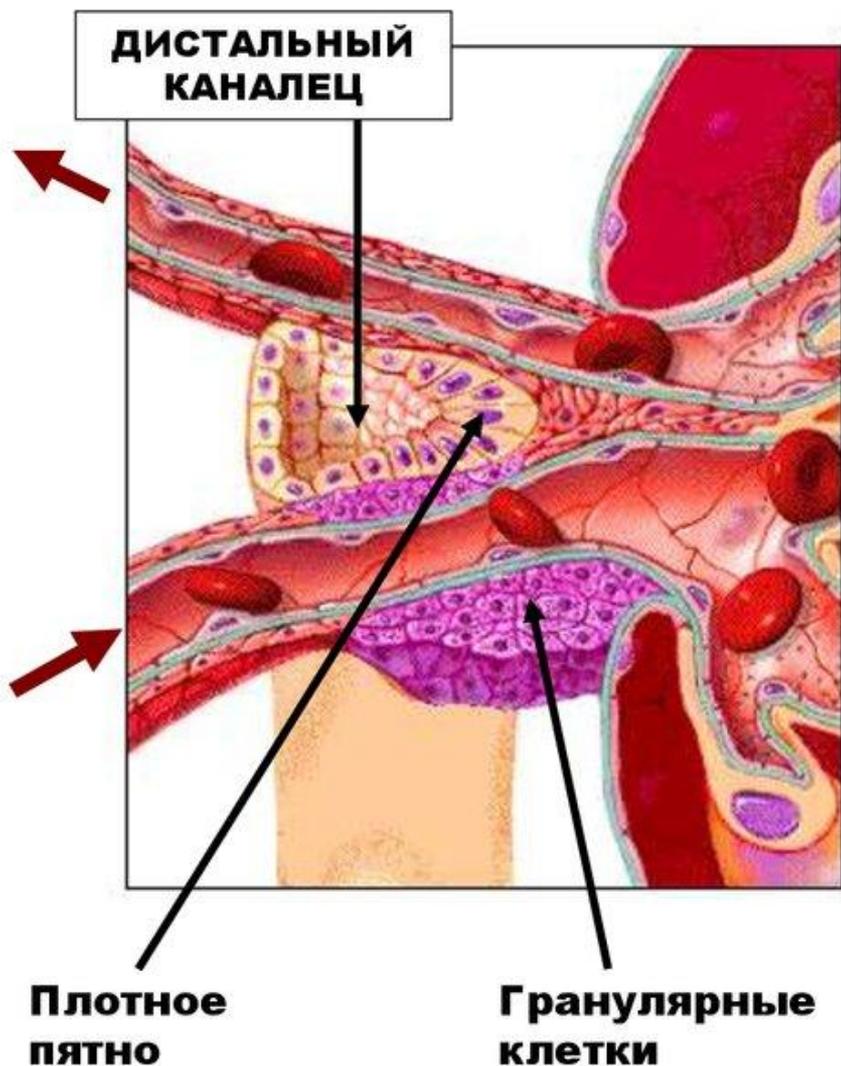
- 1. Систолическое АД (САД) 110-125 мм рт.ст.**
- 2. Диастолическое АД (ДАД) 60-80 мм рт.ст.,**
- 3. Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД 35-50 мм рт.ст**
- 4. Среднее АД ( АД<sub>ср</sub>) = ДАД + 1/3 ПАД 90-95 мм рт.ст.**

# Гуморальное влияние на сосуды

## Сосудосуживающие вещества:

- **Ренин-ангиотензиновая система**

# РЕНИН – АНГИОТЕНЗИНОВАЯ СИСТЕМА



- При снижении АД и уменьшении почечного кровотока клетки ЮГА выделяют **РЕНИН**



- (а) Местное действие – сужение выносящей артериолы, повышение давления в капиллярах клубочка
- (б) Общее действие – сужение сосудов, реабсорбция натрия и воды почками, увеличение системного АД.

## **Сосудосуживающие вещества:**

- **Вазопрессин (АДГ) – только при значительном падении АД проявляется эффект,**
- **Норадреналин – действует на альфа адренорецепторы.**

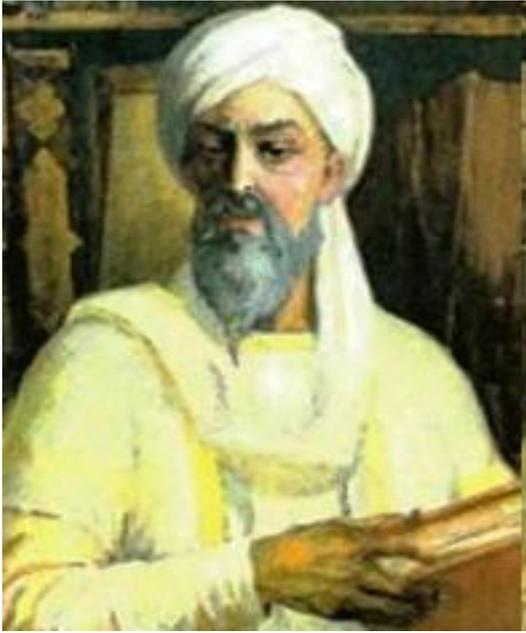
**NB! Холодовое воздействие.**

## Сосудорасширяющие вещества

- **Гистамин** – выделяется при повреждении кожи и слизистых оболочек, стенке желудка, кишечника
- **Атриопептид** (натрийуретический гормон) – вызывает расширение сосудов посредством расслабления гладкомышечных элементов артерий (вырабатывается в секреторных кардиомиоцитах)
- **Кинины** (брадикинин и каллидин) – в 10 раз превосходит действие гистамина, но нестойкие
- **Простагландины** – производные ненасыщенных жирных кислот, впервые обнаружены в семенной жидкости, образуются во многих тканях организма
- **Метаболиты CO<sub>2</sub>** (угольная, молочная кислоты) – главный фактор обеспечивающий расширение коронарных сосудов
- **NO (оксид азота)** – синтезируется в эндотелиальных клетках из L-аргинина (при гипоксии увеличивается)

# Вещества двойного действия на сосуды

- **Адреналин** – в низких концентрациях – расширение, а высоких – сужение. Чувствительность  $\beta$ -рецепторов выше и небольшая концентрация активирует эти рецепторы и ведет к расширению сосудов, а при повышении уровня адреналина активируются  $\alpha$ -рецепторы (их больше) – сосуды суживаются
- **Серотонин** – образуется в стволе мозга



**В сосудах жидкость бег свой  
совершает,  
её избыток вены расширяет.  
Когда ослабевают  
кровооток, похожи вены на пустой  
мешок...**

**Абу́ Али́ Хусе́йн ибн  
Абдалла́х ибн Си́на  
(Авиценна)  
Канон врачебной науки,  
около 1000 г.**



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**