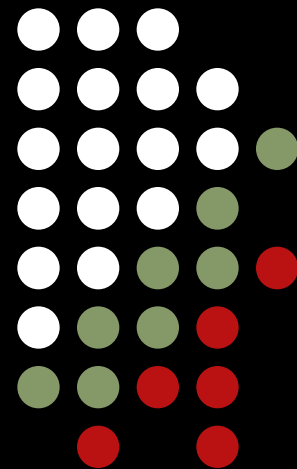
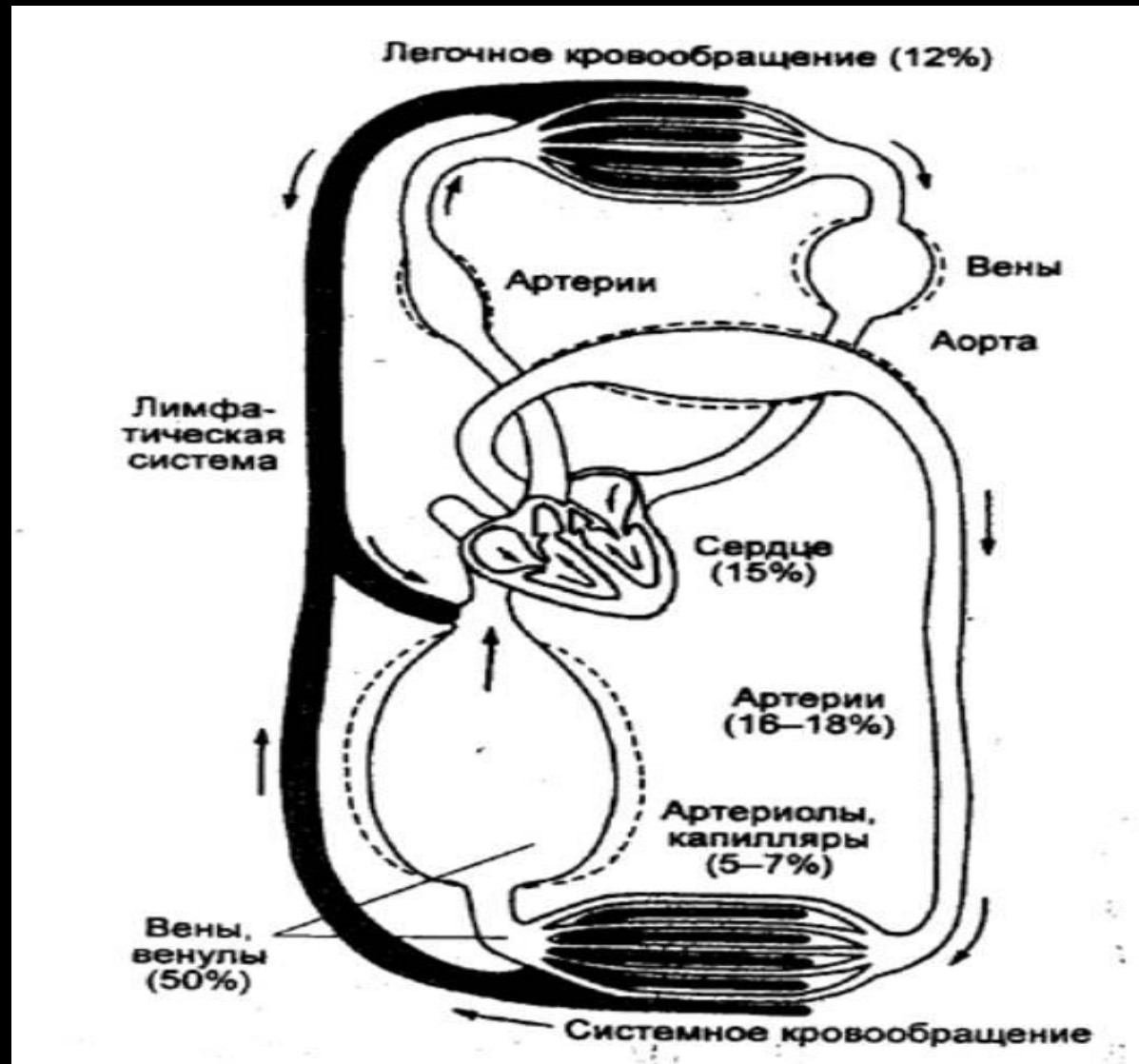


---

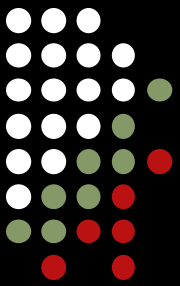
*Физиология  
сосудов*



# Распределение крови по сосудистой системе

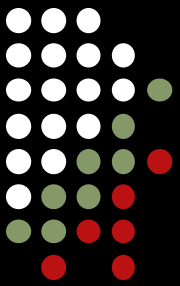


# Функциональные группы сосудов:

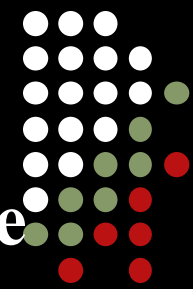


1. **Амортизирующие сосуды** - артерии эластического типа (аорта, легочная артерия и большие артерии).
2. **Резистивные сосуды** - концевые артерии, артериолы и в меньшей степени капилляры и венулы (регулируют объемную скорость кровотока в различных сосудистых областях).

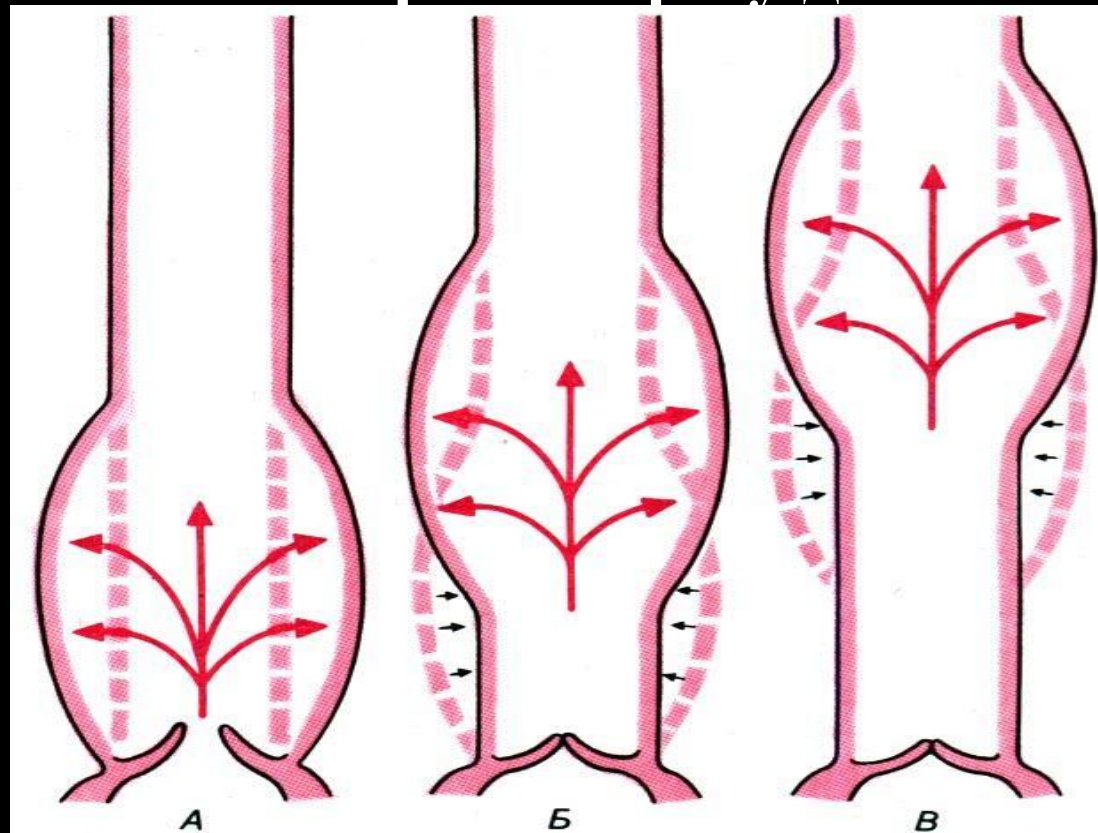
# Функционально-морфологическая классификация сосудов



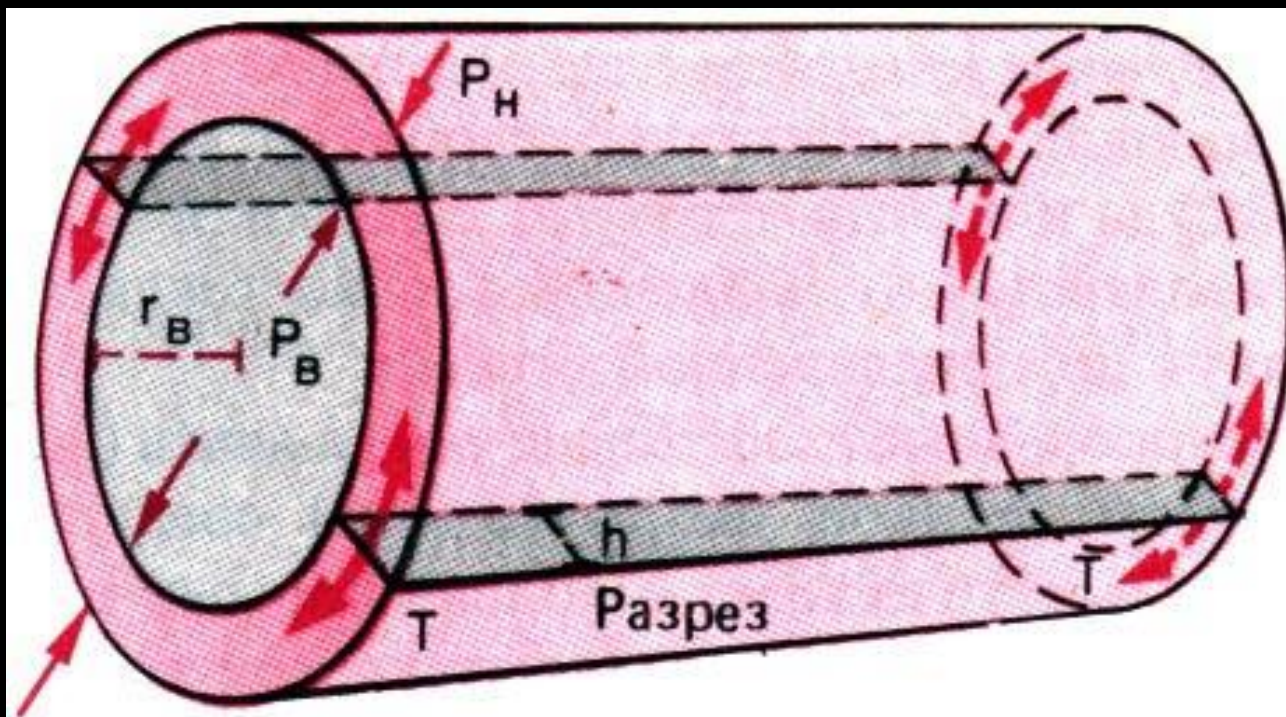
1. Генератор давления и расхода - сердце, подающее кровь в аорту и легочной ствол.
2. Сосуды высокого давления - аорта и крупные артерии.
3. Сосуды стабилизаторы давления - мелкие артерии и артериолы.
4. Распределители капиллярного кровотока - прекапиллярные артериолы и прекапиллярные сфинктеры.
5. Обменные 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.

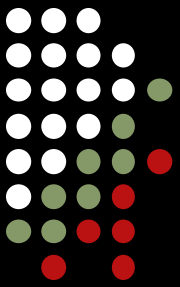


**Сосуды высокого давления - аорта и крупные артерии- образуют компрессионную камеру, функция которой состоит в обеспечении непрерывного тока крови в фазу диастолы**



# 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

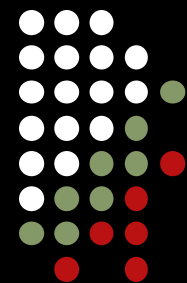


## **Для всех сосудов характерны функции:**

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

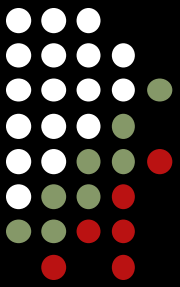
**ёмкостная функция – способность депонировать кровь (венулы, вены, полые вены)**





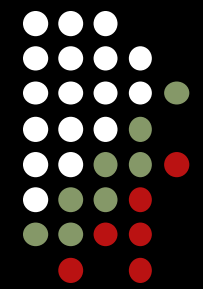
# **Гемодинамика – наука о закономерностях движения крови по сосудам**

# Движущая сила кровотока

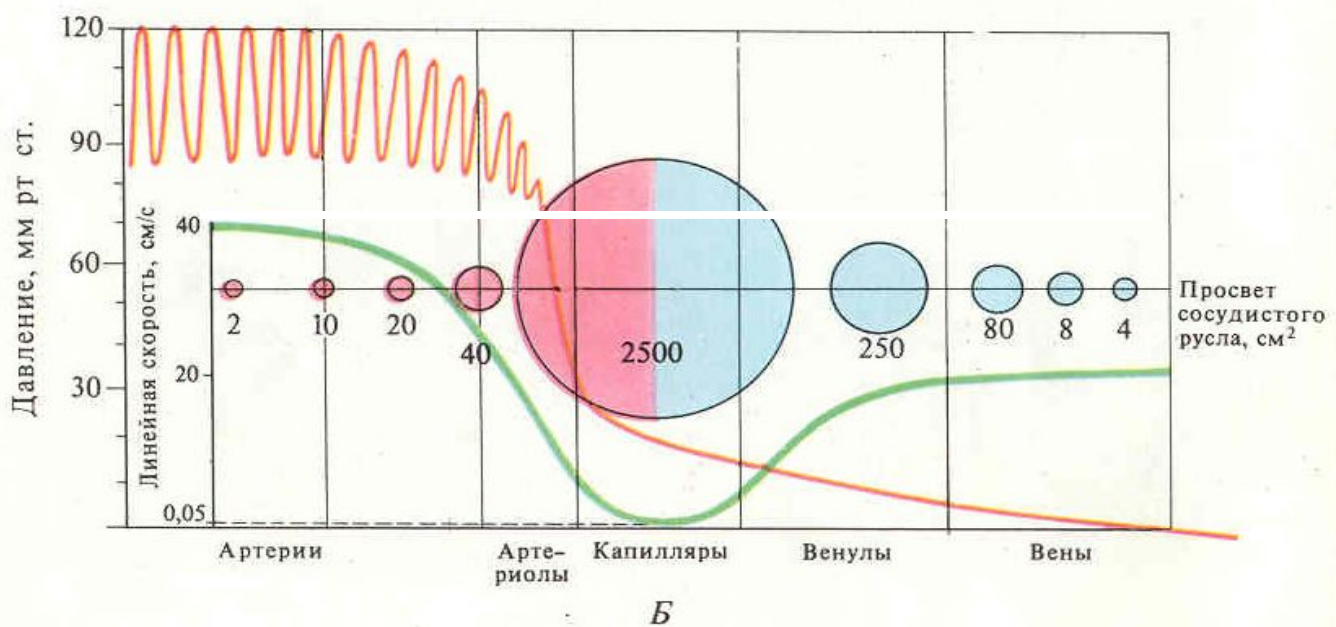
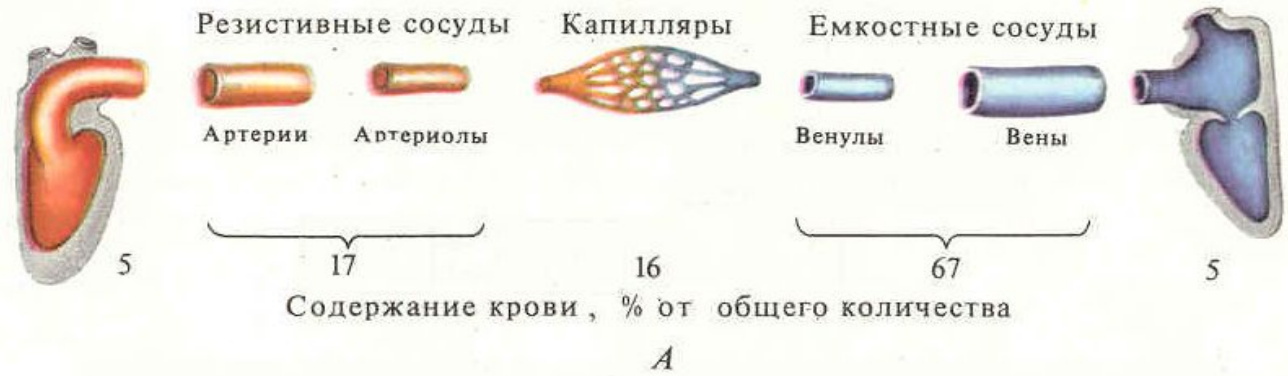


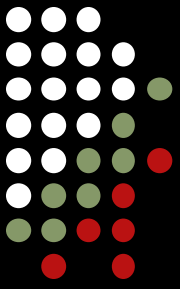
это разность давлений между различными отделами сосудистого русла.

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



# Показатели гемодинамики в разных отделах сосудистого русла

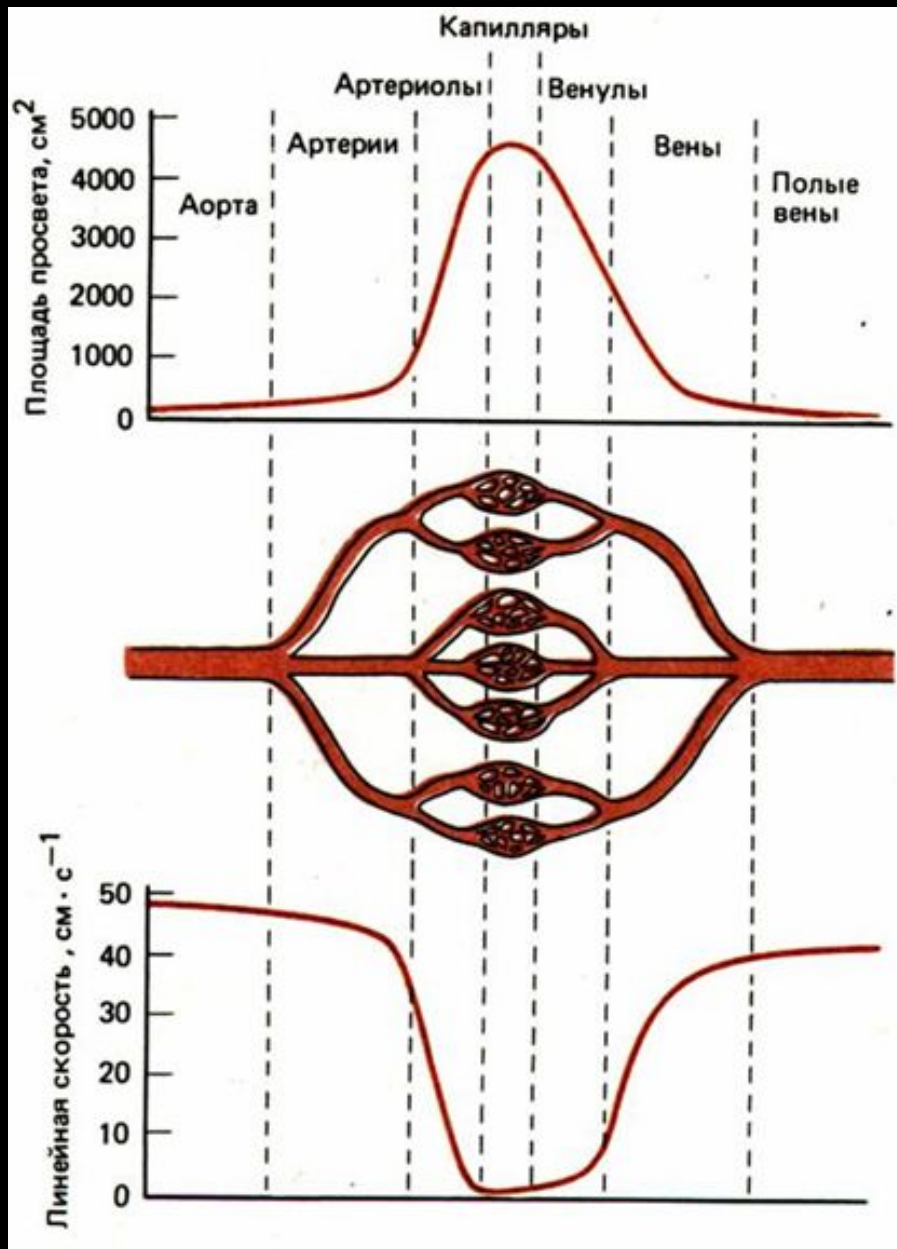
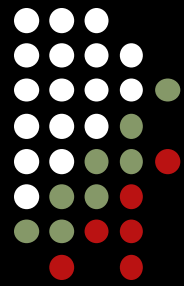




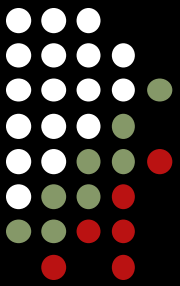
# **2 типа движения жидкости в сосудах:**

- 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.

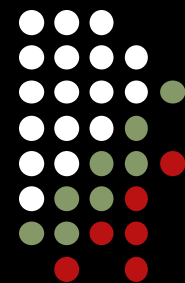


Линейная скорость кровотока в сосудах каждого отдела кровеносного русла обратно пропорциональна площади поверхности поперечного сечения этого отдела.

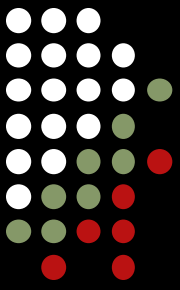
Она определяется как отношение объемной скорости кровотока  $Q$  к площади поперечного сечения сосуда  $\pi r^2$  :

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

# 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

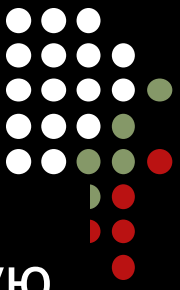
определяется по формуле Пуазейля:

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

где  $R$  — сосудистое сопротивление,  
 $\eta$  — 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:

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

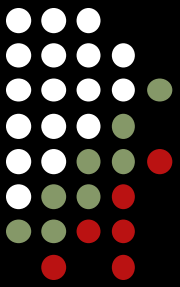
При последовательном соединении сосудов:

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

При параллельном соединении сосудов:

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

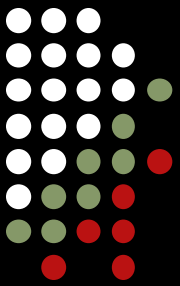
# Объемная скорость кровотока



отражает кровоснабжение того или иного органа и вычисляют по формуле

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

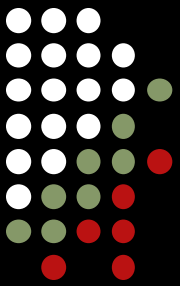
Общий кровоток у взрослого человека в состоянии покоя — около 5 л/мин.



При ламинарном токе жидкости  
объемную скорость кровотока можно  
выражать как:

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

где  $\Delta P$  - 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:

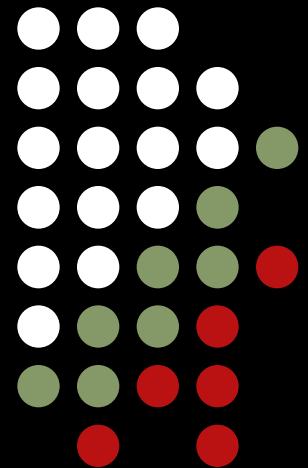
$$\text{МОК} = \text{VO}_{2\text{потр}} / (\text{VO}_2 \text{ а} - \text{VO}_2 \text{ в}),$$

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

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

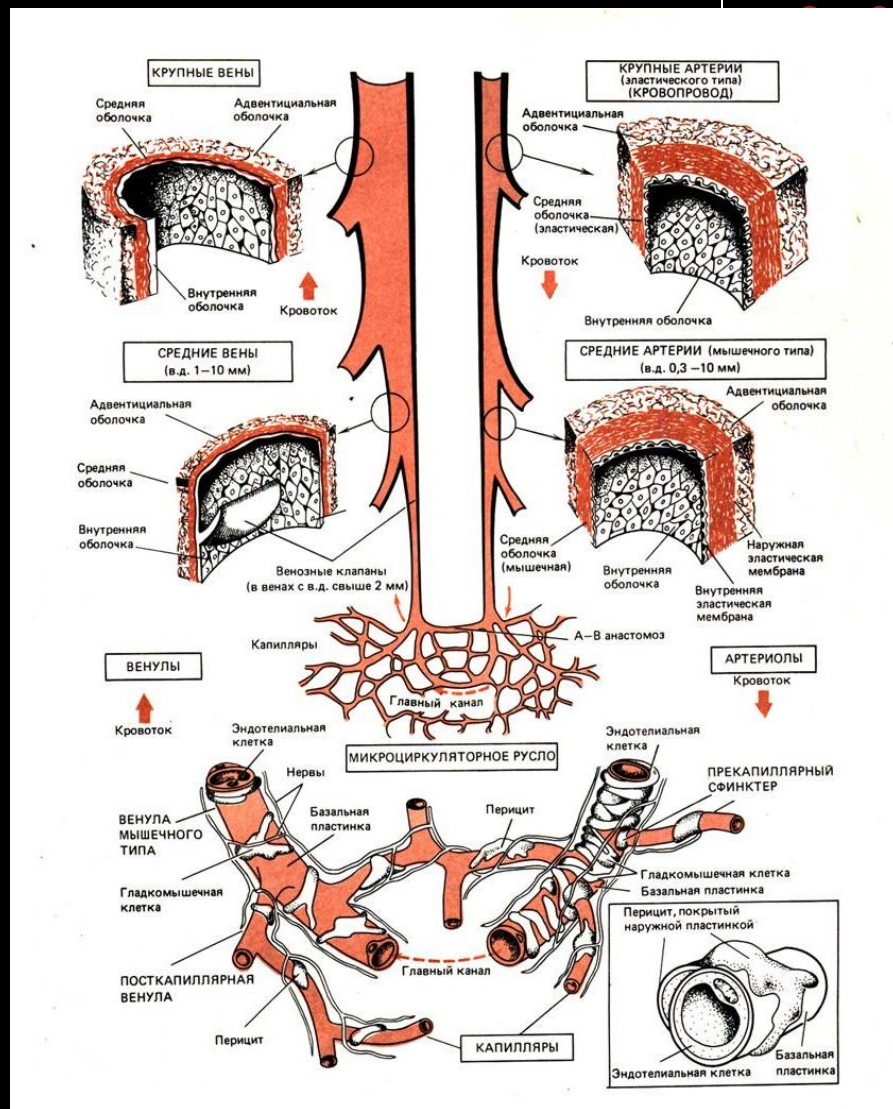
$\text{VO}_2 \text{ в}$  – объем кислорода в венозной крови

# Артериальная система

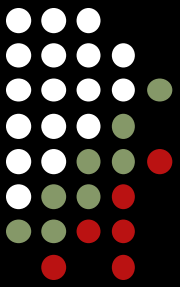


# Основные функции артерий:

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 (кровавый) 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

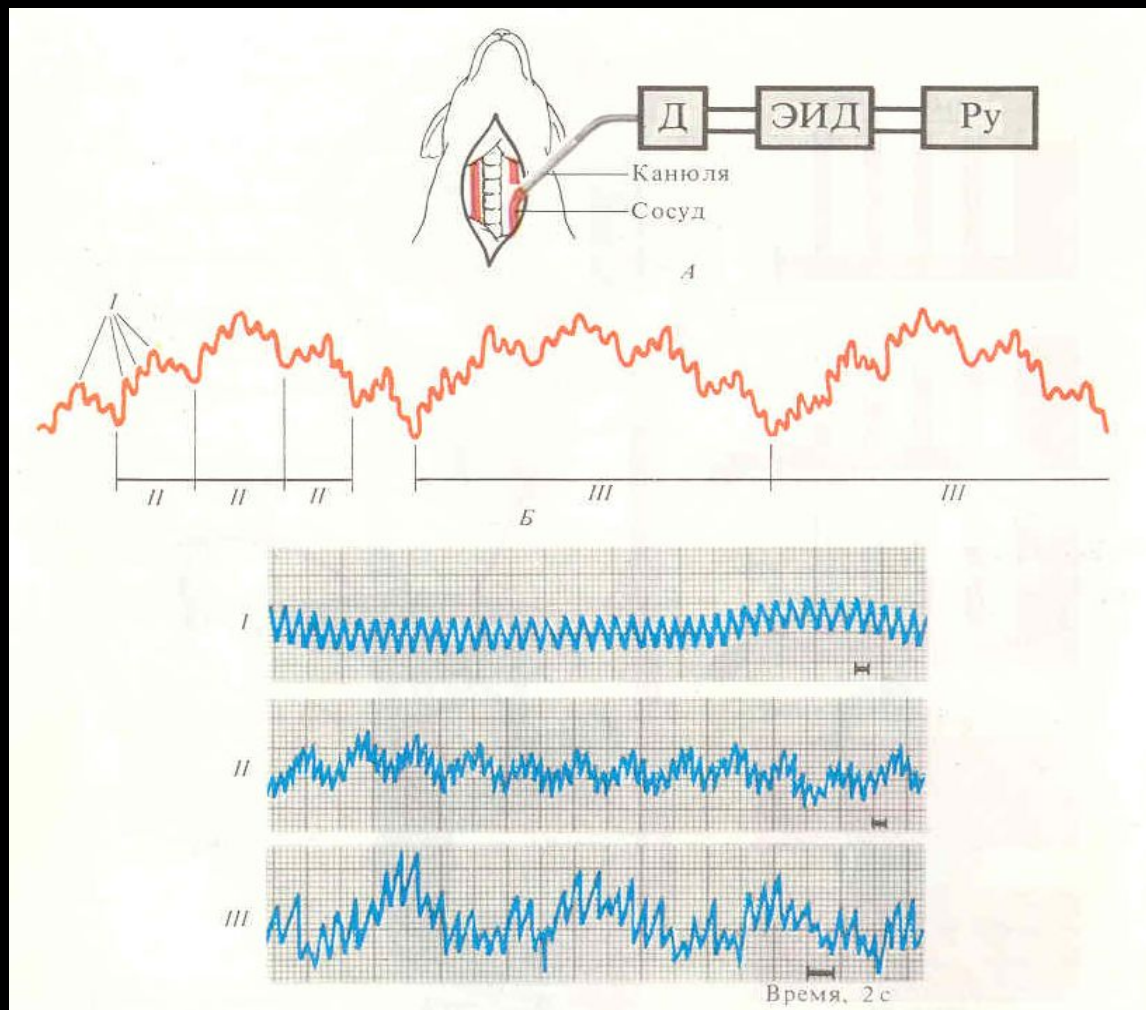
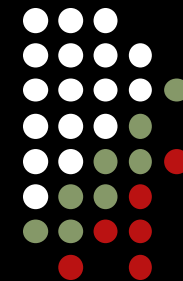
*Ударное давление* - разность между боковым и конечным давлением (10-20 мм рт.ст.)  
характеризует состояние сердца и сосудов

2. Диастолическое АД (ДАД)

3. Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД

4. Среднее АД ( АД<sub>ср</sub>) = ДАД + 1/3 ПАД

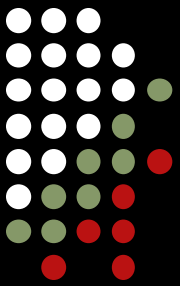
# Регистрация АД в остром опыте



# 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.

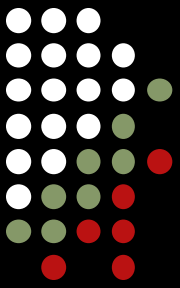
Компенсаторно ↑ЧСС, ↑АД .

#### 4. **Мышечная деятельность** → ↑АД

Систолическое АД ↑ за счёт усиления сокращений сердца.

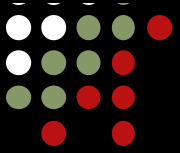
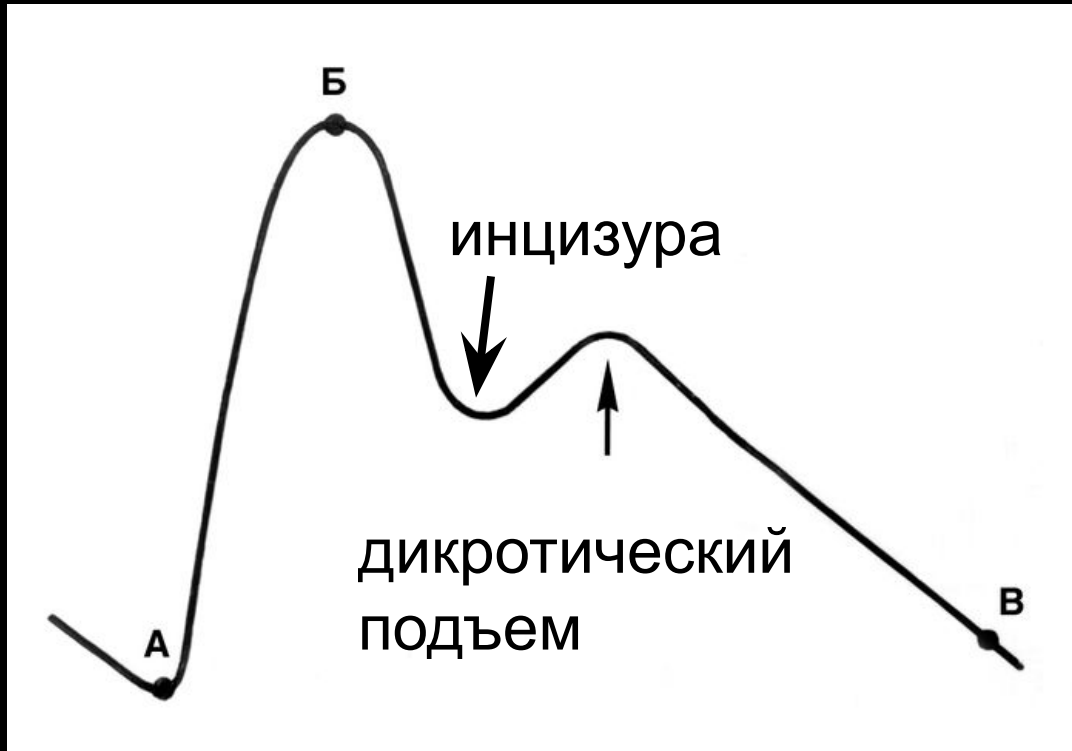
Диастолическое АД вначале ↓ за счёт расширения сосудов работающих мышц, а затем ↑ за счёт усиления сокращений сердца.

# 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.

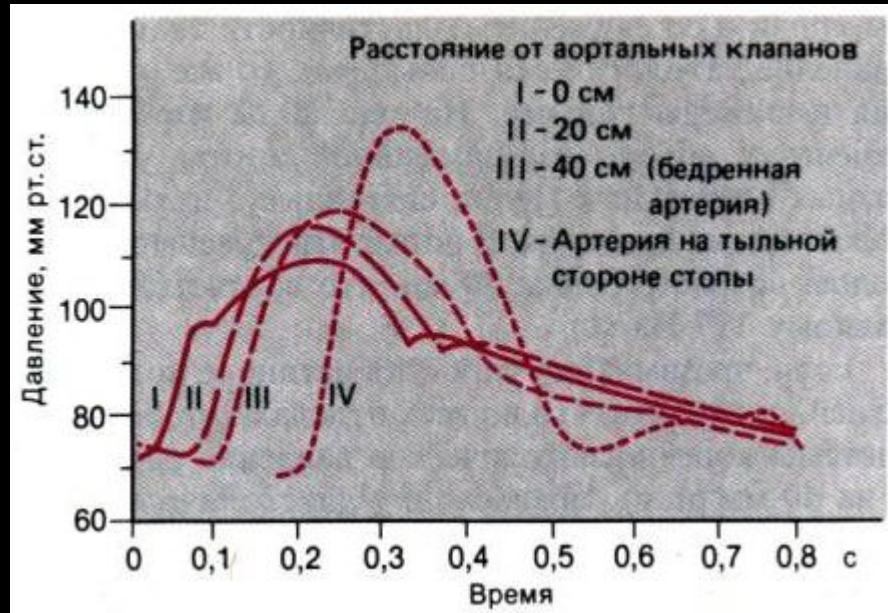
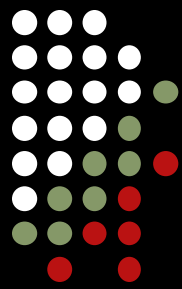
Анакрота – ускоренное поступление крови в начале фазы быстрого изгнания;

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

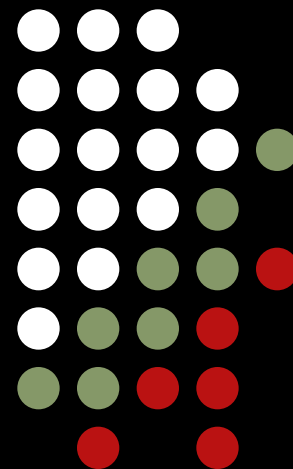


Увеличение систолического давления и диастолический подъем особенно хорошо выражены в тыльной артерии стопы. Сдвиг кривых в направлении горизонтальной оси соответствует времени, необходимому для распространения пульсовой волны по артериям



# Венозная система

---



# Венозная система

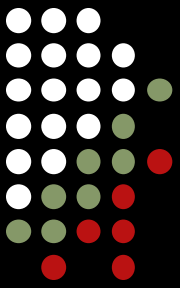


характеризуется большим объемом (50% ОЦК)  
и низким давлением.

Венозная система играет роль резервуара  
крови.

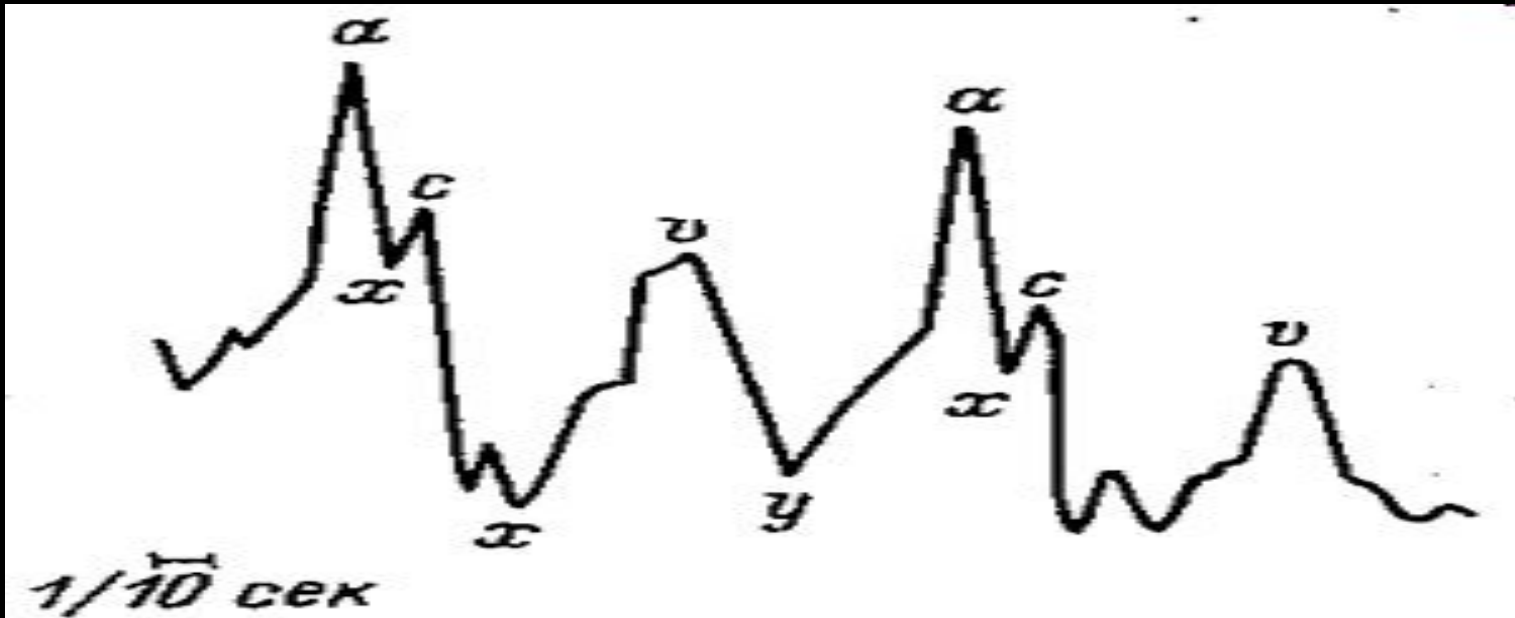
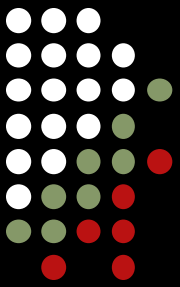
В случае кровопотери АД и капиллярный  
кровоток поддерживаются на постоянном  
уровне за счет уменьшения объема крови в  
венах, а не в артериях.

# На кровоток в венах влияет:

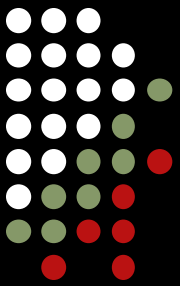


1. сокращение сердца,
2. сокращения мышц конечностей,
3. давление, оказываемого диафрагмой на органы брюшной полости,
4. клапанный аппарат,
5. дыхание (при расширении грудной клетки давление в этой полости уменьшается, кровь засасывается из вен головы и брюшной полости),
6. перистальтические сокращения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

# Флебодграфия - запись кривой венозного пульса



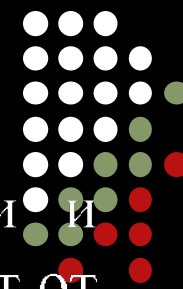
*a*(atrium) - отражение систолы предсердий,  
*c*(carotis) – пережатие вен прилегающими  
артериями; *v*(ventriculus) – отражение систолы  
желудочков;



## **Физиологические факторы, определяющие движение крови по сосудам**

### **Разность давлений:**

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

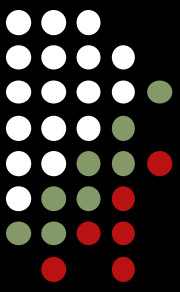


## 2. Периферическое сопротивление:

- **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.

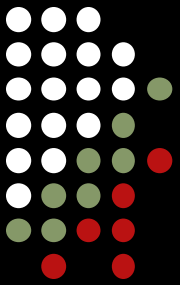
против 130 мм.рт.ст. в аорте). Под действием этого давления сосуды ниже сердца (вены) растягиваются и депонируют около 500 мл крови, которая при переходе в горизонтальное положение возвращается к сердцу (клиностатическая проба).

- влияние сил, действующих на сосуды снаружи

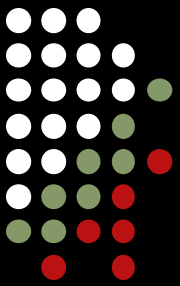
Механическое напряжение тканей передается на сосуды. В первую очередь это касается сосудов скелетных мышц.



# Факторы, определяющие величину артериального давления



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



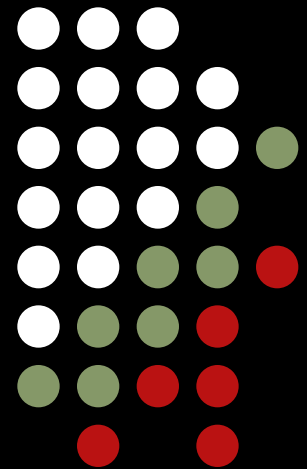
## Показатели артериального давления:

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

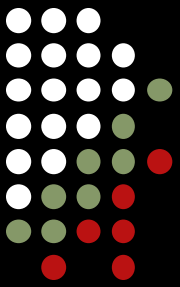
для магистральных сосудов -  $P_{\text{ср.}} = P_{\text{мин.}} + \frac{P_{\text{макс.}} - P_{\text{мин.}}}{2}$

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

# Микроциркуляторное русло

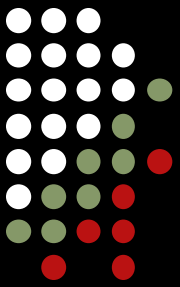


# Классификация капилляров по строению стенки:



- **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).

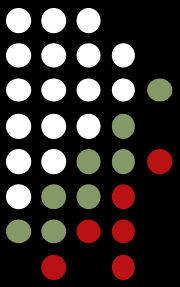
# Движение крови в микрососудах



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



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

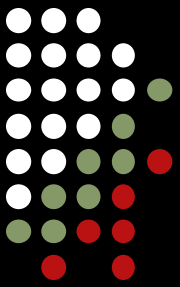
$\frac{dm}{dt}$  - скорость диффузии,

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

$D$  - коэффициент диффузии Крота,  
 $S$  - площадь диффузии.

# Фильтрация и реабсорбция

**зависят:**

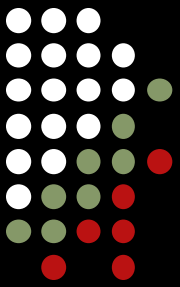


от гидростатического давления в капиллярах ( $P_{гк}$ ),

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



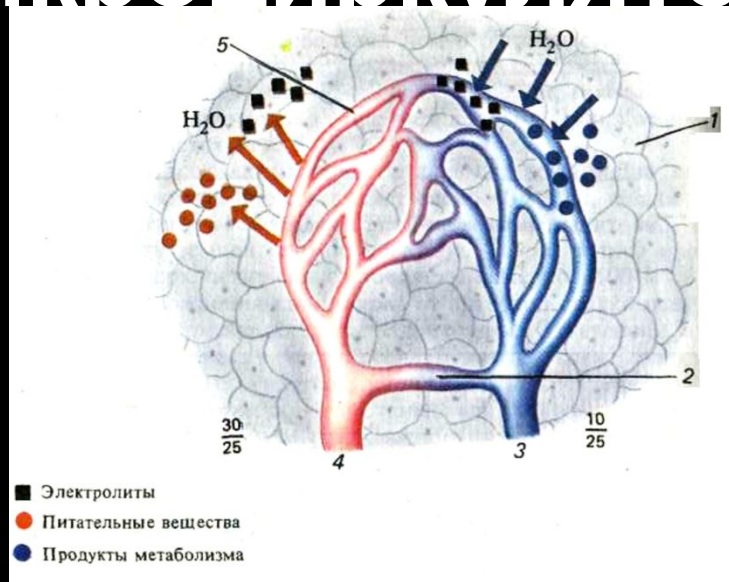
# Скорость транспорта ( V )



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

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

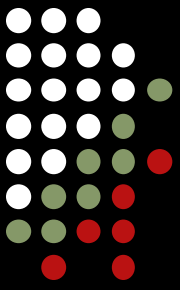
# Обмен веществ в пределах микроциркуляторного русла



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