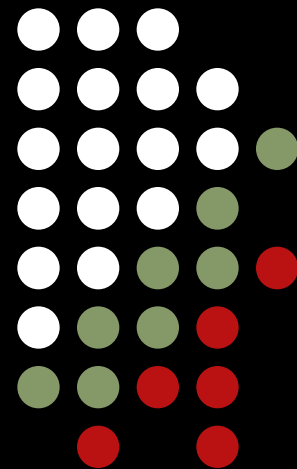
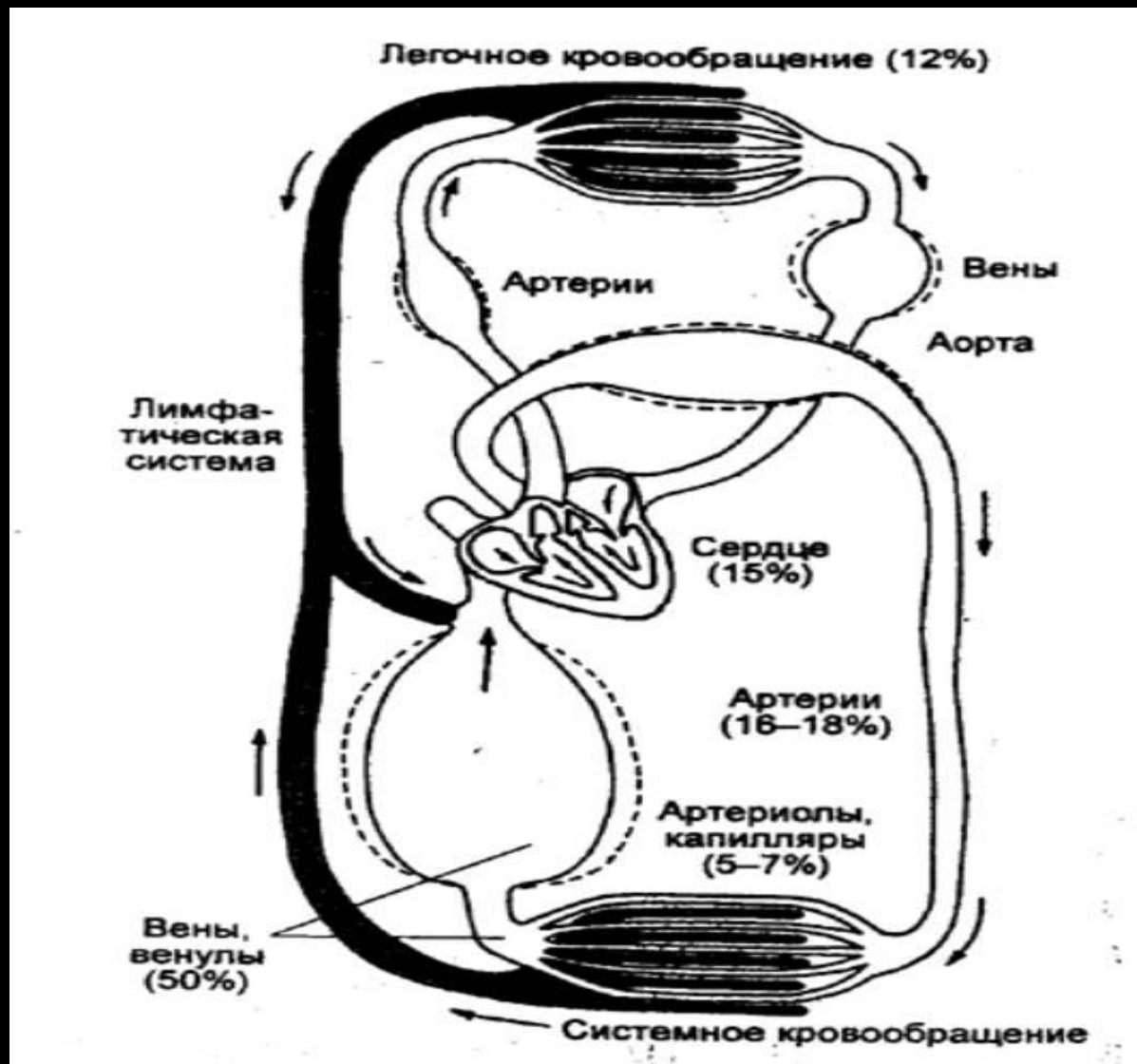
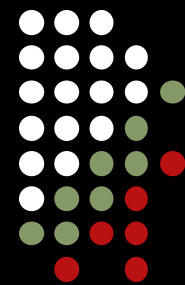

*Физиология
сосудов*



Распределение крови по сосудистой системе

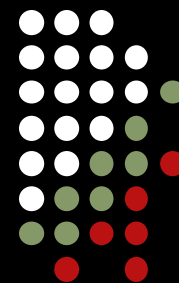


Функциональные группы сосудов:

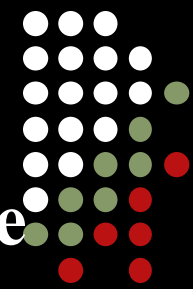


1. **Амортизирующие сосуды** - артерии эластического типа (аорта, легочная артерия и большие артерии).
2. **Резистивные сосуды** - концевые артерии, артериолы и в меньшей степени капилляры и венулы (регулируют объемную скорость кровотока в различных сосудистых областях).

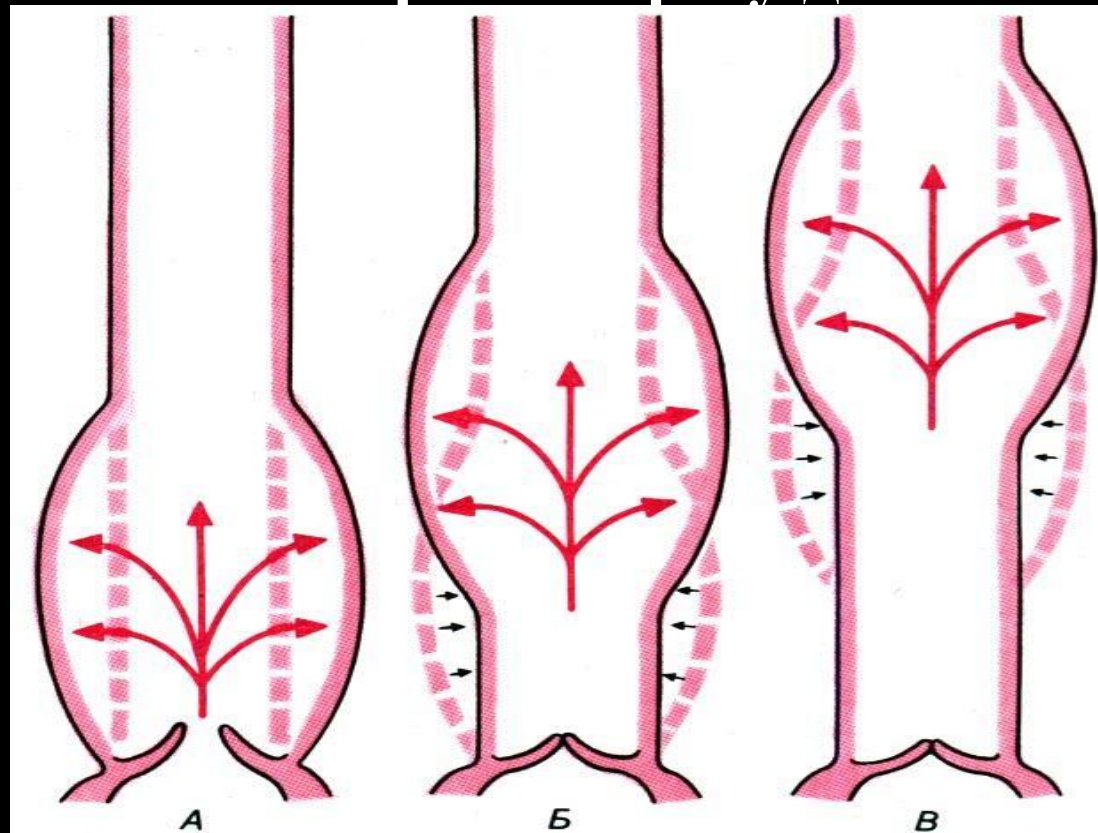
Функционально-морфологическая классификация сосудов



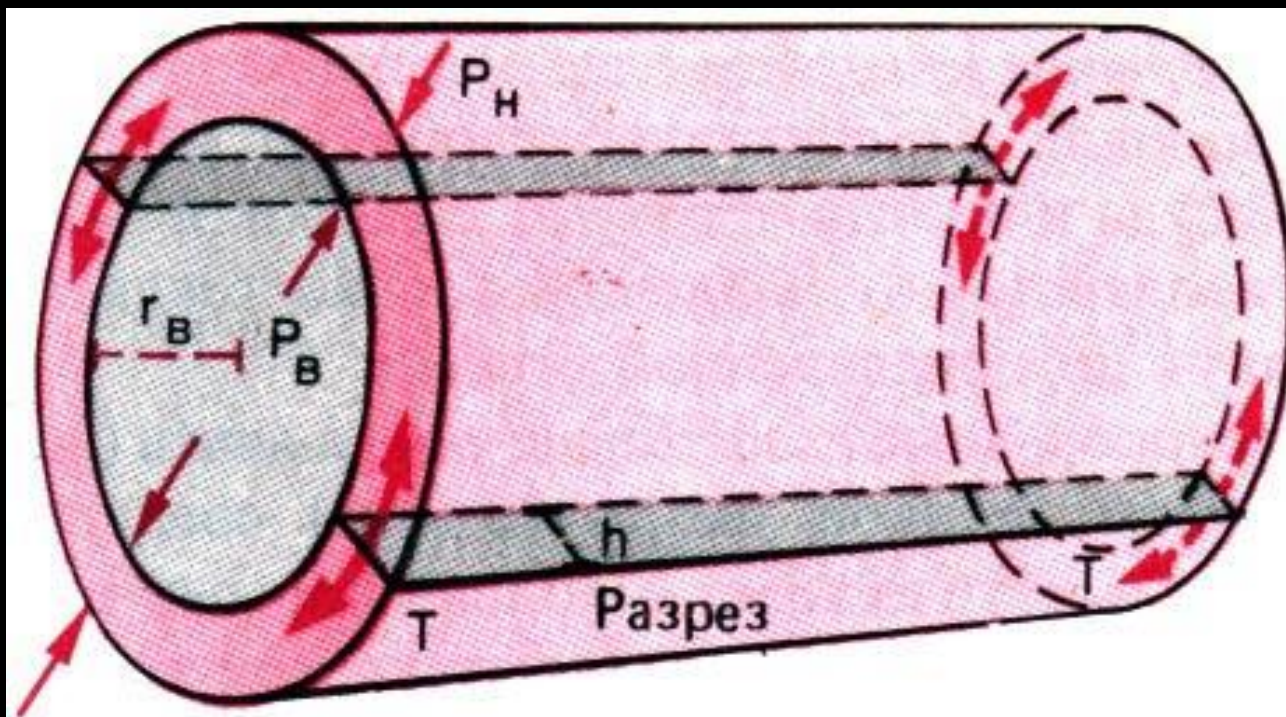
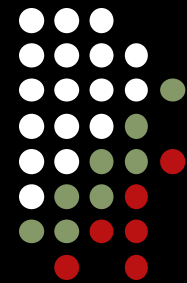
1. Генератор давления и расхода - сердце, подающее кровь в аорту и легочной ствол.
2. Сосуды высокого давления - аорта и крупные артерии.
3. Сосуды стабилизаторы давления - мелкие артерии и артериолы.
4. Распределители капиллярного кровотока - прекапиллярные артериолы и прекапиллярные сфинктеры.
5. Обменные сосуды - капилляры, посткапиллярные венулы.
6. Аккумулирующие сосуды - венулы и мелкие вены.
7. Сосуды возврата - крупные вены и полые вены.
8. Шунтирующие сосуды - различного типа анастомозы (артерио-венозные, артериоло-венулярные).
9. Резорбтивные сосуды - лимфатические сосуды.

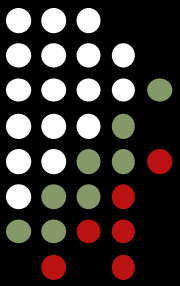


Сосуды высокого давления - аорта и крупные артерии- образуют компрессионную камеру, функция которой состоит в обеспечении непрерывного тока крови в фазу диастолы



Сосуды стабилизаторы давления - мелкие артерии и артериолы





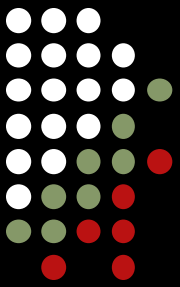
3. **Сосуды–сфинктеры** – последние отделы прекапиллярных артериол регулируют число функционирующих капилляров.
4. **Обменные сосуды** (капилляры).
5. **Емкостные сосуды** (вены).
6. **Шунтирующие сосуды** –это артериовенозные анастомозы



Для всех сосудов характерны функции:

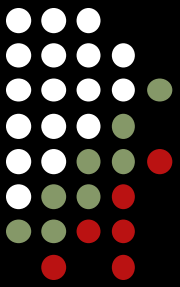
резистивная функция – функция создания сопротивления кровотоку (артериолы, прекапиллярные сфинктеры, шунтирующие сосуды)

ёмкостная функция – способность депонировать кровь (венулы, вены, полые вены)



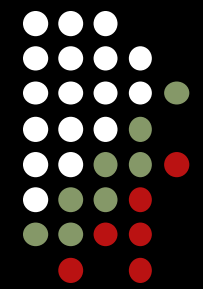
Гемодинамика – наука о закономерностях движения крови по сосудам

Движущая сила кровотока

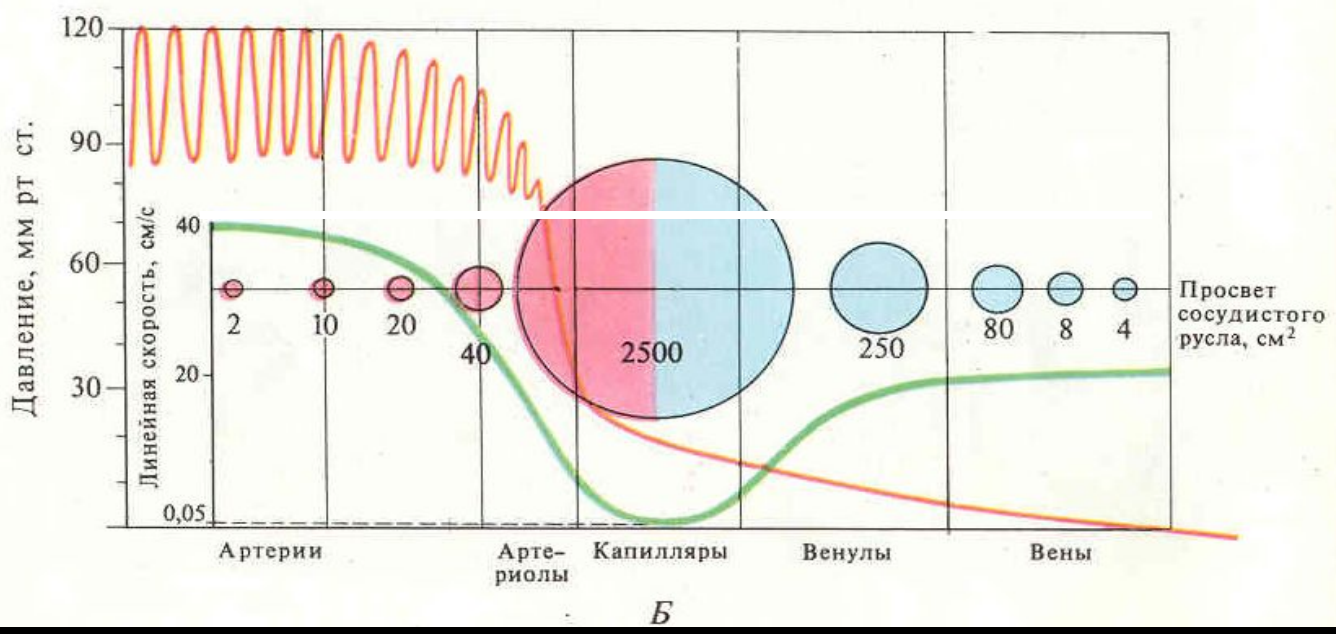
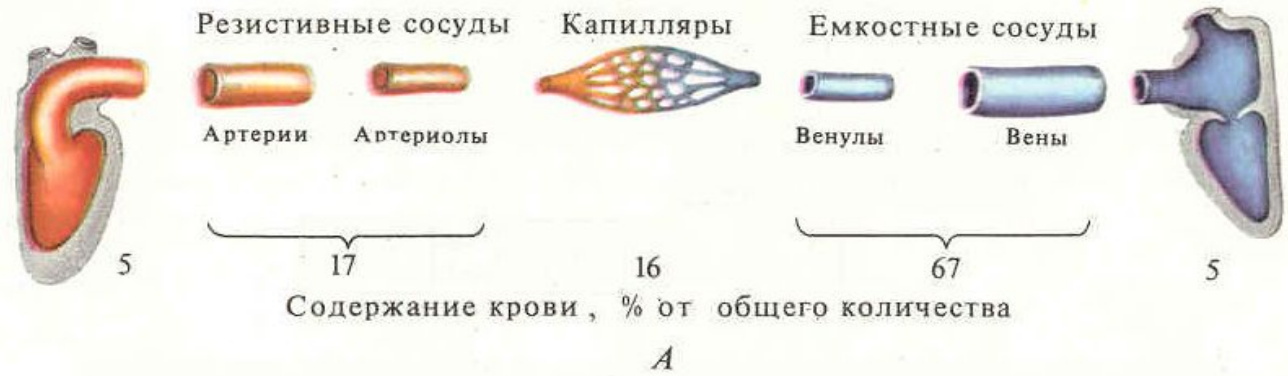


это разность давлений между различными отделами сосудистого русла.

Этот *градиент* давления служит источником силы, преодолевающей гидродинамическое сопротивление.



Показатели гемодинамики в разных отделах сосудистого русла

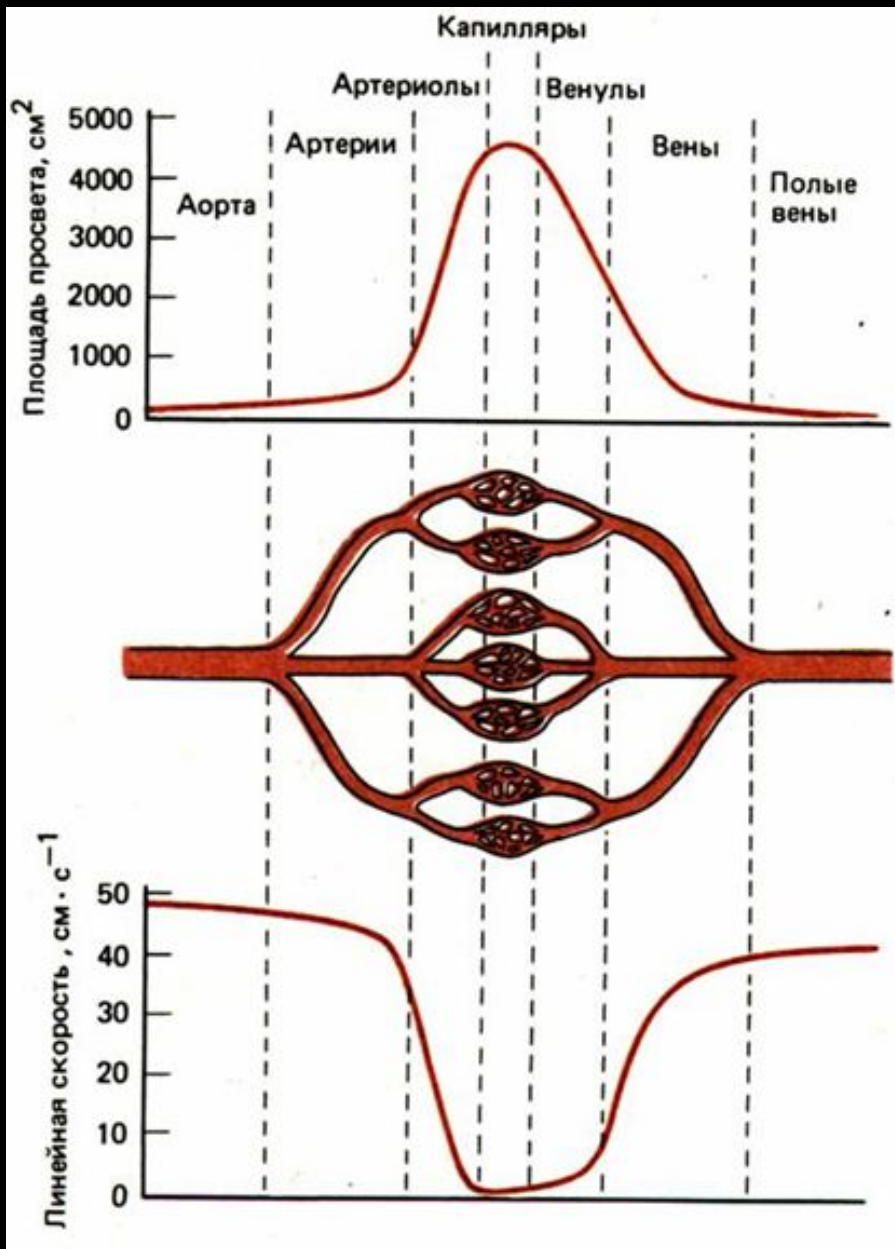
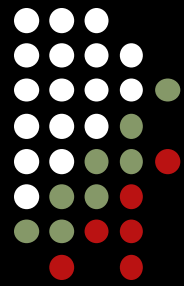




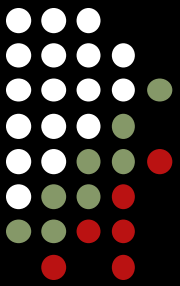
2 типа движения жидкости в сосудах:

- 1. Ламинарный поток**
- 2. Турбулентный поток**

Линейная скорость кровотока



За единицу времени через артерии, капилляры и вены протекает одно и то же количество крови в минуту.

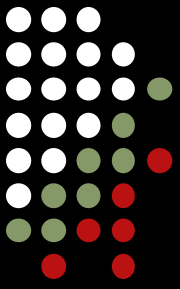


Линейная скорость кровотока в сосудах каждого отдела кровеносного русла обратно пропорциональна площади поверхности поперечного сечения этого отдела.

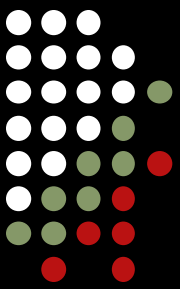
Она определяется как отношение объемной скорости кровотока Q к площади поперечного сечения сосуда πr^2 :

$$v=Q/\pi r^2$$

Линейная скорость кровотока



- в аорте составляет 50—70 см/с,
- в артериях — от 40 до 10 см/с
- артериолах — 10—0,1 см/с
- капиллярах — меньше 0,1 см/с
- венулах — меньше 0,3 см/с
- венах — 0,3—5,0 см/с
- поллой вене — 5—20 см/с.



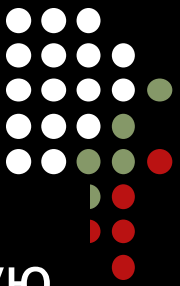
Сосудистое сопротивление

определяется по формуле Пуазейля:

$$R = 8L\eta / \pi r^4$$

где R — сосудистое сопротивление,
 η — вязкость протекающей жидкости,
 L — длина трубки,
 r — радиус трубки.

Сосудистое сопротивление



Сосудистое сопротивление принято определять как частное от деления кровяного давления P на объемную скорость кровотока Q :

$$R = P/Q$$

При необходимости вычисления сопротивления отдельного участка сосудистой системы:

$$R = (P_1 - P_2) / Q$$

При последовательном соединении сосудов:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

При параллельном соединении сосудов:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

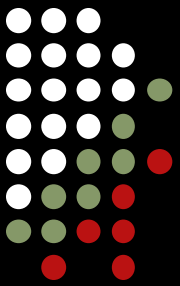
Объемная скорость кровотока



отражает кровоснабжение того или иного органа и вычисляют по формуле

$$Q = v\pi r^2$$

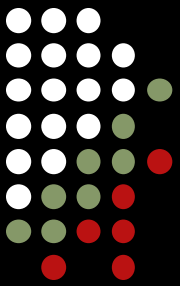
Общий кровоток у взрослого человека в состоянии покоя — около 5 л/мин.



При ламинарном токе жидкости
объемную скорость кровотока можно
выражать как:

$$Q = \Delta P / R,$$

где ΔP - разность среднего давления в
артериальной и венозной частях,
 R - гидродинамическое сопротивление.



При турбулентном движении крови увеличивается внутреннее трение жидкости.

В этом случае объемная скорость тока крови будет уже не пропорциональной градиенту давления, а примерно равной квадратному корню из него:

$$Q = \sqrt{\Delta P/R}$$

Минутный объем крови (МОК) определяется как ЧСС · Ударный объем



Время полного кругооборота крови: 27 систол или 20-23 с,
из этого времени:

по малому кругу - 1/5 времени,

по большому - 4/5 времени

МОК можно определить по Фику:

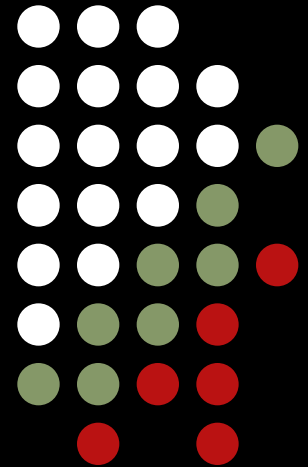
$$\text{МОК} = \text{VO}_{2\text{потр}} / (\text{VO}_2 \text{ а} - \text{VO}_2 \text{ в}),$$

где $\text{VO}_{2\text{потр}}$ – объем потребленного кислорода

$\text{VO}_2 \text{ а}$ – объем кислорода в артериальной крови

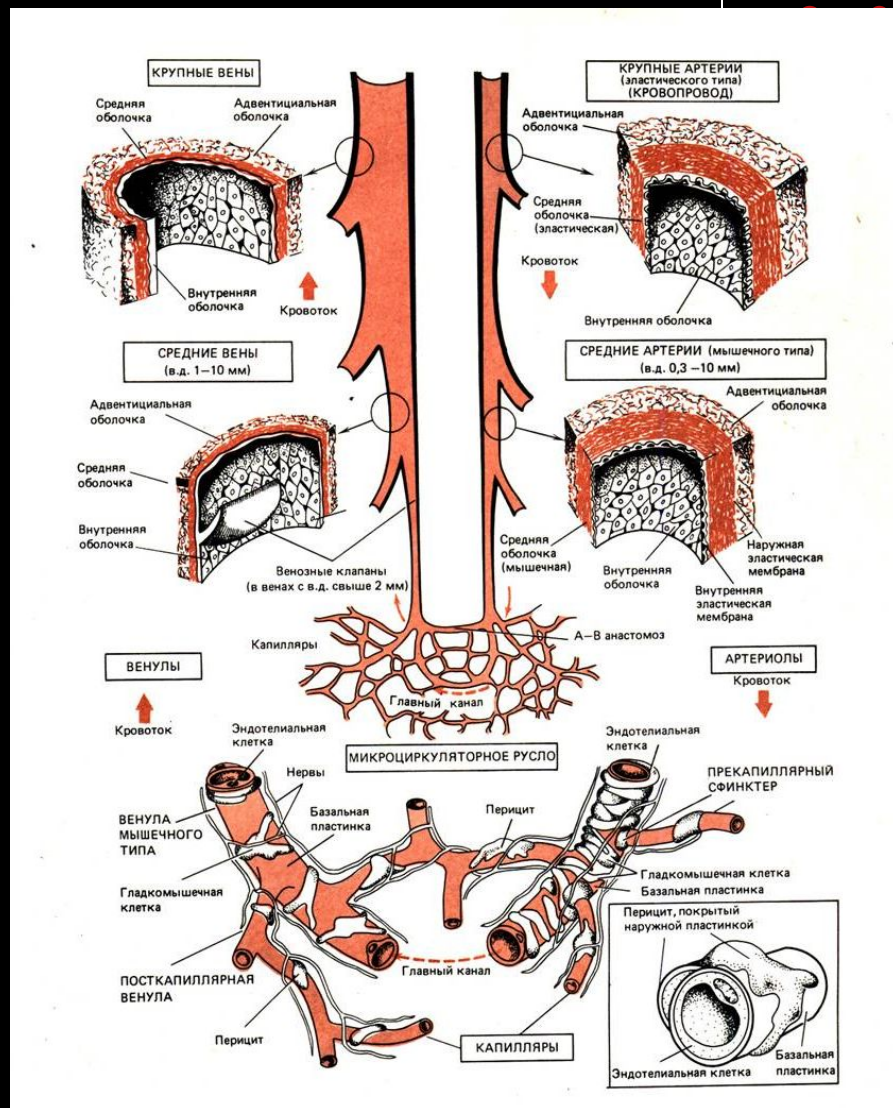
$\text{VO}_2 \text{ в}$ – объем кислорода в венозной крови

Артериальная система

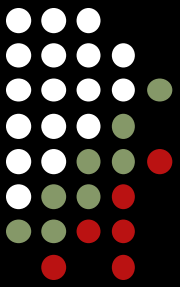


Основные функции артерий:

1. перенос крови от сердца к капиллярам,
2. служат напорным резервуаром для «проталкивания» крови в мелкие артериолы,
3. сглаживают колебания давления и кровотока, обеспечивая постоянный ток крови через капилляры,
4. перераспределяют кровь между капиллярными руслами благодаря резистивным сосудам.



Основные методы изучения артериальной системы



1. Регистрация артериального давления
2. Сфигмография и определение скорости распространения пульсовой волны

Методы исследования АД



1. Метод Рива-Роччи
2. Метод Короткова
3. Прямой (кровоавый) метод измерения АД

Физиологические параметры кровотока



1. Систолическое АД (САД) подразделяют на:

- ▢ боковое – давление на стенки сосуда
- ▢ конечное – сумма потенциальной и кинетической энергии массы крови

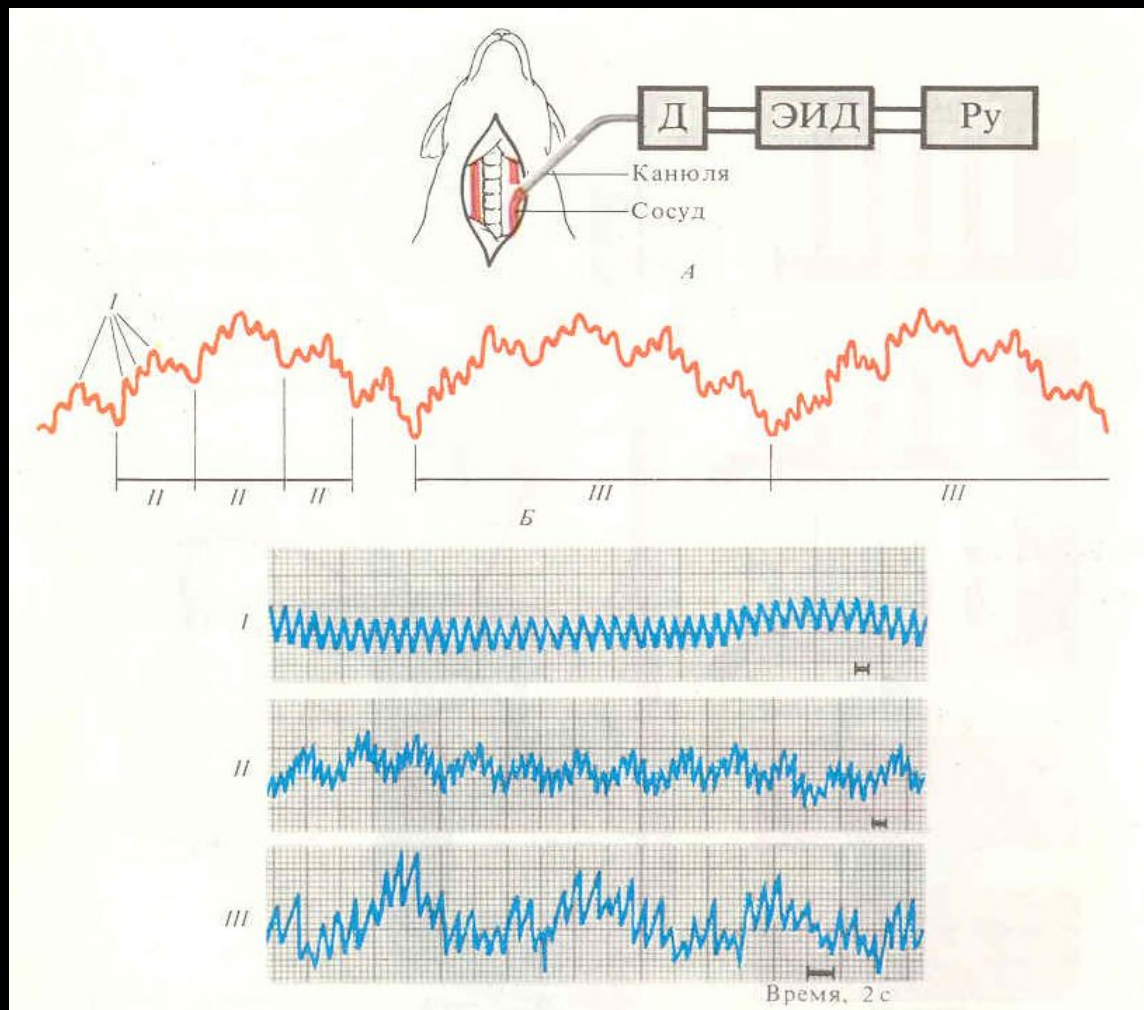
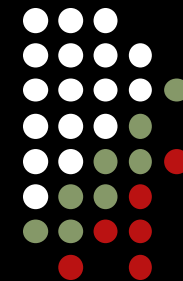
Ударное давление - разность между боковым и конечным давлением (10-20 мм рт.ст.)
характеризует состояние сердца и сосудов

2. Диастолическое АД (ДАД)

3. Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД

4. Среднее АД (АД_{ср}) = ДАД + 1/3 ПАД

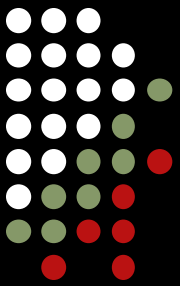
Регистрация АД в остром опыте



Факторы, влияющие на величины АД:



1. **Возраст.** С возрастом АД ↑
с 15 до 65 лет САД ↑ от 115 до 140,
а ДАД от 70 до 90)
1. **Пол.** У женщин АД ниже чем у мужчин между
40 и 50 годами, но выше от 50 лет и более.
2. **Масса тела.** Чем больше масса тела, тем
выше АД.



Положение тела. Когда человек встаёт (ортостатическая проба) → ↓ венозный возврат, → ↓ сердечный выброс и АД.

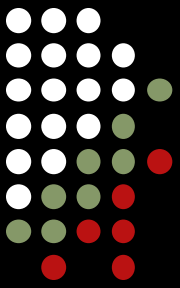
Компенсаторно ↑ЧСС, ↑АД .

4. **Мышечная деятельность** → ↑АД

Систолическое АД ↑ за счёт усиления сокращений сердца.

Диастолическое АД вначале ↓ за счёт расширения сосудов работающих мышц, а затем ↑ за счёт усиления сокращений сердца.

Свойства пульса:



1. **Частота**

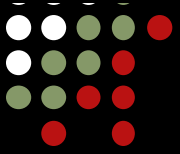
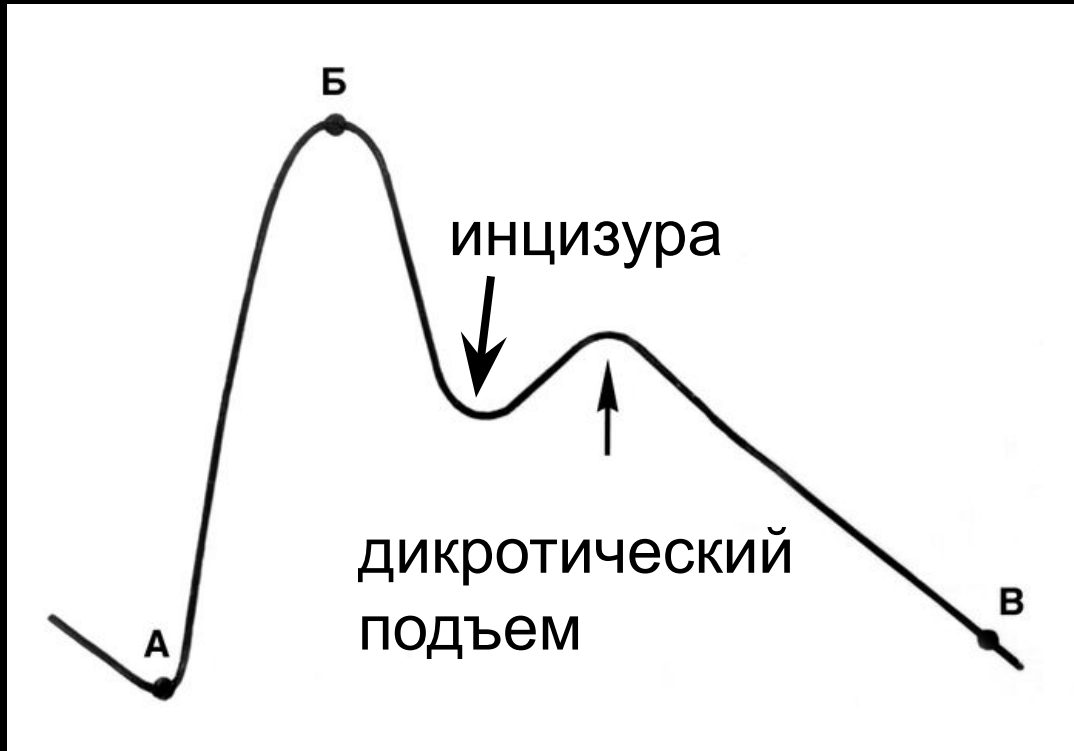
2. **Ритм**

3. **Высота** зависит от величины ударного объема и объемной скорости кровотока . Амплитуда пульса тем меньше, чем больше эластичность амортизирующих сосудов.

4. **Скорость** зависит от скорости изменения давления.

5. **Напряжение** зависит от среднего АД. По напряжению пульса можно приблизительно судить о систолическом давлении.

Сфигмограмма – артериальный пульс



АБ — анакрота;
БВ — катакрота.

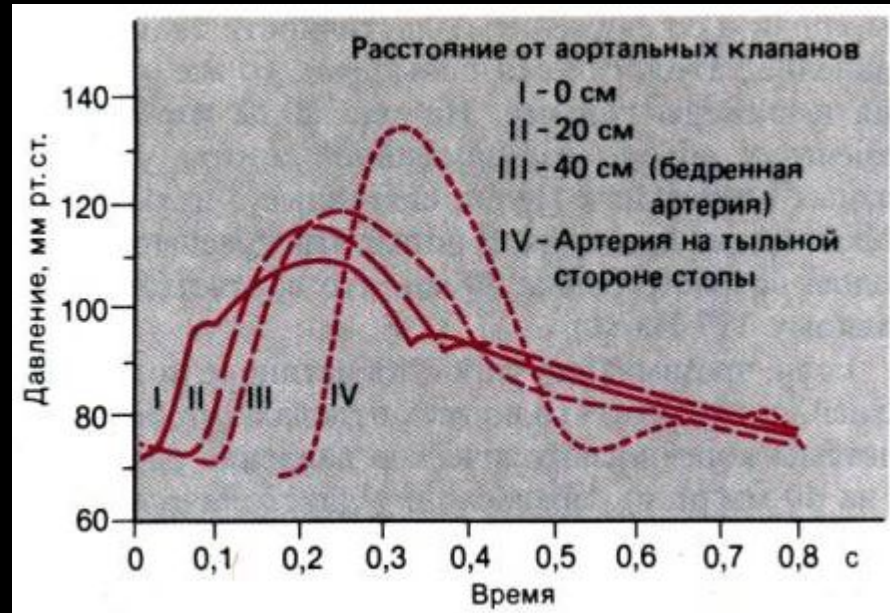
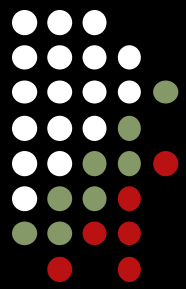
Анакрота – ускоренное поступление крови в начале фазы быстрого изгнания;

Катакрота соответствует фазе медленного изгнания,

Инцизура соответствует окончанию систолы левого желудочка,

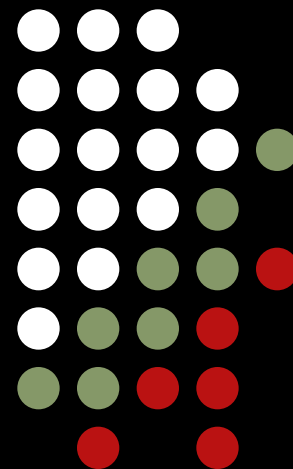
Дикротический подъем соответствует началу диастолы и возникает в результате захлопывания аортального клапана.

Сфигмограммы, записанные в различных отделах артериального русла

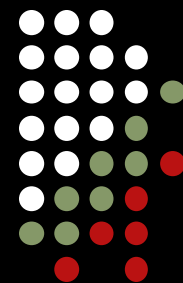


Увеличение систолического давления и диастолический подъем особенно хорошо выражены в тыльной артерии стопы. Сдвиг кривых в направлении горизонтальной оси соответствует времени, необходимому для распространения пульсовой волны по артериям

Венозная система



Венозная система

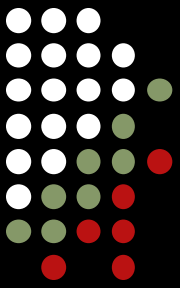


характеризуется большим объемом (50% ОЦК)
и низким давлением.

Венозная система играет роль резервуара
крови.

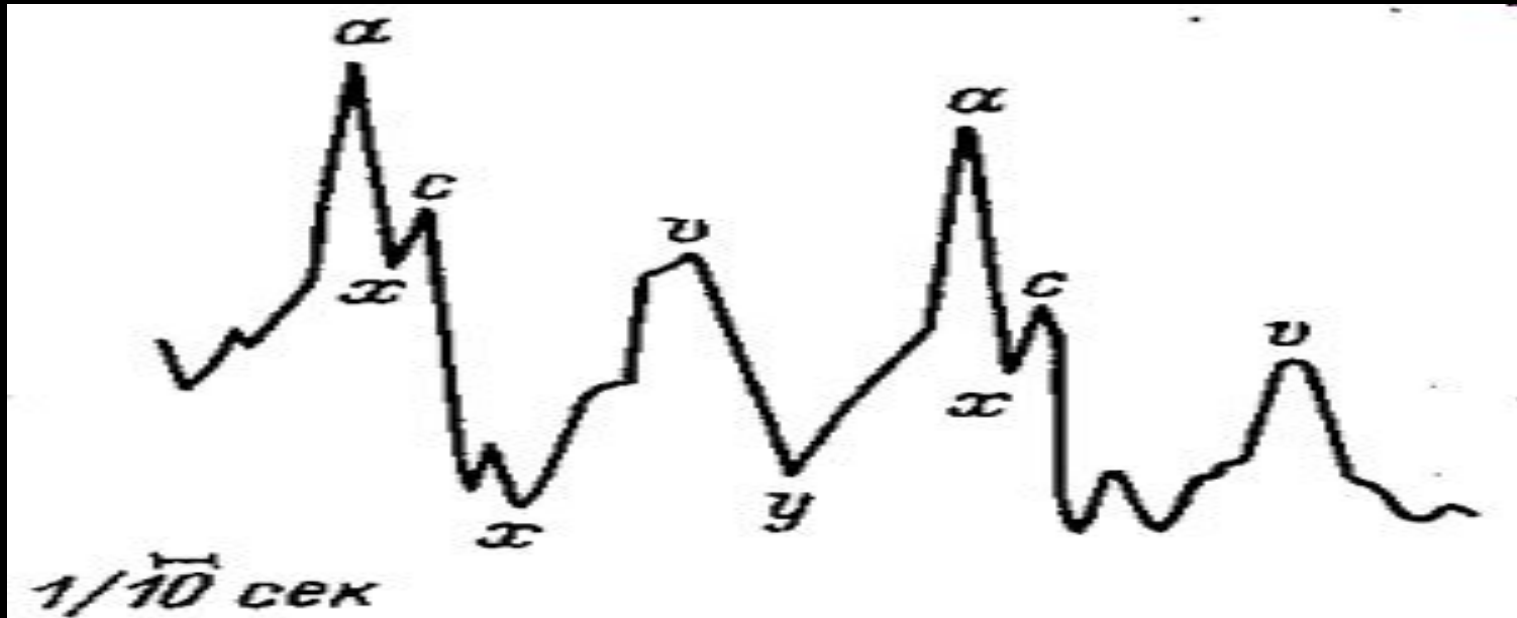
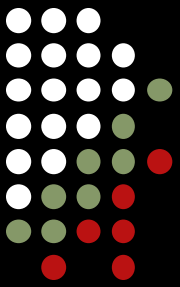
В случае кровопотери АД и капиллярный
кровоток поддерживаются на постоянном
уровне за счет уменьшения объема крови в
венах, а не в артериях.

На кровоток в венах влияет:

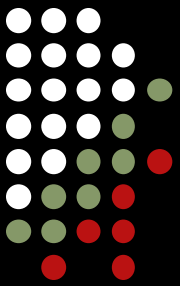


1. сокращение сердца,
2. сокращения мышц конечностей,
3. давление, оказываемого диафрагмой на органы брюшной полости,
4. клапанный аппарат,
5. дыхание (при расширении грудной клетки давление в этой полости уменьшается, кровь засасывается из вен головы и брюшной полости),
6. перистальтические сокращения гладких мышц

Флебодиаграфия - запись кривой венного пульса



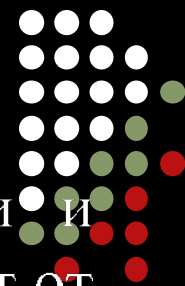
a(atrium) - отражение систолы предсердий,
c(carotis) – пережатие вен прилегающими
артериями; *v*(ventriculus) – отражение систолы
желудочков;



Физиологические факторы, определяющие движение крови по сосудам

Разность давлений:

- работа сердца
- эластичность сосудов компрессионной камеры
- работа скелетных мышц (мышечный насос).

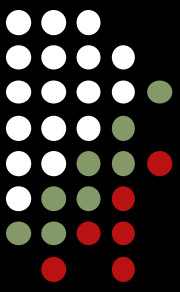


2. Периферическое сопротивление:

- **тонус резистивных сосудов** (мелкие артерии и артериолы). В них гладкомышечная ткань составляет от 10 до 90% площади поперечного сечения.

- **вязкость крови.**

Вязкость крови зависит от концентрации форменных элементов (при анемии уменьшается), агрегации эритроцитов, активности системы гемостаза.



Эффективная вязкость крови - вязкость движущейся крови в сосуде. Она определяется силой трения крови о стенки сосуда и её слоев относительно друг друга.

Эффективная вязкость крови зависит:

- от вязкости плазмы,
- от количества эритроцитов,
- от обратимой агрегации эритроцитов,
- от деформации эритроцитов,
- от скорости кровотока и зависящего от неё типа течения крови.



- гидростатическое давление крови

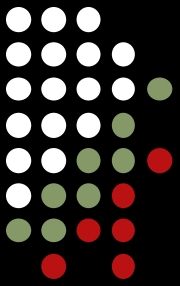
При вертикальном положении тела является значимой силой, препятствующей кровотоку. Наличие этой силы демонстрируется увеличенным давлением в артериях стопы (190 мм рт.ст.

против 130 мм.рт.ст. в аорте). Под действием этого давления сосуды ниже сердца (вены) растягиваются и депонируют около 500 мл крови, которая при переходе в горизонтальное положение возвращается к сердцу (клиностатическая проба).

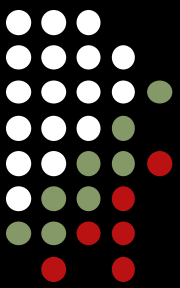
- влияние сил, действующих на сосуды снаружи

Механическое напряжение тканей передается на сосуды. В первую очередь это касается сосудов скелетных мышц.

Факторы, определяющие величину артериального давления



- работа сердца,
- объем циркулирующей крови,
- тонус сосудов,
- эластичность сосудов,
- вязкость крови.



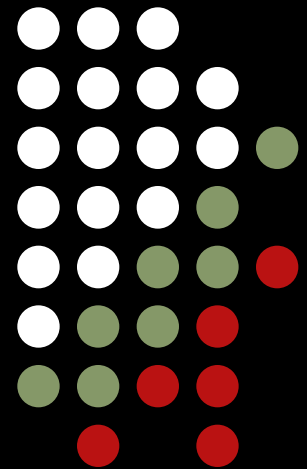
Показатели артериального давления:

- P макс. или систолическое,
- P мин. или диастолическое,
- P пульсовое, представляющее собой разность между P макс. и P мин.
- P среднее, рассчитывают исходя из максимального и минимального давления по формулам:

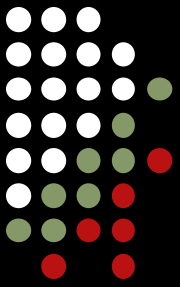
для магистральных сосудов - $P_{\text{ср.}} = P_{\text{мин.}} + \frac{P_{\text{макс.}} - P_{\text{мин.}}}{2}$

для периферических сосудов - $P_{\text{ср.}} = P_{\text{мин.}} + \frac{P_{\text{макс.}} - P_{\text{мин.}}}{3}$

Микроциркуляторное русло

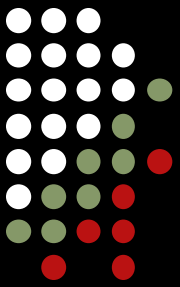


Классификация капилляров по строению стенки:



- **Капилляры с непрерывной стенкой** (гладкие мышцы, скелетные мышцы, сердечная мышца, сосудистая ткань, легкие, ЦНС).
- **Капилляры с фенестрами** (почечные клубочки, слизистая кишечника).
- **Капилляры с прерывистой стенкой** (костный мозг, печень, селезенка).

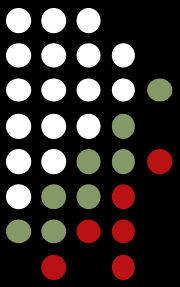
Движение крови в микрососудах



Диаметр капилляра от 4 до 20 мкм, но обычно 7-8 мкм.

В обычных капиллярах скорость движения крови составляет 0,5 - 1,0 мм/с, в плазматических капиллярах (капилляры малого диаметра, в которые не поступают форменные элементы) она может возрасти до 2 мм/с.

Транскапиллярный обмен обеспечивается:



1. диффузией,
2. фильтрацией,
3. реабсорбцией,
4. ПИНОЦИТОЗОМ

Диффузия



$$\frac{dm}{dt} = -DS \frac{dc}{dx}$$

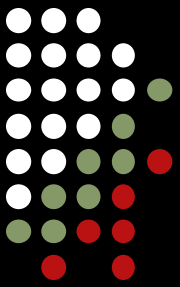
$\frac{dm}{dt}$ - скорость диффузии,

$\frac{dc}{dx}$ - градиент концентрации,

D - коэффициент диффузии Крота,
 S - площадь диффузии.

Фильтрация и реабсорбция

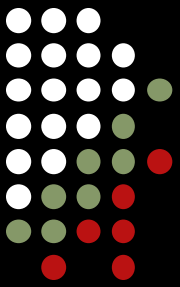
зависят:



от гидростатического давления в капиллярах ($P_{гк}$),

- от гидростатического давления тканевой жидкости ($P_{гтк}$),
- от онкотического давления плазмы ($P_{оп}$),
- от онкотического давления тканевой жидкости ($P_{отк}$).
- $P_{гк} - P_{гтк} + P_{оп} - P_{отк}$

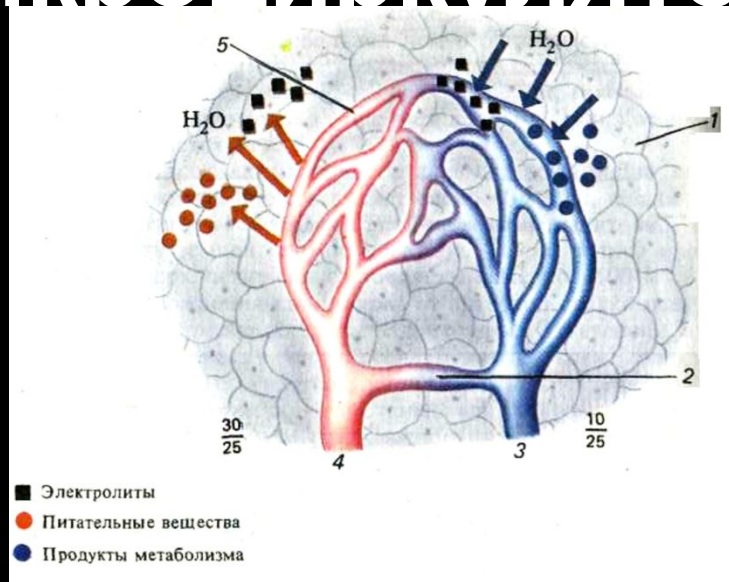
Скорость транспорта (V)



$$V = K (P_{гк} + P_{отк} - P_{гтк} - P_{оп}),$$

где $P_{гк}$ - гидростатическое давление в капиллярах,
 $P_{гтк}$ - гидростатическое давление тканевой
жидкости,
 $P_{оп}$ - онкотическое давление плазмы крови,
 $P_{отк}$ - онкотическое давление тканевой жидкости.
 K – коэффициент диффузии

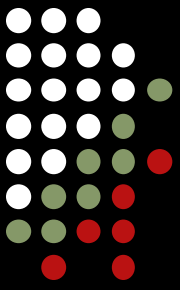
Обмен веществ в пределах микроциркуляторного русла



Фильтрация: $P_{гк} - P_{гтк} + P_{отк}$ (из крови в ткани)

Реабсорбция: $P_{гтк} + P_{оп} - P_{гк}$ (из ткани в кровь)

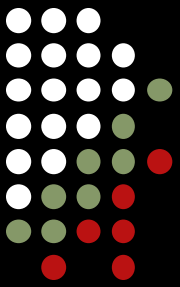
цифрами показано изменение соотношений гидростатического (числитель) и онкотического (знаменатель) давлений (мм рт.ст.).



Скорость транспорта в проксимальном отделе положительна - идёт процесс фильтрации под действием фильтрационного давления величиной в 8,5 мм рт.ст.

Скорость транспорта в дистальном отделе имеет отрицательное значение - идёт процесс реабсорбции под действием реабсорбционного давления величиной в 6 мм рт.ст.

Регуляция капиллярного кровотока:



1. Общесистемная
2. Местная (гистамин и кинины – вазодилататоры, серотонин и ангиотензин – вазоконстрикторы)
3. Саморегуляция