



**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.

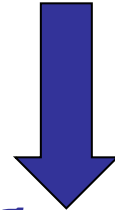
Функциональная классификация кровеносных сосудов

- 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



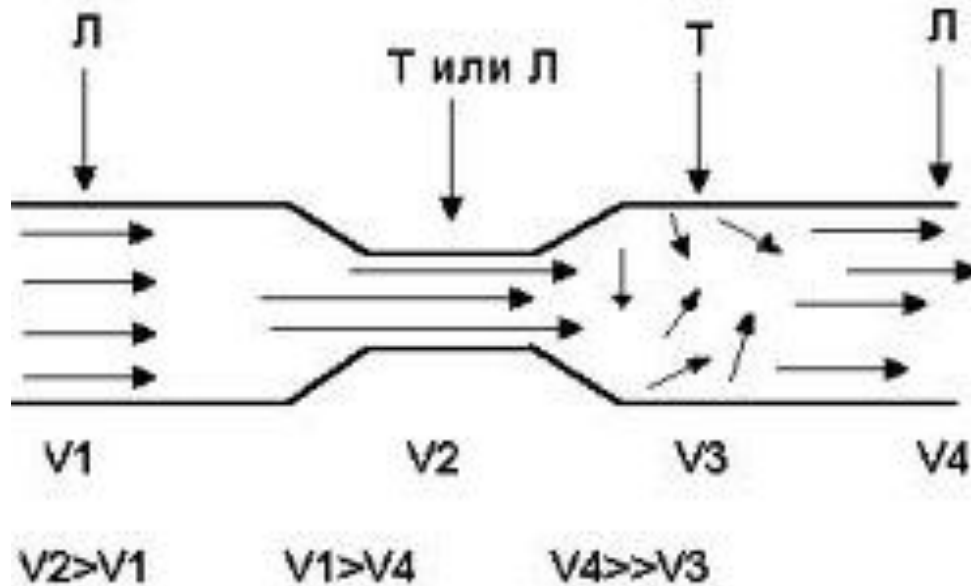
Ламинарный
слоистый



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%
- Венулы и вены – менее 1%

Соппротивление (R)



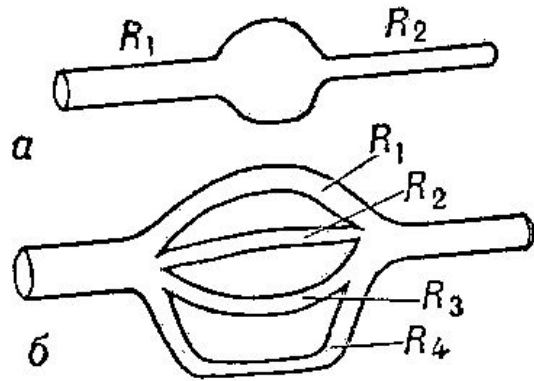
1799–1869)

Используя формулу Ж. Пуазейля, можно определить сопротивление току жидкости (R), зависящее от вязкости (ν), 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 ²)	3-4 min	2500-3000 max	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 πr^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 распространения 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.**

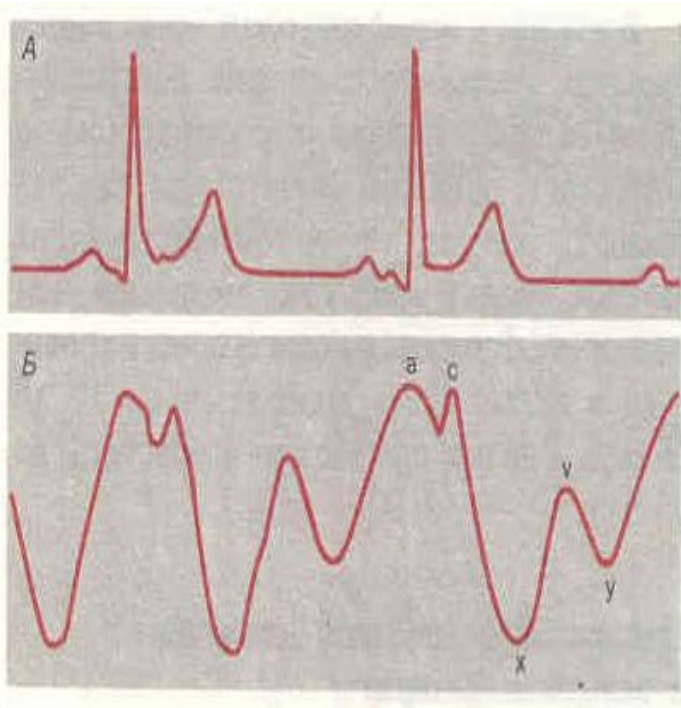
Сфигмограмма - графическая регистрация пульсовых колебаний



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).

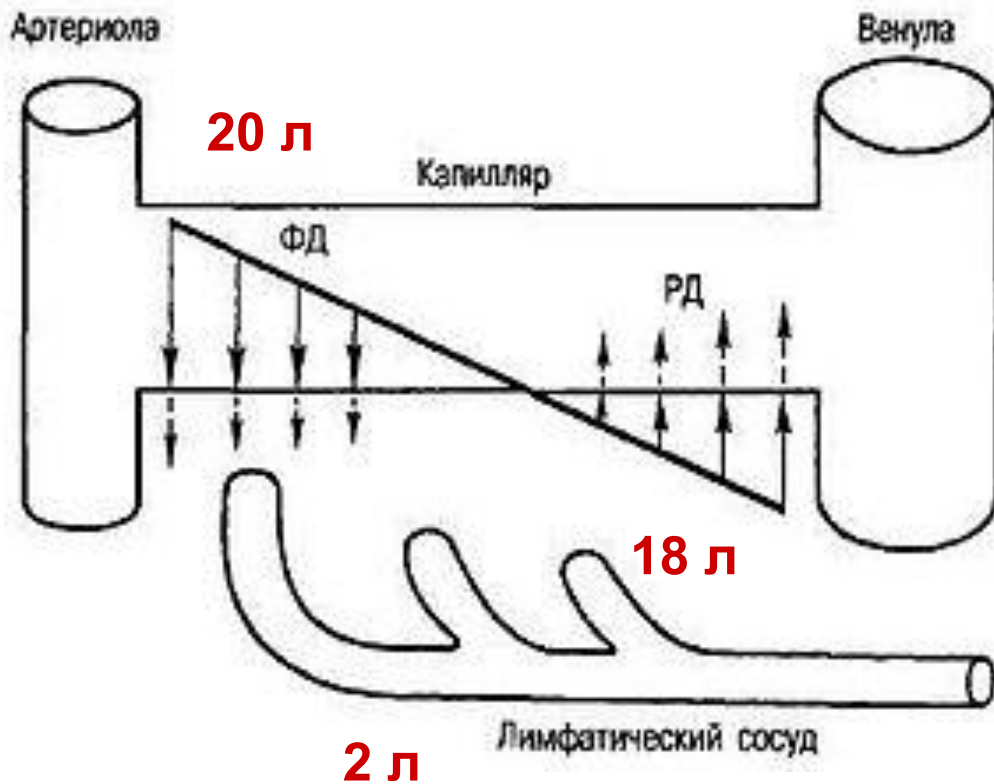
Флебограмма используется при расчетах величины давления крови в малом круге кровообращения

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

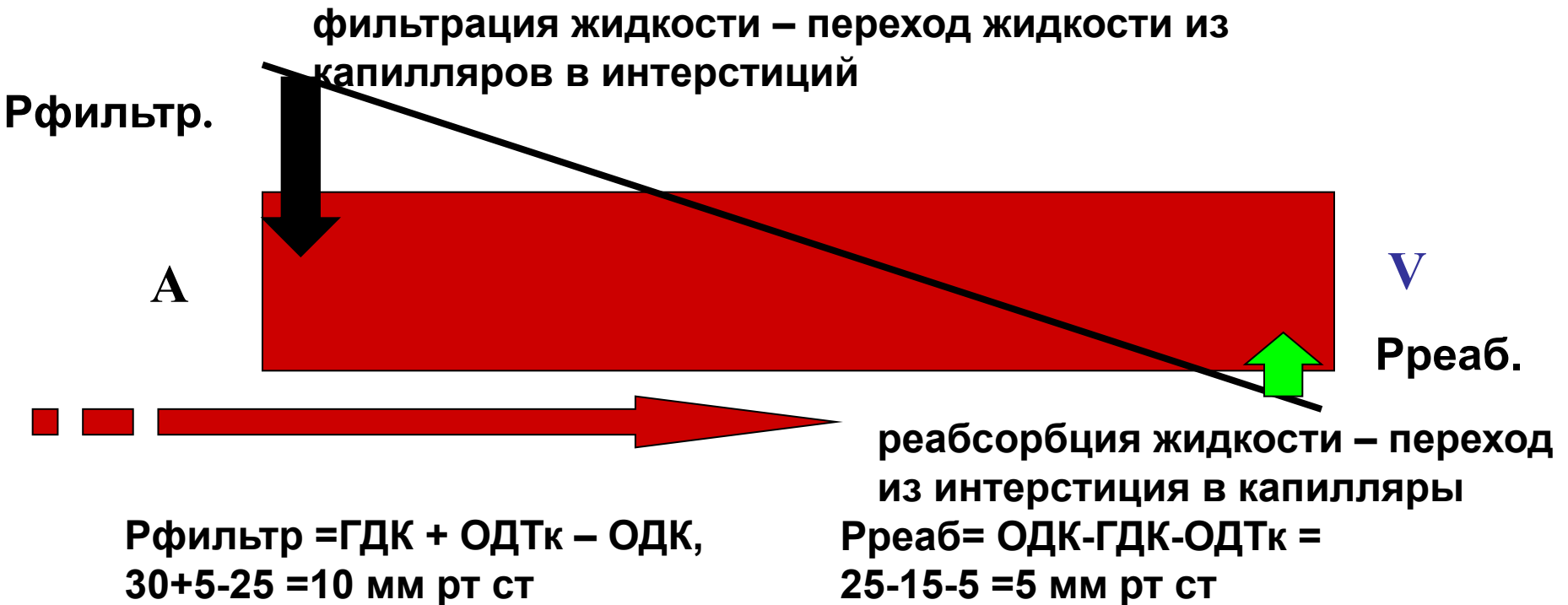


Фильтруется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости

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



ГДК = 30 мм рт ст

ОДК = 25 мм рт ст

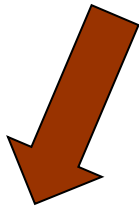
ОДТк = 5-8 мм рт ст

ГДК = 15 мм рт ст

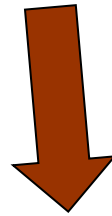
ОДК = 25 мм рт ст

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

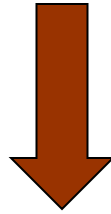
Перерезка симпатического нерва – расширение сосудов – покраснение, потепление уха

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



Миогенная регуляция

При увеличении кровяного давления стенки сосудов растягиваются



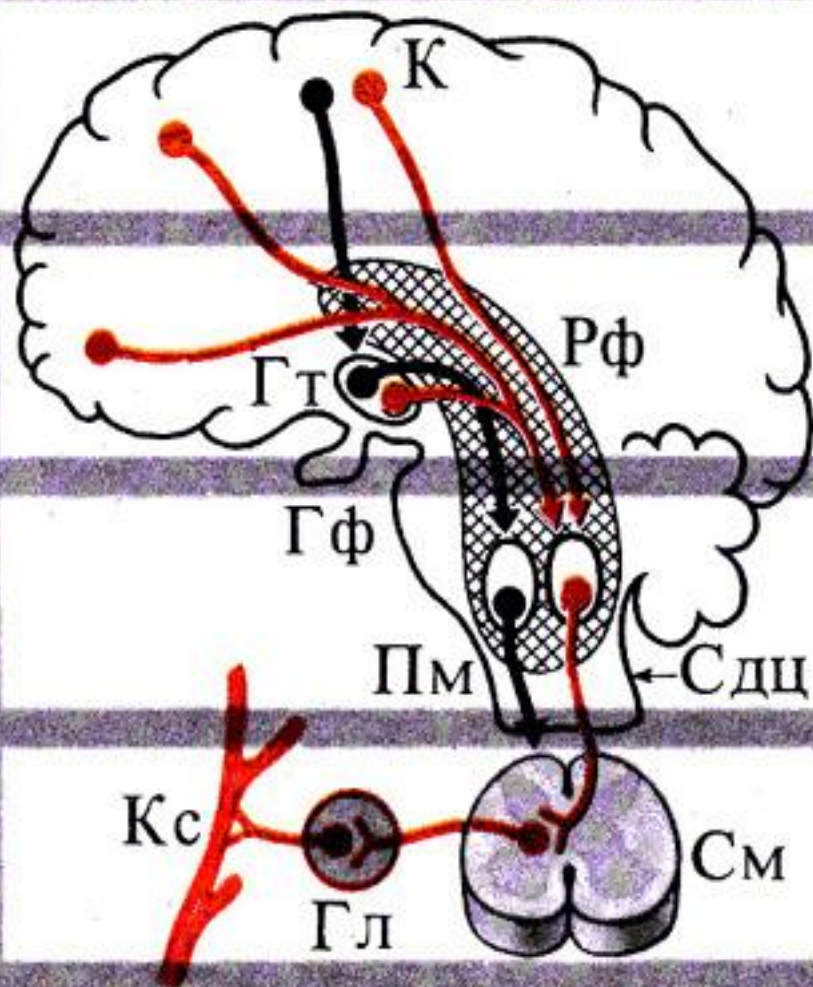
Увеличивается проницаемость для ионов Ca^{2+} . Ca^{2+} поступает в клетку и обеспечивает увеличение сокращения миоцитов, И уменьшению просвета сосудов и уменьшению кровотока

При уменьшении давления в сосудах их стенки растягиваются меньше



Проницаемость для ионов 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

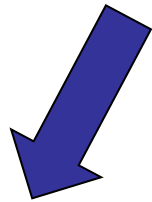
- **Аортальная и синокаротидная зоны** – содержат барорецепторы и хеморецепторы.
- **При снижении АД** - барорецепторы возбуждаются меньше, и влияние блуждающего нерва снижается и **возрастает сила сердечных сокращений.**
- **При повышении АД** - противоположная динамика.
При повышении АД до 180 мм рт ст, происходит адаптация барорецепторов
- Хеморецепторы аортальной и каротидной зон возбуждаются при уменьшении кислорода и увеличении напряжения CO_2 , H^+ , гипоксии, ацидозе – сужение сосудов.

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

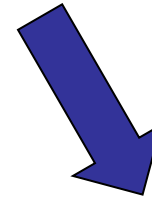
Факторы, определяющие величину артериального давления

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

Артериальное давление определяется

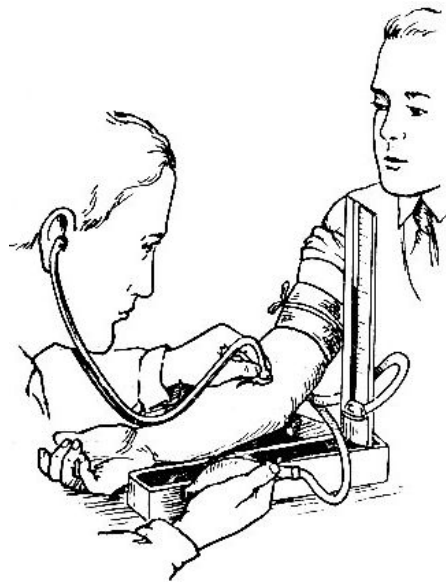


Прямыми (кровавыми способами)



Косвенные (бескровные) способы

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



ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)

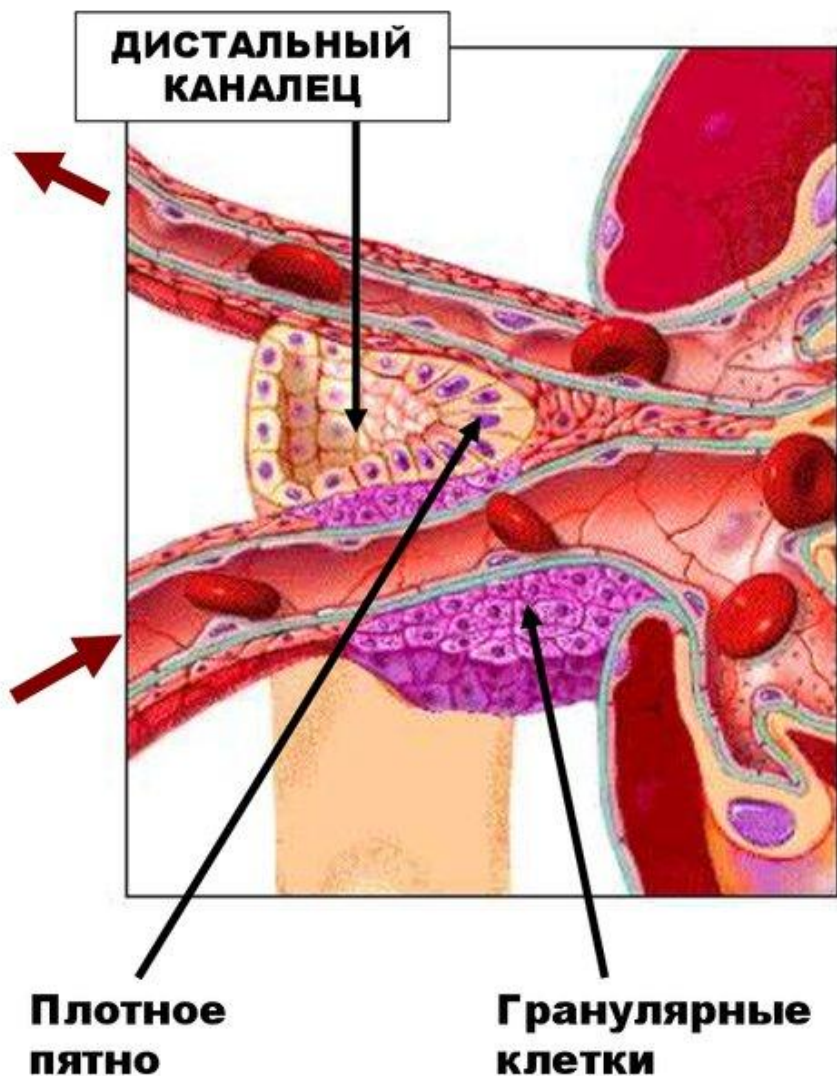
- 1. Систолическое АД (САД) 110-125 мм рт.ст.**
- 2. Диастолическое АД (ДАД) 60-80 мм рт.ст.,**
- 3. Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД 35-50 мм рт.ст**
- 4. Среднее АД (АД_{ср}) = ДАД + 1/3 ПАД 90-95 мм рт.ст.**

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_2** (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 β -рецепторов выше и небольшая концентрация активирует эти рецепторы и ведет к расширению сосудов, а при повышении уровня адреналина активируются α -рецепторы (их больше) – сосуды суживаются
- **Серотонин** – образуется в стволе мозга



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

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



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!