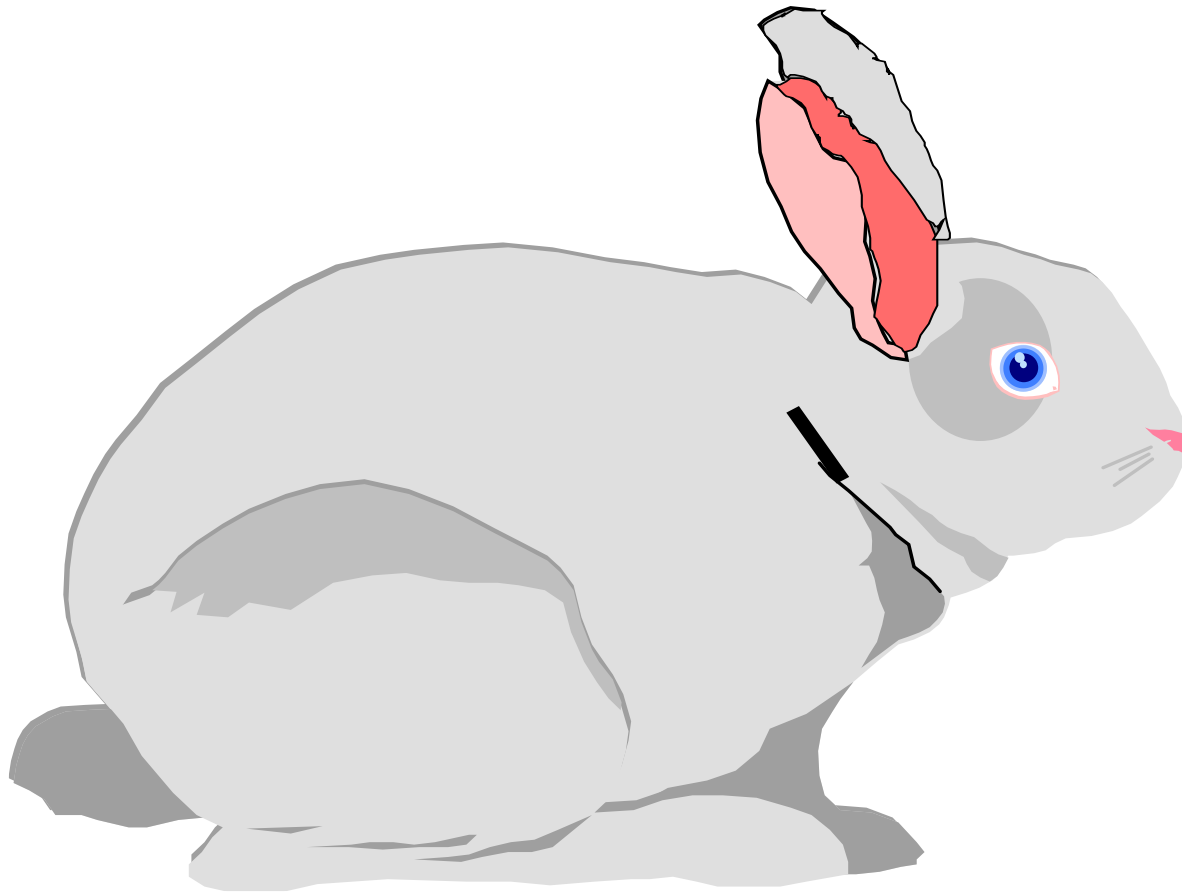


# Исторические факты

- Вальтер (1842) - 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



# **НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 1998 ГОДА ПО ФИЗИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ**

- **Роберт Фурчготт** (*Университет штата Нью-Йорк*)
  - **Луис Игнарро** (*Калифорнийской университет*)
  - **Ферид Мурад** (*Медицинская школа Техасского унив-та*)
  - **Сальвадор Монкада** - **Университетский колледж в Лондоне**
  - **NO (оксид азота) образуется и выделяется клетками эндотелия, расслабляет гладкие мышцы артериальных сосудов, определяет уровень артериального давления. Ацетилхолин, нитроглицерин и др. вазодилататоры вызывают эффект через синтез оксида азота.**
-

# Гемодинамика

- **Системная гемодинамика** - движение крови в сердце и магистральных сосудах
- **Региональная или органная гемодинамика** - кровоснабжение органов
- **Микроциркуляция или тканевая гемодинамика** - кровоснабжение тканей, движение крови в мельчайших сосудах



# Общая гемодинамика

- **Системная гемодинамика - движение крови в сердце и магистральных сосудах**
- **Ее теоретическая основа - гидродинамика, т.е. раздел физики, описывающий закономерности движения жидкости по трубкам**

## Общая гемодинамика

- Основной закон системной гемодинамики о соотношении между объемной скоростью кровотока ( $Q$ , например, МОК), величиной градиента кровяного давления ( $P_2 - P_1$ ) и сопротивлением току крови ( $R$ ).

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

Это основная гемодинамическая формула

- или  $(P_1 - P_2) = Q \times R$ ;
- или  $R = (P_1 - P_2) / Q$
- Линейная скорость кровотока ( $V$ ) =  $Q/S$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения

## Общая гемодинамика

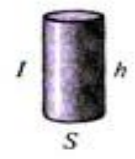
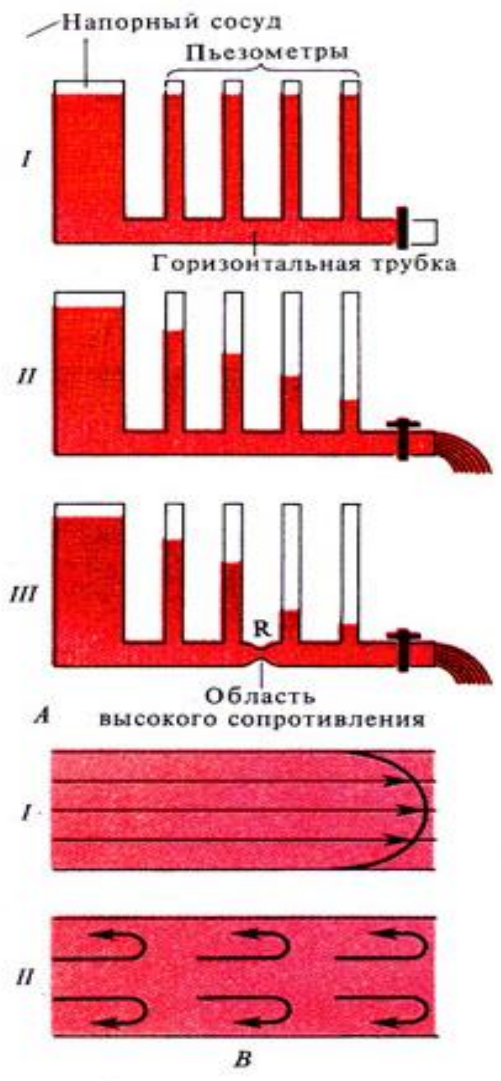
**Периферическое сопротивление – R-  
рассчитывается по формуле  
Пуазейля:**

$$R = 8 L \eta / 3,14 r^4$$

**Где L - длина сосуда,  $\eta$  – вязкость  
крови, r – радиус сосуда**

**Периферическое сопротивление  
составляет 900-2500 дин x с x см-5**

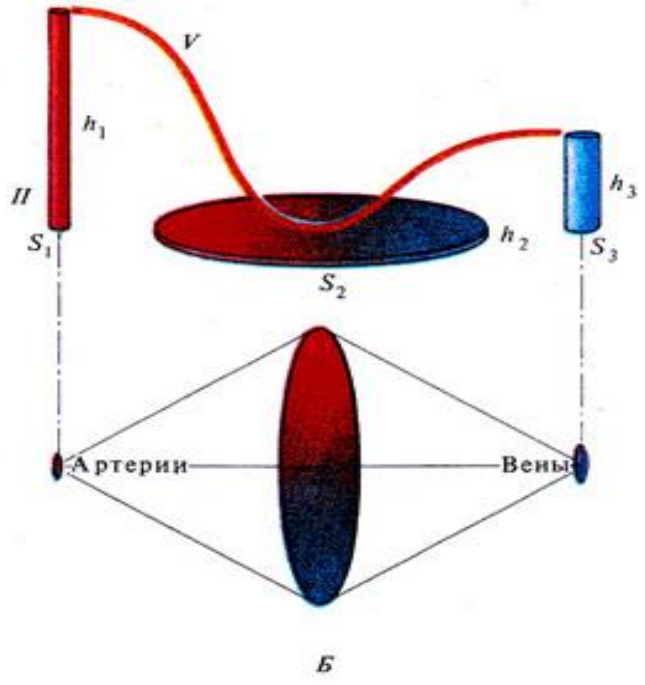




$$V = \frac{h}{l}$$

$$Q = \frac{Sh}{l}$$

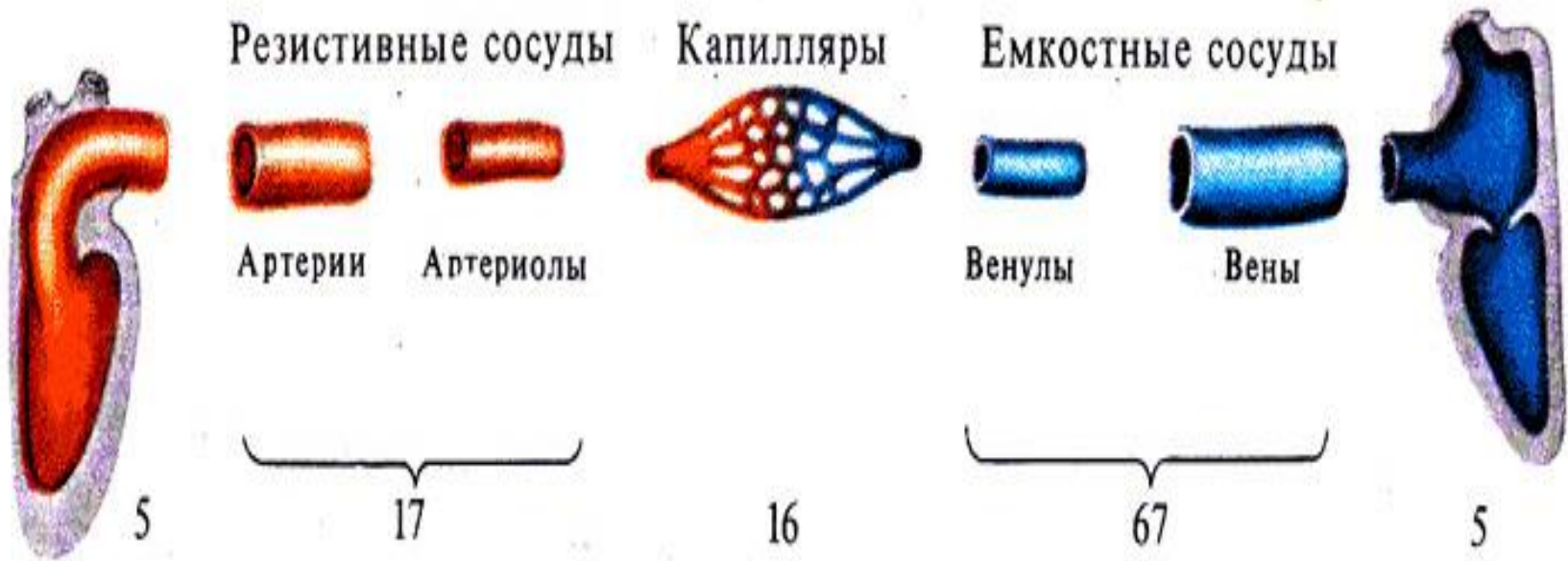
$$Q_1 = \frac{S_1 h_1}{l} \quad Q_2 = \frac{S_2 h_2}{l} \quad Q_3 = \frac{S_3 h_3}{l} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3$$



# Общая гемодинамика

**Функциональная классификация кровеносных сосудов (по Б. Фолкову):**

- **упруго-растяжимые сосуды, или сосуды «компрессионной камеры», или «сосуды котла» (аорта, легочная артерия, крупные артерии)**
- **Резистивные сосуды (артериолы, венулы)**
- **нутривные, или обменные сосуды (капилляры)**
- **емкостные сосуды (вены)**
- **шунтирующие сосуды (анастомозы между артериолами и венулами)**

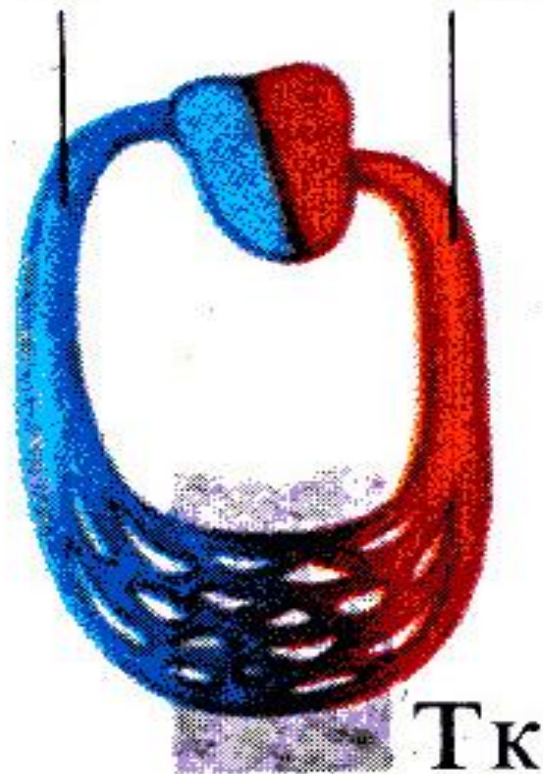


Содержание крови, % от общего количества

A

75% крови  
Русло  
емкостных  
сосудов

25% крови  
Русло  
резистивных  
сосудов



Русло  
обменных  
сосудов

# Общая гемодинамика

**Функциональная классификация сосудов. по Б.И. Ткаченко.**

- 1. Генератор давления и расхода крови (сердце)**
- 2. Сосуды высокого давления (аорта и крупные артерии)**
- 3. Сосуды-стабилизаторы давления (мелкие артерии и артериолы)**
- 4. Распределители капиллярного кровотока (терминальные сосуды, например, прекапиллярные сфинктеры)**

**(См. продолжение)**

## **Общая гемодинамика**

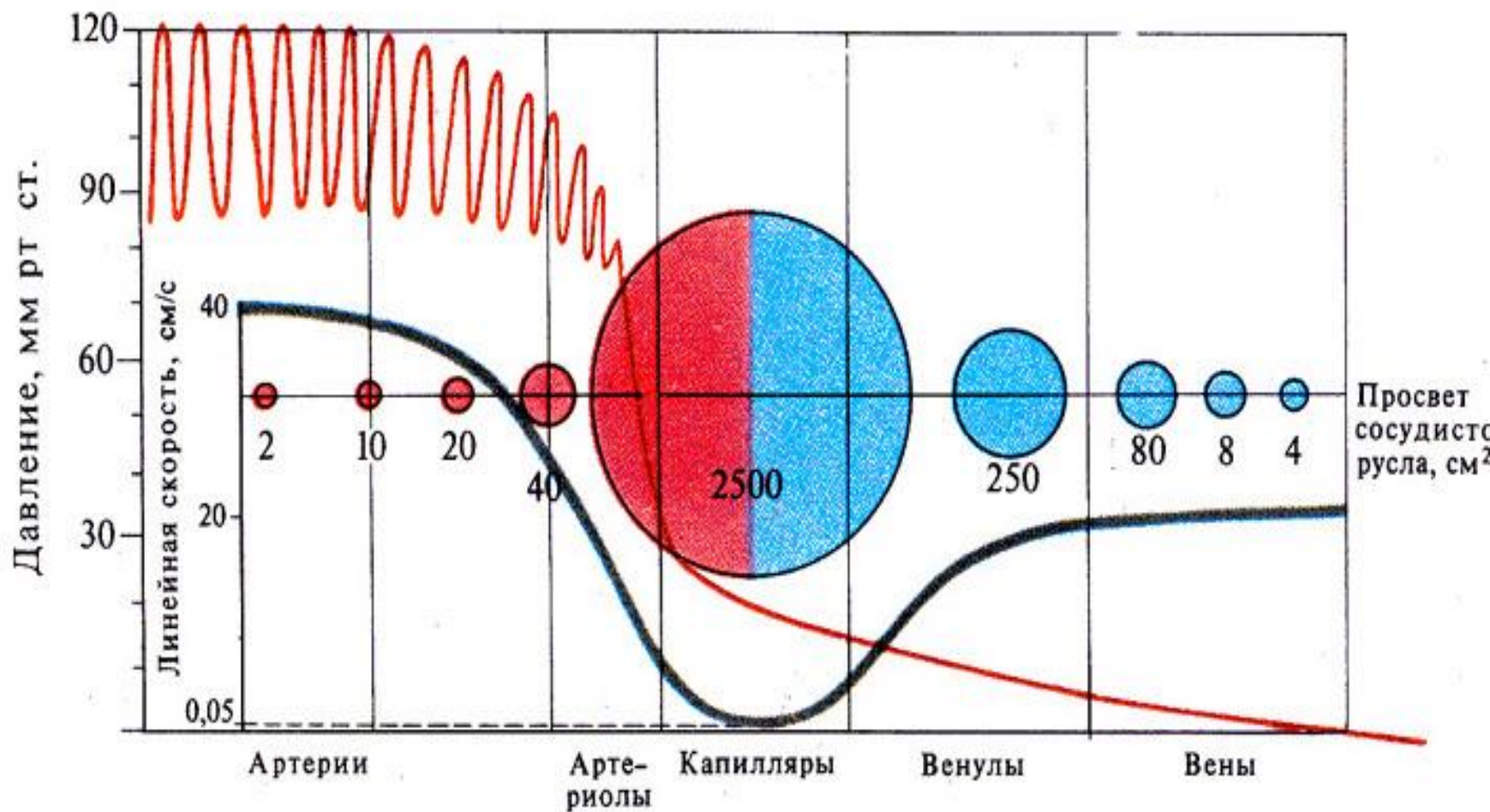
**Продолжение классификации сосудов Б.И, Ткаченко**

- 5. Обменные сосуды (капилляры и посткапиллярные венулы)**
- 6. Аккумулирующие сосуды (венулы и мелкие вены)**
- 7. Сосуды возврата крови (крупные вены полые вены)**
- 8. Шунтирующие сосуды (анастомозы между артериолами и венулами)**
- 9. Резорбтивные сосуды (лимфатические сосуды)**

## Общая гемодинамика

### Изменение основных гемодинамических показателей по ходу сосудистого русла ( $Q$ , $V$ , $S$ , $P$ )

- 1) Объемная скорость ( $Q$ ) постоянна, т.е. минутный объем кровотока (МОК) по ходу сосудистого русла не меняется в данный момент времени
- 2) Линейная скорость ( $V=Q/S$ ) изменяется - она максимальна в аорте (50 см/с) и минимальна в капиллярах (0,5 -1,0 мм /с), так как суммарная площадь поперечного сечения ( $S$ ) минимальна в аорте и максимальна - в капиллярах (в 600 раз больше, чем в аорте)



*Б*

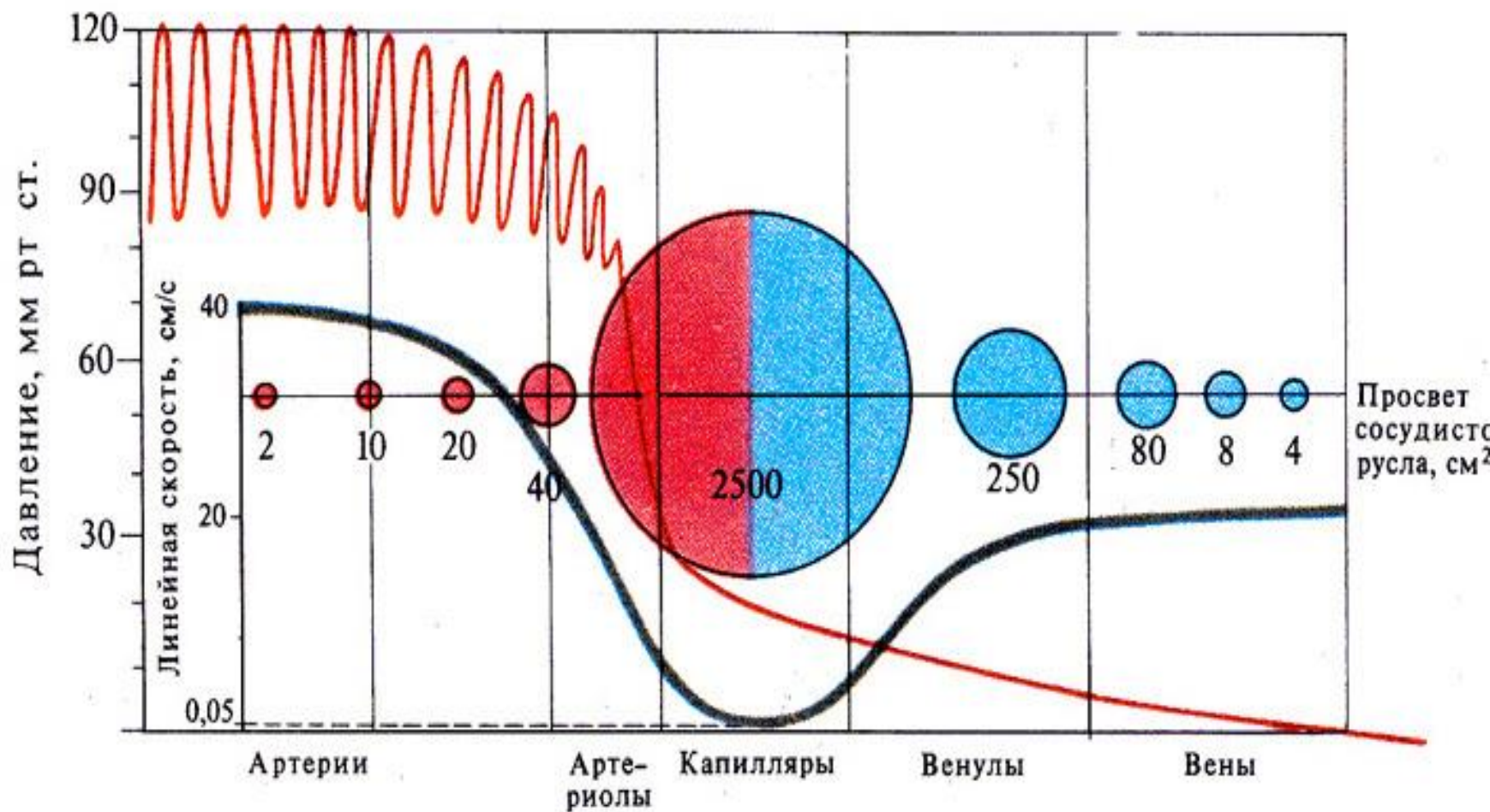


## Общая гемодинамика

Изменение основных гемодинамических показателей  
по ходу сосудистого русла.

3) Кровяное давление (Р) по ходу сосудистого русла снижается, но не равномерно:

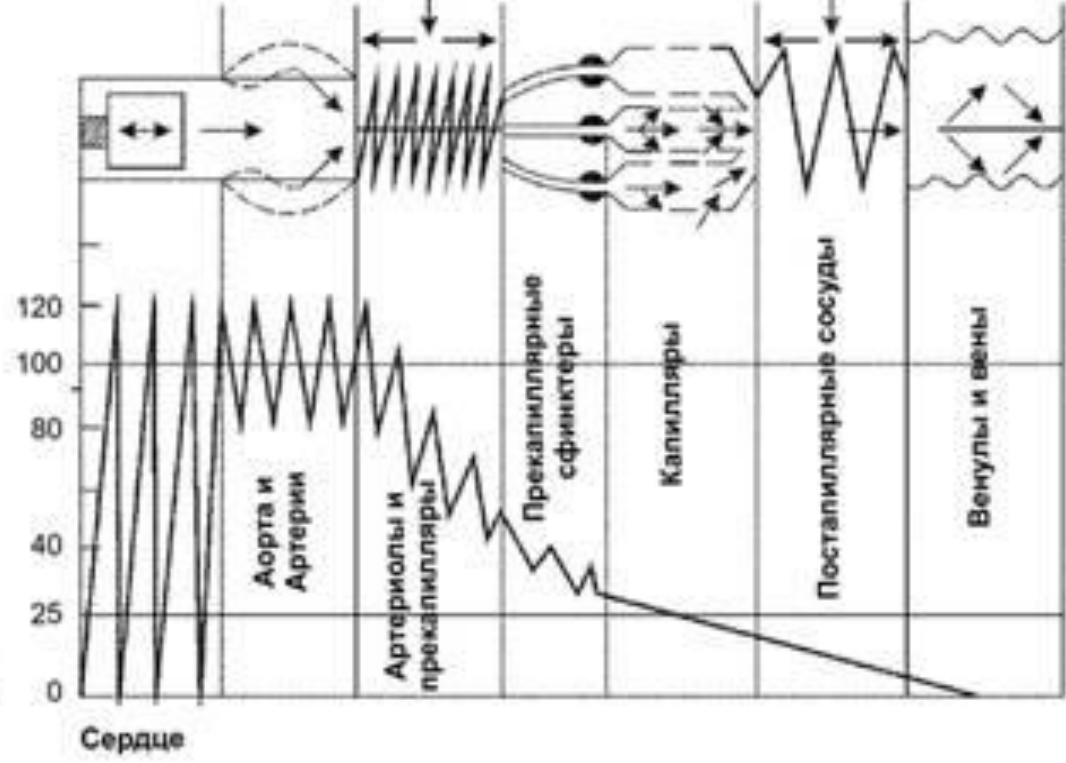
- оно максимально в аорте (120/80 мм рт. ст.) и минимально - в полых венах (близко к 0 мм рт. ст.).
  - в капиллярах на артериальном конце давление составляет 30-35 мм рт. ст., на венозном - 10-17 мм рт.ст.
- Самое большое падение артериального давления - в мелких артериях и в артериолах (т.е. в резистивных сосудах)



*Б*

мм ртутного столба

**А**



сантиметры в секунду

**Б**

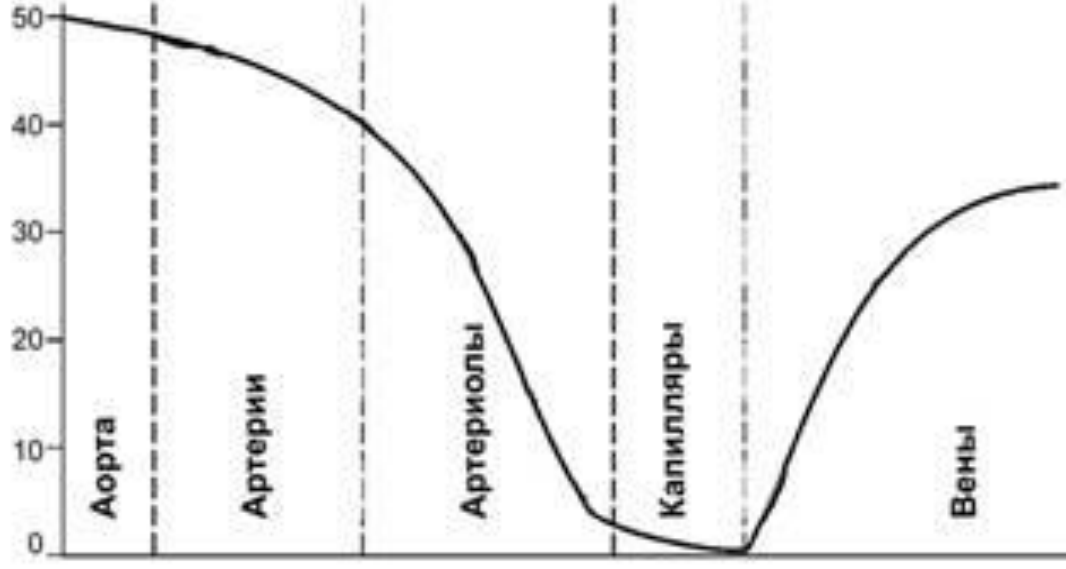


Таблица. Гемодинамические параметры

Сосуды	Давление, мм рт. ст.	Линейная скорость, см/ с
Аорта	120/80	50
Крупные артерии	110/70	13
Малые артерии	80 – 90	1- 6
Артериолы	40 - 60	0,3 - 1,0
Капилляры	30 - 35 - арт. часть 10 -17 - вен.часть	0,05 - 0,1
Венулы	12-18	0,07
Вены среднего калибра	5 – 8	1.5
Полые вены	1 – 3	33

## Общая гемодинамика

Распределение энергии, затрачиваемой левым желудочком на изгнание крови в большой круг кровообращения:

10% - на продвижение крови в крупных и средних артерий.

85% - на продвижение крови в мелких артериях, артериолах и капиллярах

5% - на продвижение крови по всем венозным сосудам

# Аорта

Особенности движения крови по аорте

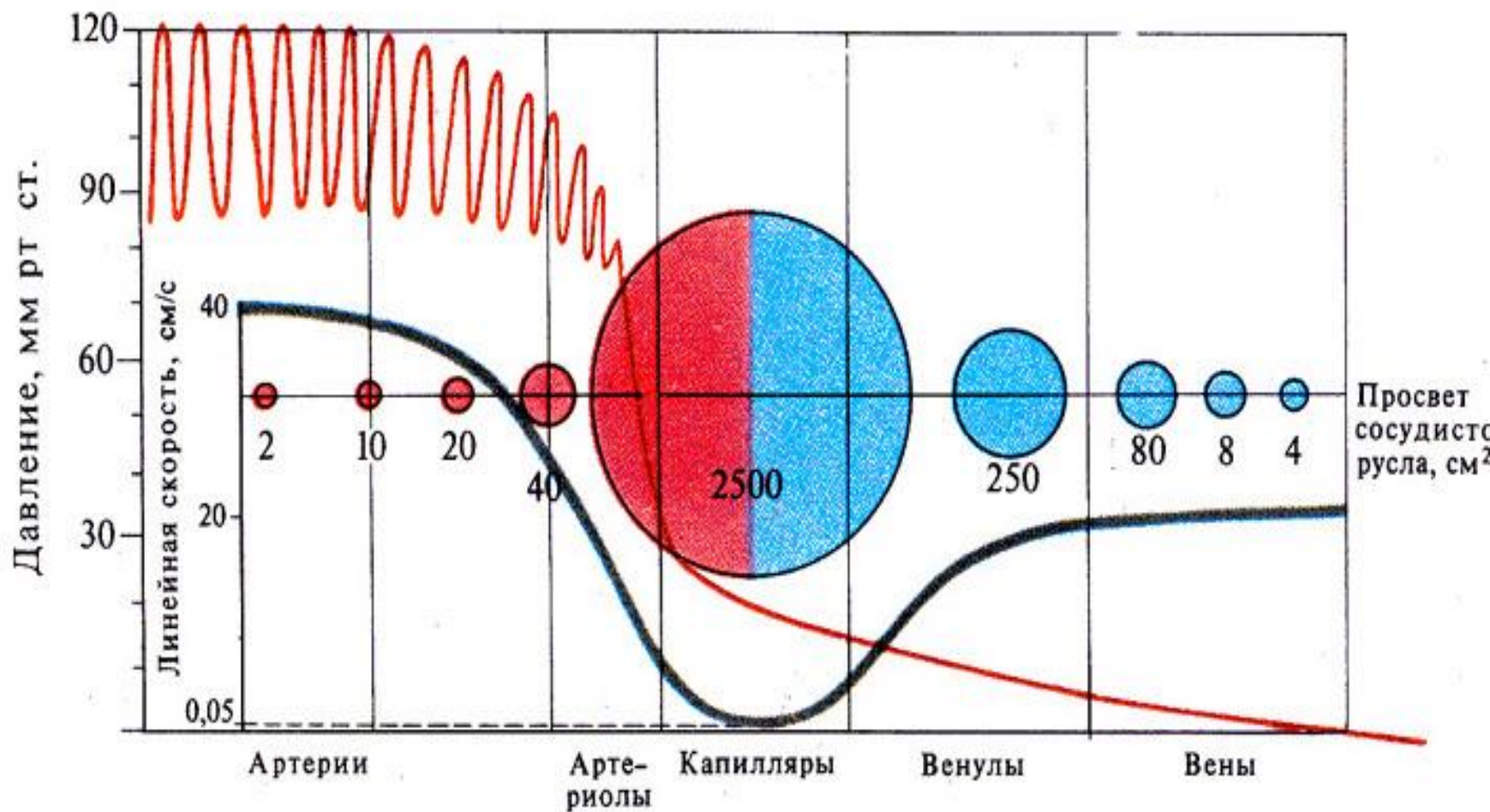
(упруго-растяжимые **сосуды**, компрессионная камера, эластическая камера, сосуды котла, сосуды высокого давления\*)

1. Обладает высокой упругостью и растяжимостью
2. Переводит часть кинетической энергии, развиваемой сердцем во время систолы, в энергию эластического напряжения артериальных стенок. Тем самым превращает ритмический выброс крови в равномерный кровоток (т.е. во время диастолы желудочков кровь продолжает проталкиваться по ходу сосудистого русла).
3. АД – 120-125 мм рт.ст.,  $V$  – 50 см/с

## Крупные артерии (плечевая, бедренная) и артерии среднего калибра

Подобно аорте – это упруго-растяжимые сосуды (компрессионная камера, эластическая камера, сосуды котла, сосуды высокого давления, сосуды распределения)

1. Обладают высокой упругостью и растяжимостью
2. Превращают ритмический выброс крови в равномерный кровоток
3. Кровоток имеет пульсирующий характер, в связи с чем параметры АД (объемная и линейная скорость, АД) меняются на протяжении цикла
4. Систолическое АД – 120, диастолическое - 80 мм рт.ст, пульсовое - 40 мм рт. ст. , среднее давление (ДД+ 1/3 ПД) - 93 мм рт. ст. , Vлин. –13 см/с
5. Высокое давление (его падение в сравнении с давлением в аорте не превышает 10%)



*Б*



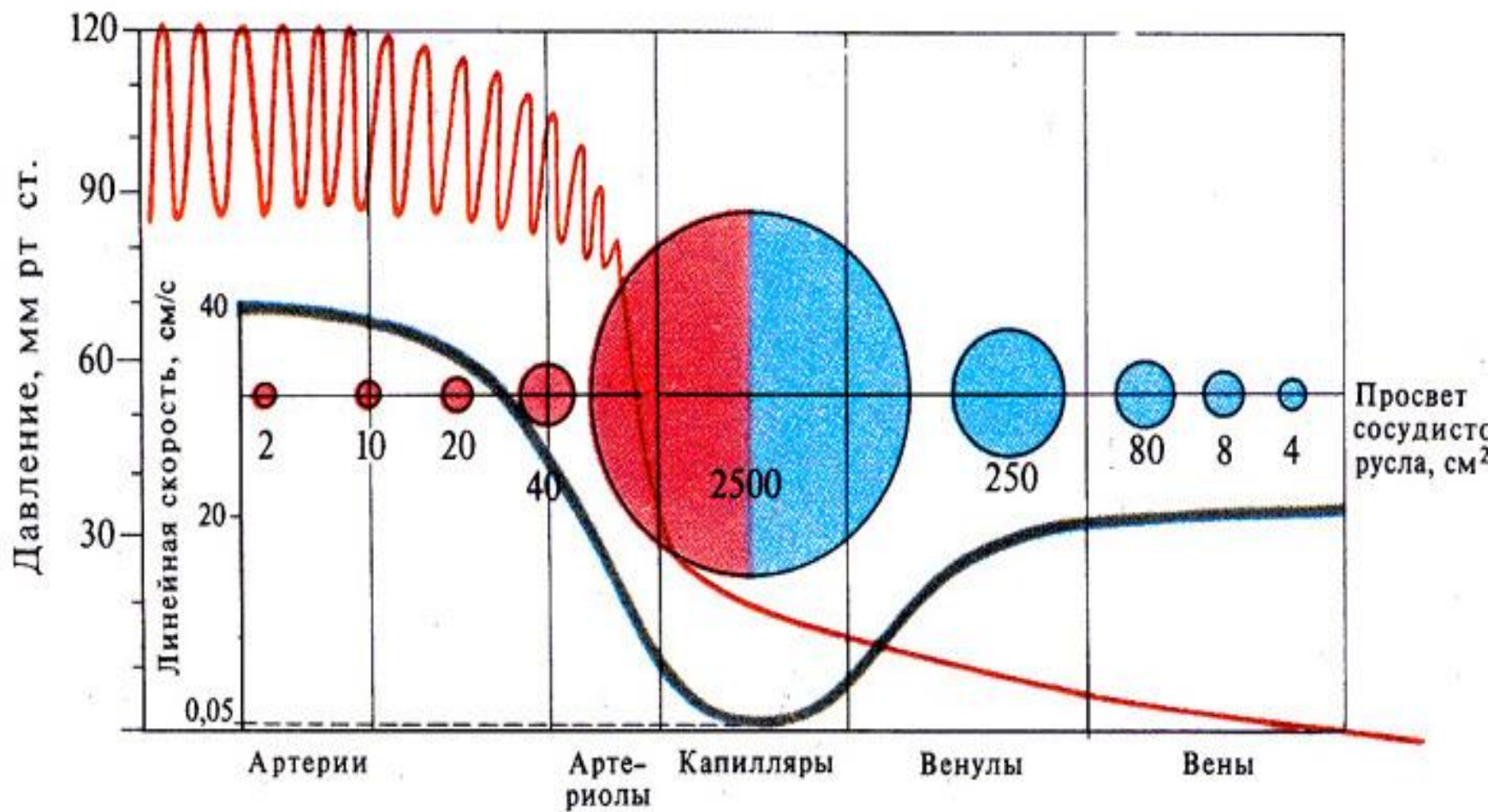
# **ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)**

- **Систолическое АД (САД, СД)**
- **Диастолическое АД (ДАД, ДД)**
- **Пульсовое АД (ПАД, ПД) = САД-ДАД**
- **Среднее АД ( АД<sub>ср</sub>) = ДАД + 1/3 ПАД**

## **Особенности движения в мелких артериях и артериолах, включая прекапиллярные сфинктеры**

**(резистивные сосуды; сосуды-стабилизаторы давления, сосуды сопротивления)**

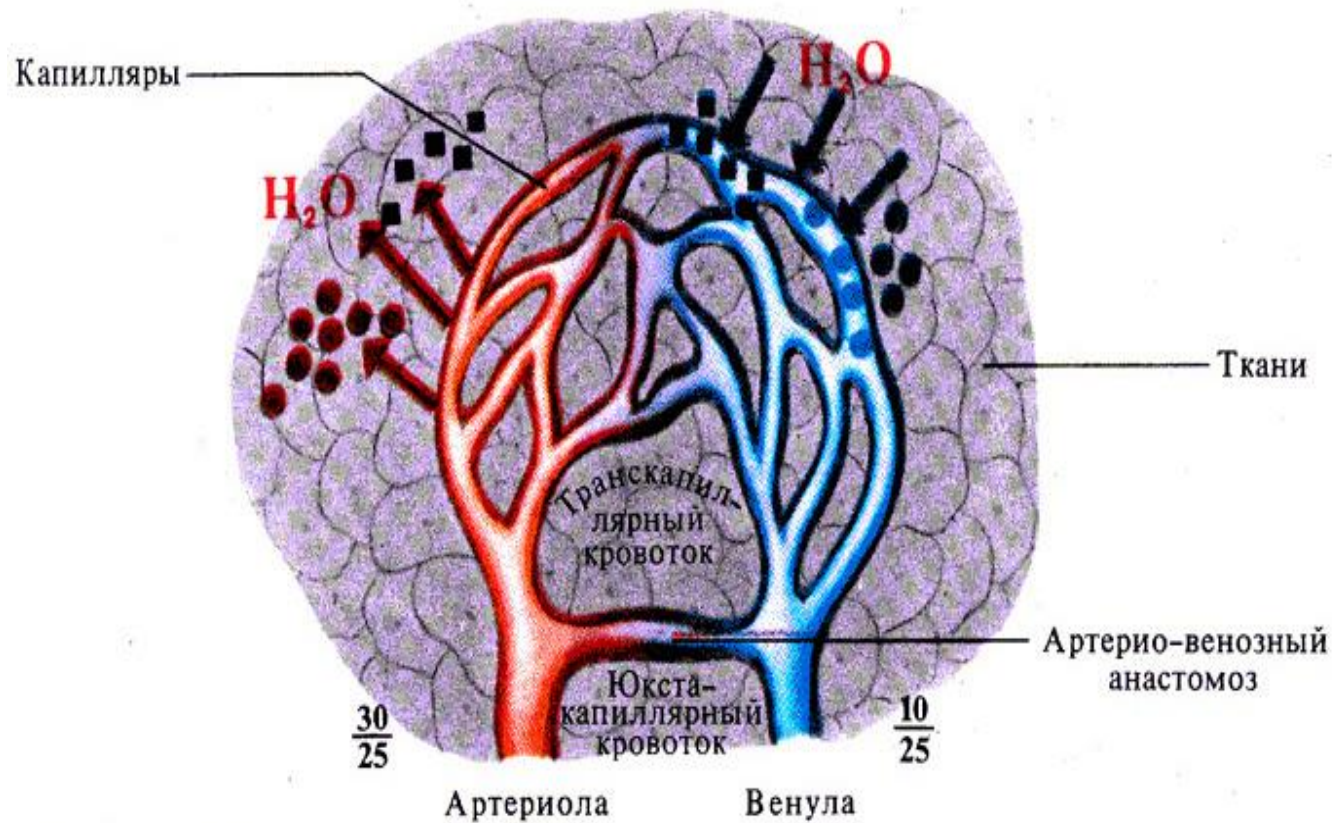
- 1. Малый диаметр сосудов, низкая растяжимость, высокое сопротивление току крови.**
- 2. Выраженное падение АД (артерии - 80-90 мм рт.ст.; артериолы - 40-60 мм рт. ст.) и линейной скорости (6 см/с и 0,3 см/с**
- 3. На протяжении сердечного цикла кровоток постоянный, т.е. гемодинамические показатели – объемная (Q) и линейная (V) скорость кровотока и артериальное давление (P) не меняются.**



*Б*

# Прекапиллярные сфинктеры («краны» сердечно-сосудистой системы – по И.М. Сеченову)

1. Прекапиллярные сфинктеры - это часть резистивных сосудов , или сосудов-стабилизаторов давления\*, или сосудов сопротивления.
2. Они определяют состояние капилляра - его кровенаполнение:
  - А. при расслаблении сфинктера капилляр открыт, функционирует;
  - Б. при сокращении сфинктера капилляр закрыт.

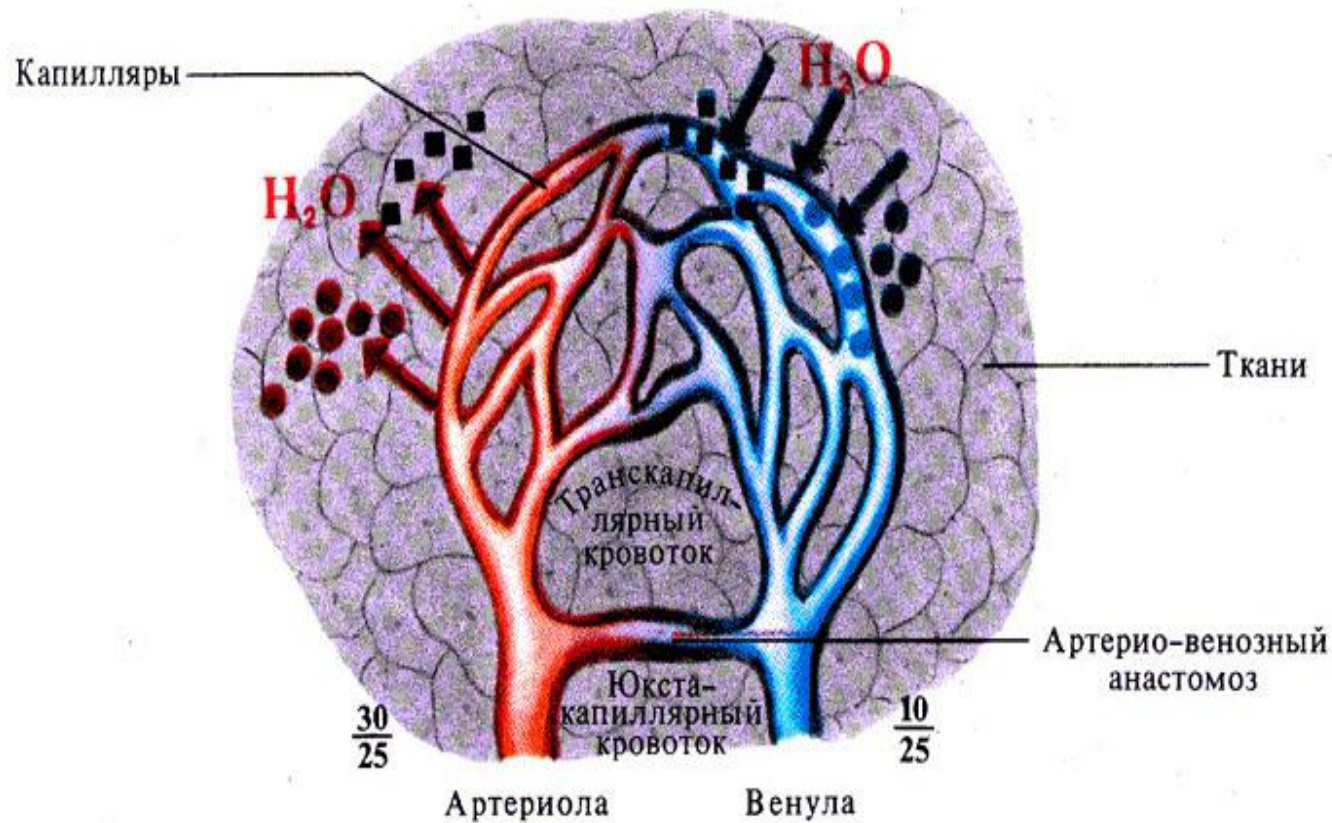


- Электролиты
- Питательные вещества
- Продукты метаболизма

**Шунтирующие сосуды (артерио-  
венозные анастомозы, или  
артериоло-венулярные анастомозы)**

**При сокращенном состоянии  
прекапиллярного сфинктера кровь,  
минуя капилляры, проходит в  
венозное русло. Это явление  
называется «сбросом» крови.**

**Шунтирование обеспечивает  
непрерывность движения крови по  
сосудам в условиях закрытия  
капилляров.**



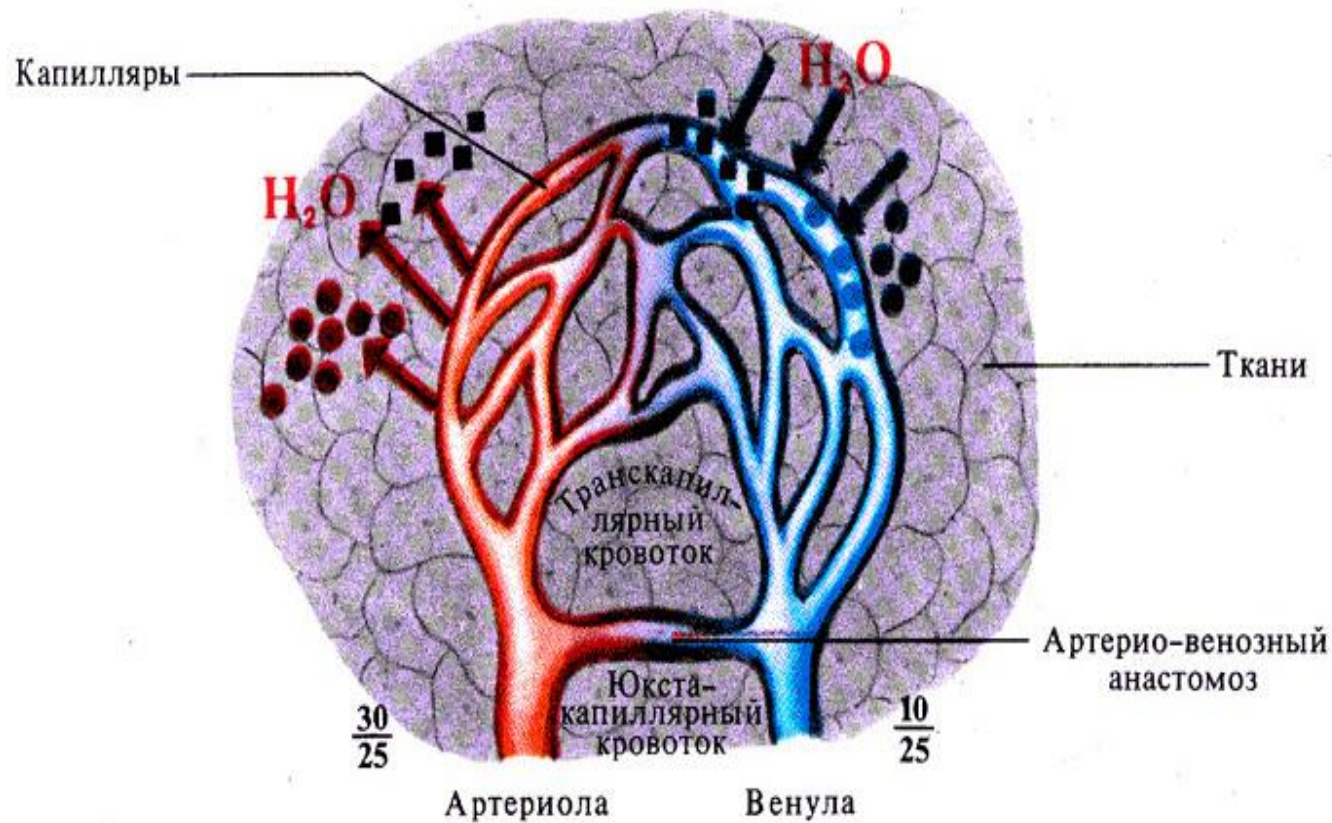
- Электролиты
- Питательные вещества
- Продукты метаболизма



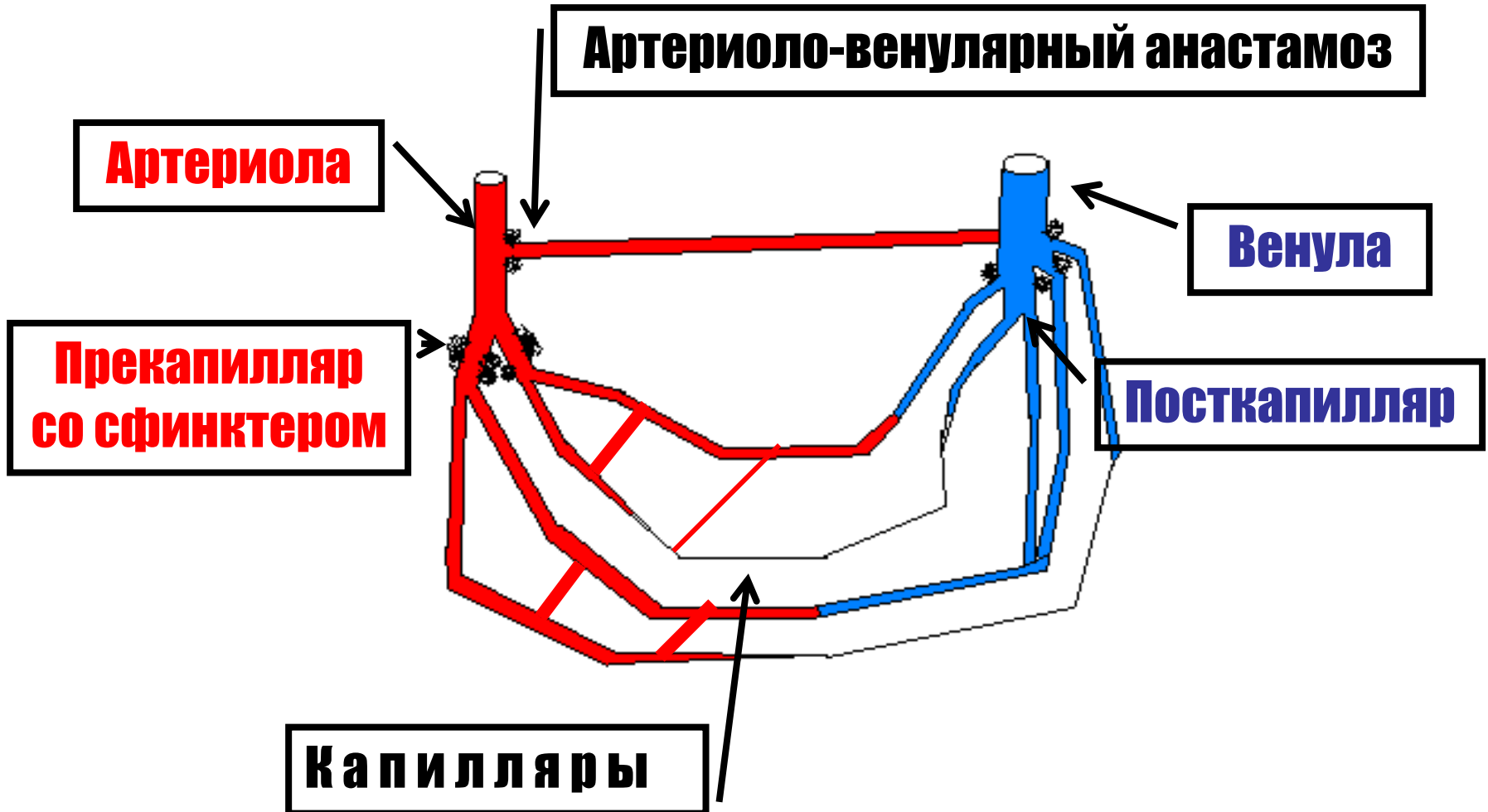
# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Микроциркуляция - движение крови в тканях по сосудам, диаметром менее 200 мкм
- Структурно-функциональная единица микроциркуляции - сосудистый модуль
- Составные части сосудистого модуля: артериола, метаартериола (прекапилляр, или магистральный капилляр), капилляры, посткапилляры, венулы, артериоло-венулярные анастомозы

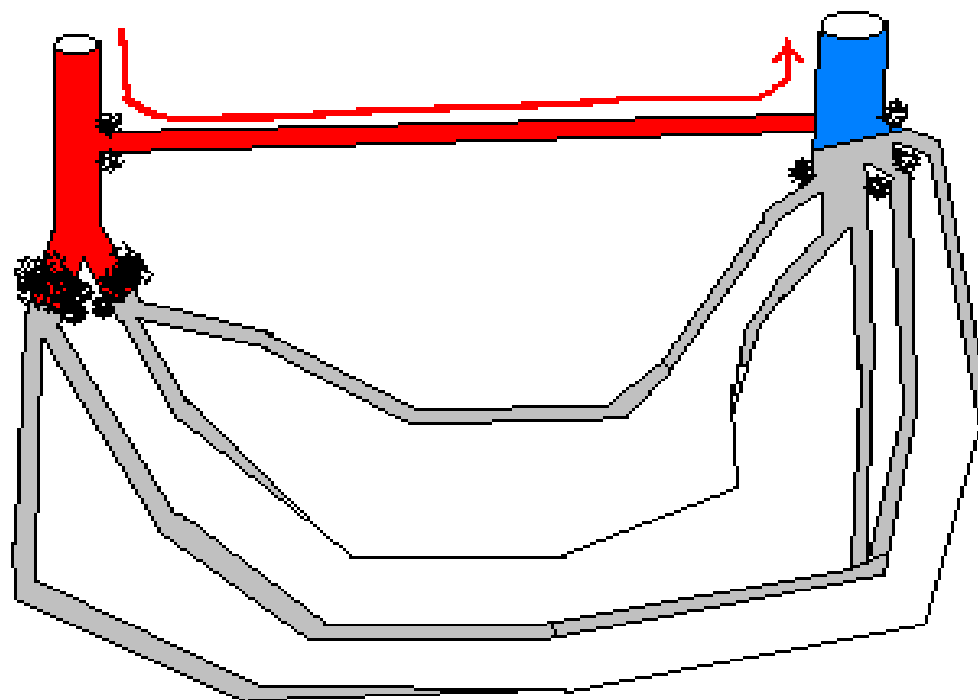




# СОСУДИСТЫЙ МОДУЛЬ



# ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ



# **ТИПЫ КАПИЛЛЯРОВ**

- **Магистральные капилляры (метаартериолы)**
- **Боковые капилляры (истинные капилляры)**
- **Капиллярные сети**
- **Дежурные капилляры (25%)**
- **Плазматические капилляры (10%)**
- **Молчащие капилляры (65%)**
- ***Соматические***
- ***Висцеральные или фенестрированные***
- ***Синусоидальные со щелями***

# Капилляры. Микроциркуляция

Особенности движения крови в капиллярах  
(нутривные, или обменные сосуды, питающие  
сосуды)

1. Очень короткие (длина 0,5 - 1,1 мм) и очень тонкие (диаметр -5 – 8 мкм).
2. В большом круге кровообращения на артериальном конце АД - 30-35 мм рт. ст., на венозном – 10-17 мм рт. ст. Линейная скорость - 0,5-1 мм/с.
3. Эти параметры обеспечивают реализацию основной функции капилляров - обмен газов и различных веществ между кровью и тканью.

## **ОБЩИЕ СВОЙСТВА КАПИЛЛЯРОВ**

- **Общее количество - 40 миллиардов**
- **Диаметр - 5-8 мкм, длина 0,5 - 1,1 мм**
- **Суммарная длина всех капилляров –  
100 000 км**
- **Наименьшая линейная скорость крови -  $<1$  мм/с**
- **Наибольшая площадь поверхности на единицу  
массы ткани -  $>50$  см<sup>2</sup>/г**
- **Очень малое расстояние между кровью и клетками  
ткани -  $<50$  мкм**
- **Большая плотность капилляров (в миокарде –до  
3000 на 1 куб. мм, в скелетных мышцах –до 400 на 1  
куб. мм.)**

## Движение крови в микрососудах

- В сосудах эритроциты стремятся расположиться в центре текущего потока крови.
- Поэтому вдоль стенок сосудов кровь движется с низким гематокритом.
- Ответвления, отходящие от крупных сосудов под прямыми углами, могут получать непропорционально меньшее количество эритроцитов (феномен скольжения плазмы)
- Этот феномен объясняет причину низкого (на 25%) гематокрита капиллярной крови

## Движение крови в микрососудах

### Критическое давление закрытия просвета сосудов.

- 1. В жёстких трубках соотношение между давлением и скоростью потока гомогенной жидкости линейное, в сосудах такой зависимости нет.**
- 2. Если давление в мелких сосудах уменьшается, то кровоток останавливается раньше, чем давление упадёт до нуля. Это касается прежде всего давления, продвигающего эритроциты через капилляры, диаметр которых меньше размеров эритроцитов.**
- 3. Ткани, окружающие сосуды, оказывают на них постоянное небольшое давление. При понижении внутрисосудистого давления ниже тканевого давления сосуды спадаются. Давление, при котором кровоток прекращается, называют критическим давлением закрытия.**



# Транскапиллярный обмен-1

**Транскапиллярный обмен – это перенос веществ из крови к тканям и из тканей в кровь через стенку капилляров.**

**В основе транскапиллярного обмена лежат три процесса:**

**1.Диффузия**

**2.Фильтрация**

**3.Реабсорция ( обратного всасывания)**

**Эти процессы обеспечиваются за счет системы микроциркуляции, т.е. движения крови по микроциркуляторному руслу (сосудистому модулю)**

# Транскапиллярный обмен-2

## Основа гистогематического барьера

1. Эндотелий капилляра
2. Базальная мембрана капилляра
3. Промежутки (фенестры, щели) между эндотелиоцитами капилляров

## Транскапиллярный обмен-3

В зависимости от строения эндотелиального каркаса капилляры делят на три типа:

1. Капилляры с непрерывной стенкой (закрытые капилляры) – отсутствуют промежутки между эндотелиоцитами (гладкие и скелетные мышцы, миокард, легкие, ЦНС, соединительная ткань). Особенно жесткое регулирование характерно для гематоэнцефалического барьера.
2. Капилляры с фенестрами (окошечками), или фенестрированные капилляры (почечные клубочки, слизистая кишечника). Способны пропускать вещества с большим диаметром
3. Капилляры с прерывистой стенкой, т.е. с большими щелями между эндотелиоцитами (костный мозг, печень, селезенка). Пропускают форменные элементы крови – эритроциты, лейкоциты, тромбоциты.

# Транскапиллярный обмен-4

Диффузия веществ через гистогематический барьер

- гидрофобные вещества проходят через фосфолипидный слой эндотелиоцитов,
- гидрофильные вещества проходят через гидрофильные поры ( каналы) эндотелиоцитов
- диффузия всех веществ осуществляется по закону Фика за счет наличия градиента концентрации вещества или градиента напряжения газа

# **Диффузионный закон ФИКА**

## **( для веществ с ограниченной диффузией)**

$$M = D \frac{S}{T} (C_{in} - C_{out}),$$

где  $M$  - объем диффузии,

$D$  - диффузионный коэффициент вещества,

$S$  - площадь поверхности капилляра,

$T$  - толщина мембраны капилляра.

$C_{in} - C_{out}$  -разность концентраций вещества  
внутри и снаружи капилляра

Для тонких мембран капилляров:

- $M = PS(C_{in} - C_{out})$  , где  $P$  - проницаемость,  $S$  - площадь поверхности

# **Диффузионный закон Фика (для веществ без ограничения диффузии)**

$$M = Q (C_a - C_v),$$

где Q - объемная скорость кровотока,  
C<sub>a</sub> - C<sub>v</sub> - артерио-венозная разность  
концентраций вещества

**Вещества, диффузия которых зависит от  
объема кровотока:**

- метаболиты**
- нутриенты типа мочевины и глюкозы**

# Транскапиллярный обмен-7

Скорость диффузии огромна:

-за 1 минуту через все капилляры диффундирует почти 60 л, а за сутки – 85 000 л

- за период прохождения крови по капилляру происходит 40-кратный обмен между кровью и тканями.

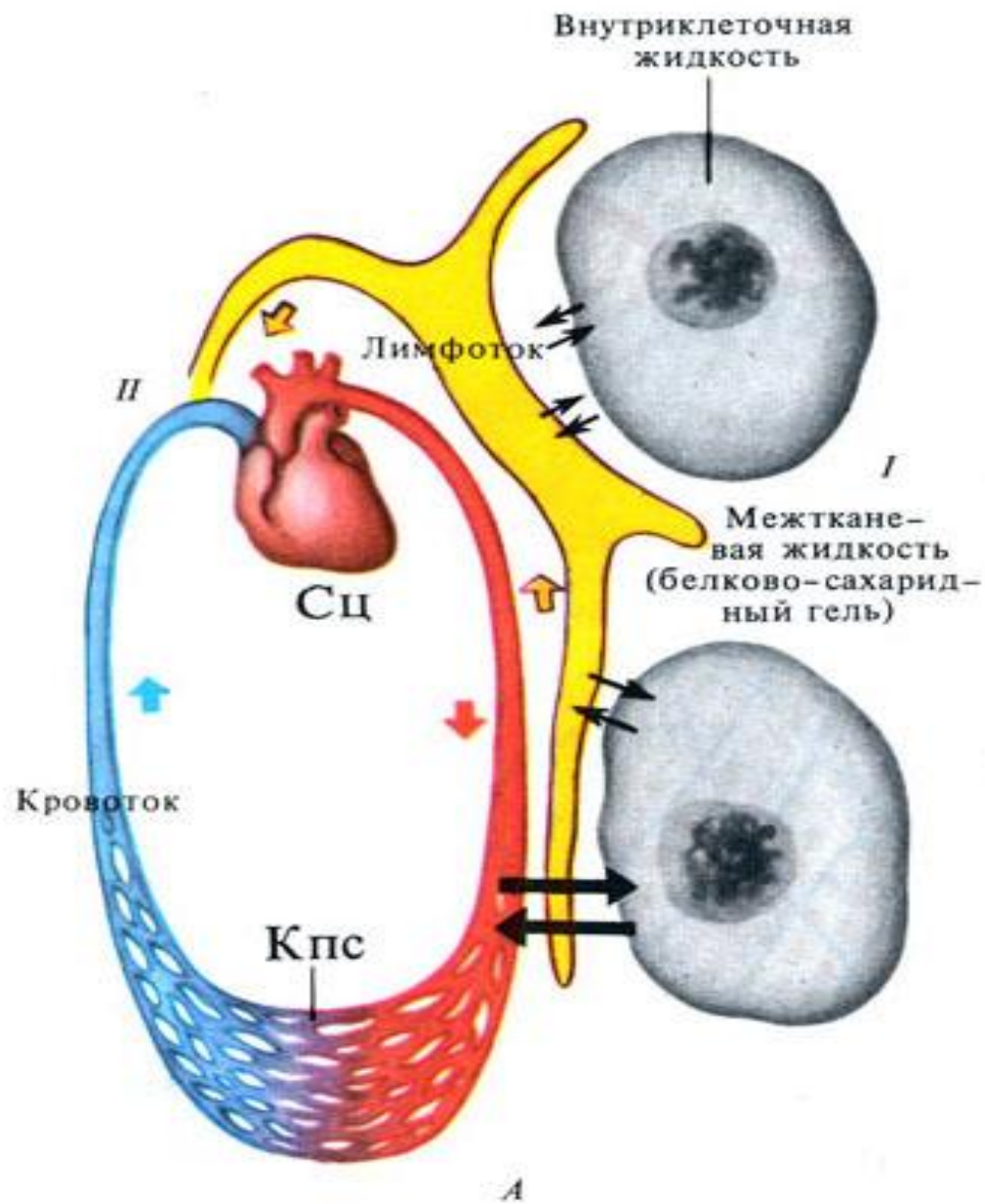
Лимитирующий фактор диффузии – проницаемость (проходимость) веществ через гистогематический барьер

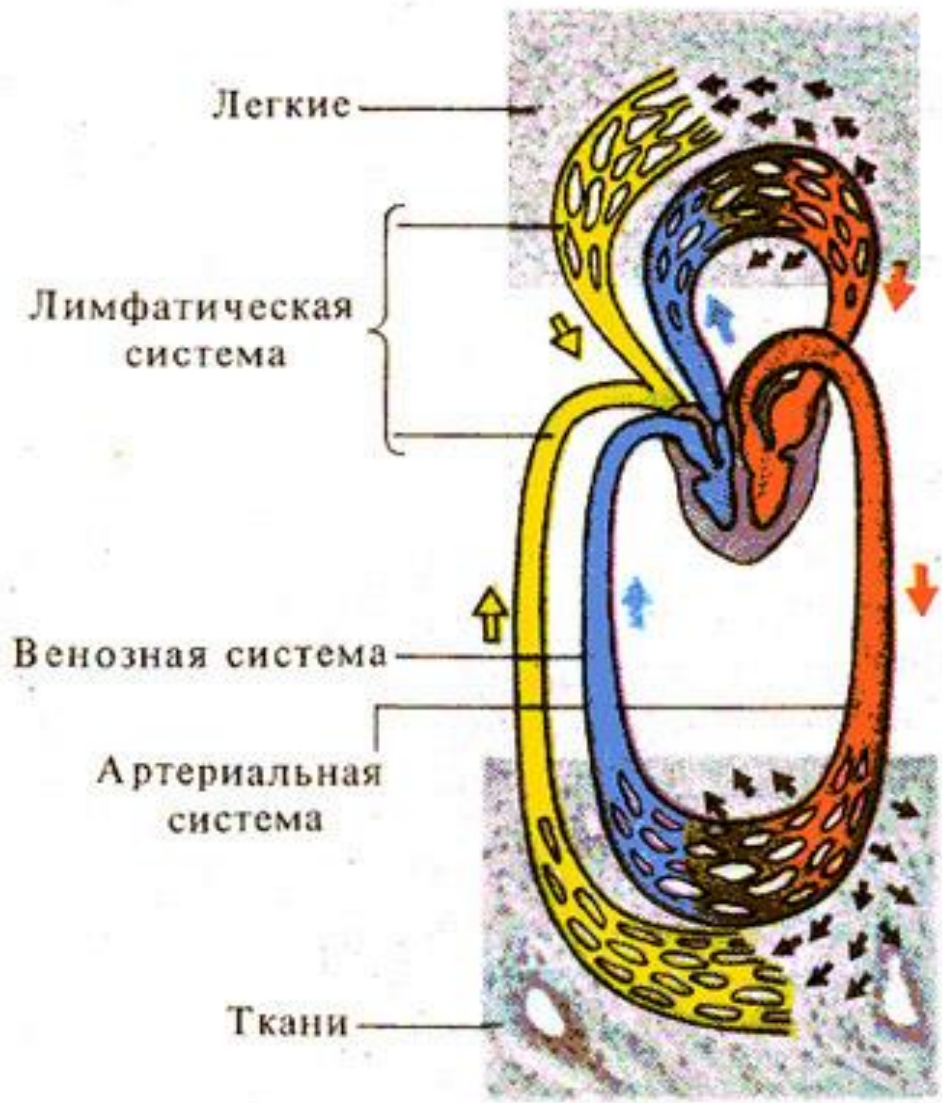
# Транскапиллярный обмен-8

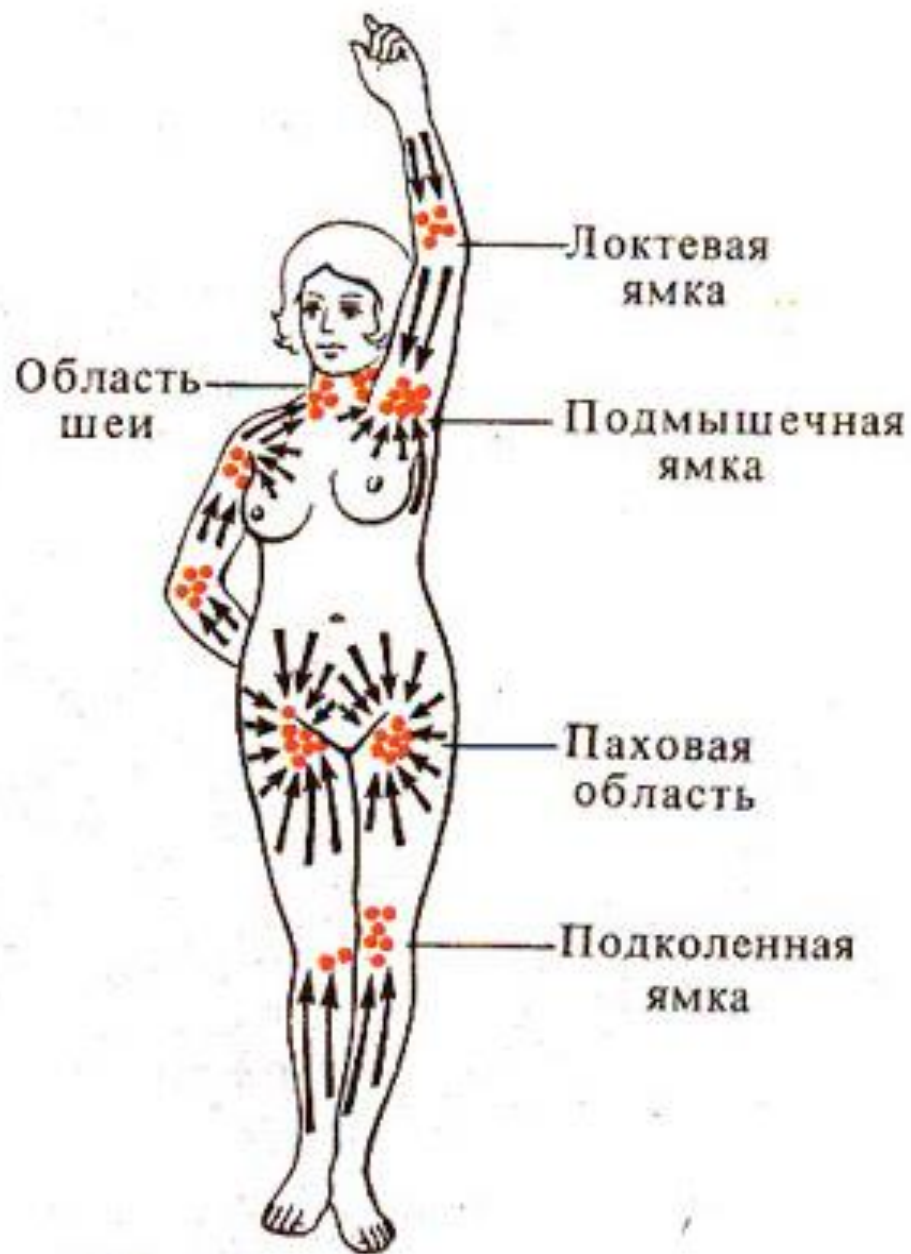
Фильтрация жидкой части крови вместе с растворенными в ней веществами и обратная реабсорбция жидкости - важнейший механизм транскапиллярного обмена

- При этом вышедшая из артериальной части капилляра жидкость (фильтрат) дренирует межклеточное пространство, очищая его от метаболитов и ненужных частиц.
- На венозной части капилляра жидкость вместе с метаболитами вновь поступает в капилляр (реабсорбируется) и переносится в венозное русло
- Часть фильтрата поступает в лимфатические капилляры и лимфатические узлы для разрушения крупных частиц и обезвреживания микроорганизмов. В последующем эта часть жидкости возвращается в венозное русло через грудной и лимфатический протоки









# **ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ЖИДКОСТИ**

- **Фильтруется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости (или 14 мл/мин)**
- **Реабсорбируется в кровь через стенку капилляров из тканей: 18 л/сут (или 12,6 мл/мин)**
- **По лимфатическим сосудам оттекает из тканей в кровь: 2 л/сут (или 1,4 мл/мин)**

## Транскапиллярный обмен-10

### **Силы, способствующие фильтрации жидкости**

1. Гидростатическое давление крови ( $P_{гк}$ ), т.е. давление в капилляре
2. Онкотическое давление интерстициальной (межклеточной) жидкости ( $P_{ои}$ )

### **Силы, препятствующие фильтрации жидкости (способствующие реабсорбции):**

1. Онкотическое давление плазмы крови ( $P_{оп}$ )
2. Гидростатическое давление межклеточной жидкости ( $P_{ги}$ )

# Закон ультрафильтрации Старлинга

$$V = K [ P_{гк} + P_{ои} - ( P_{ги} + P_{ок} ) ]$$

- где  $V$  - объем жидкости, проходящей через стенку капилляра в минуту,  
 $K$  - коэффициент фильтрации,  
 $P_{гк}$  - гидростатическое давление крови,  
 $P_{ои}$  - онкотическое давление интерстиция,  
 $P_{ги}$  - гидростатическое давление интерстиция,  
 $P_{ок}$  - онкотическое давление крови

## Транскапиллярный обмен-12

- Артериальная часть капилляра:

### **Силы, способствующие фильтрации:**

- 1) давление в капилляре ( $P_{гк}$ ) -32,5 мм рт.ст.
- 2) онкотическое давление в интерстиции ( $P_{ои}$ ) - 4,5 мм рт .с.

сумма -  $32,5 + 4,5 = 37$  мм рт. ст.

### **Силы, препятствующие фильтрации:**

- 1) онкотическое давление плазмы ( $P_{оп}$ ) -25 мм рт. ст.
- 2) гидростатическое давление в интерстиции ( $P_{ги}$ ) -3 мм рт .ст.

сумма -  $25 + 3 = 28$  мм рт. ст.

**Результирующая сила (фильтрационное давление)  
=  $37 - 28 = 9$  мм. рт. ст.**

## Транскапиллярный обмен-13

- Чем больше артериальное (гидростатическое) давление в капилляре, тем выше объемная скорость фильтрации.
- Так, в почках, где давление на артериальном конце капилляра составляет 70 мм рт. ст., за 1 минуту фильтруется 120 мл жидкости, т.е. почти в 10 раз больше, чем в тканевых капиллярах большого круга кровообращения (14 мл/мин)
- В капиллярах малого круга давление не превышает 5 мм рт. ст, поэтому в норме процесс фильтрации в них отсутствует. Но при гипертензии малого круга , т.е. при повышении АД выше 30 мм рт. ст. происходит фильтрация, что приводит к отеку легкого.



## Транскапиллярный обмен-13

### Венозная часть капилляра:

#### **Силы, способствующие фильтрации:**

- 1) давление в капилляре ( $P_{гк}$ ) -17 мм рт.ст.
- 2) онкотическое давление в интерстиции ( $P_{ои}$ ) - 4,5 мм рт .с.

Сумма -  $17 + 4,5 = 21,5$  мм рт. ст.

#### **Силы, препятствующие фильтрации:**

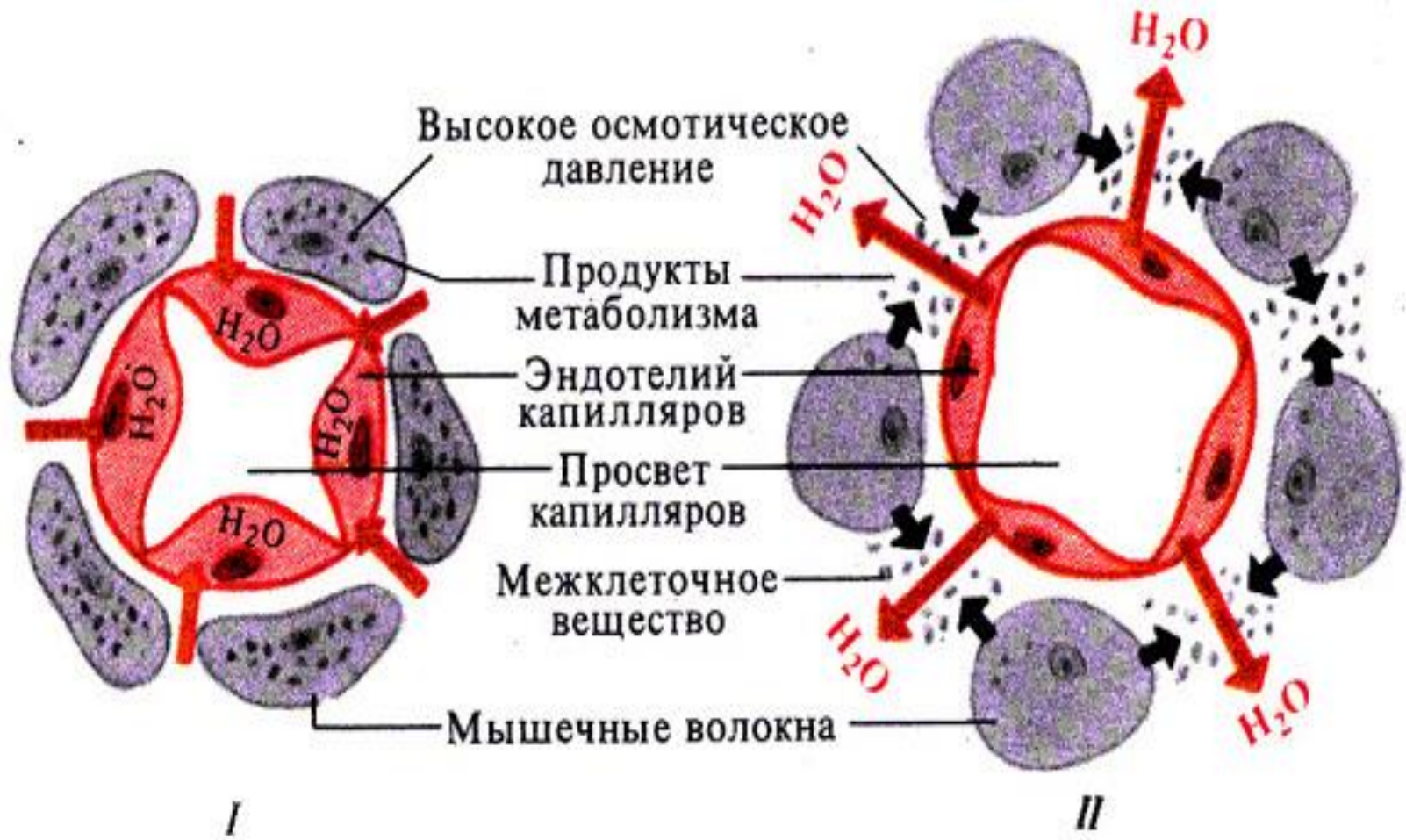
- 1) онкотическое давление плазмы ( $P_{оп}$ ) -25 мм рт.ст.
- 2) гидростатическое давление в интерстиции ( $P_{ги}$ ) -3 мм рт.ст.

Сумма -  $25 + 3 = 28$  мм рт. ст.

**Результирующая сила (реабсорбционное давление) =  $21,5 - 28 = - 6,5$  мм. рт. ст.**

## Транскапиллярный обмен -14

Таким образом, фильтрационное давление на артериальном конце капилляра выше ( 9 мм рт. ст.), чем реабсорбционное давление на венозном конце капилляра (6,5 мм. рт.ст.) Это объясняет почему объемная скорость фильтрации (20л /сутки) выше, чем объемная скорость реабсорбции (18 л/сутки)



# **Факторы развития отека**

- **Нарушения оттока лимфы**
- **Повышенная проницаемость капилляров для белков**
- **Сниженная концентрация белков плазмы**
- **Повышенное капиллярное гидростатическое давление (венозная обструкция, дисбаланс тонуса сосудов или высокий объем крови)**

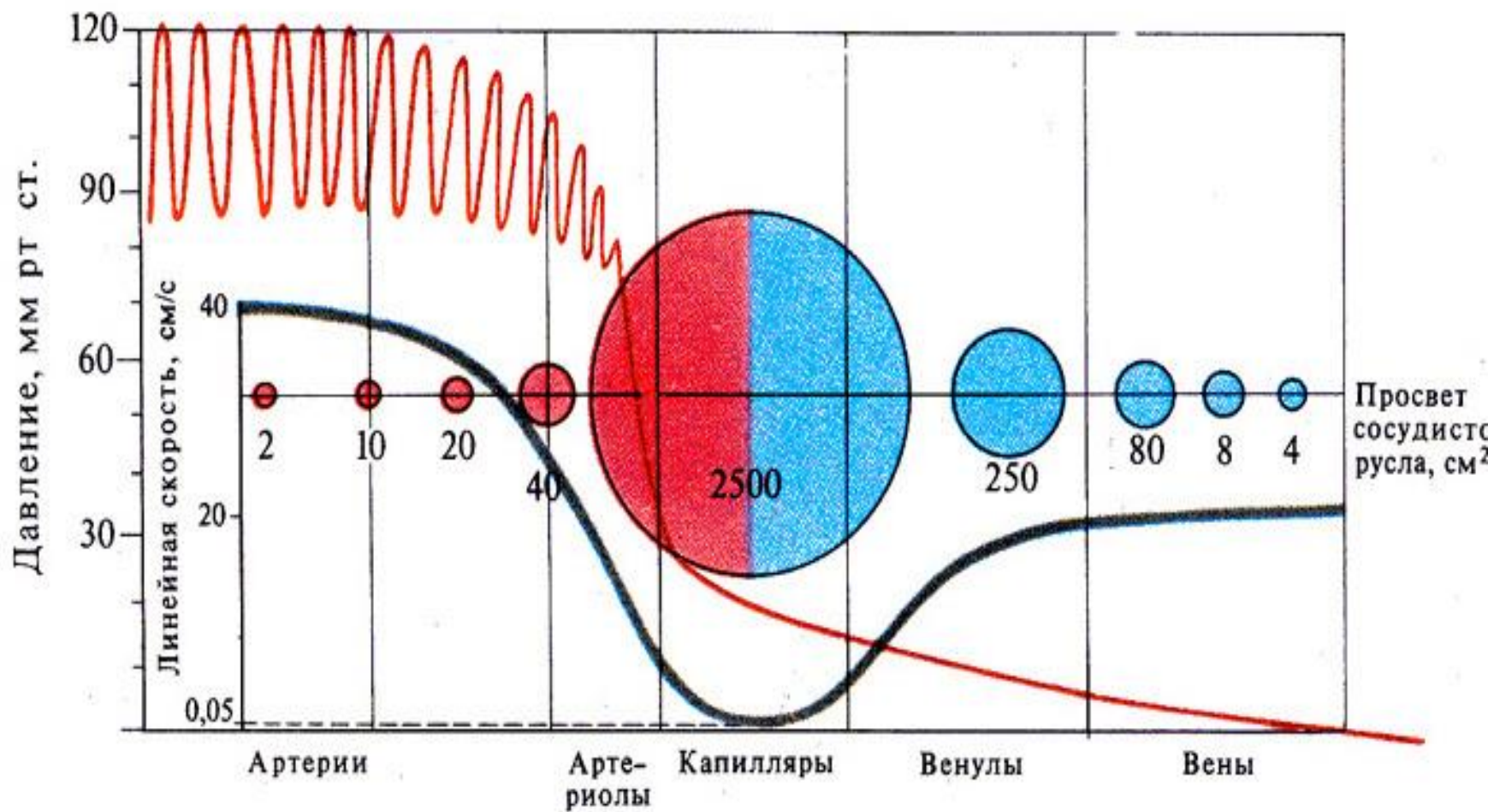
# **Функции эндотелия микроциркуляторного русла**

- Самообеспечение структуры (саморегуляция клеточного роста и восстановления).
- Образование вазоактивных веществ, в том числе активация и инактивация циркулирующих в крови
- Местная регуляция гладкомышечного тонуса: синтез и секреция простагландинов, эндотелинов и NO
- Передача вазомоторных сигналов от капилляров и артериол более крупным сосудам
- Поддержание антикоагулянтных свойств поверхности
- Реализация иммунных реакций (фагоцитоз, связывание иммунных комплексов)

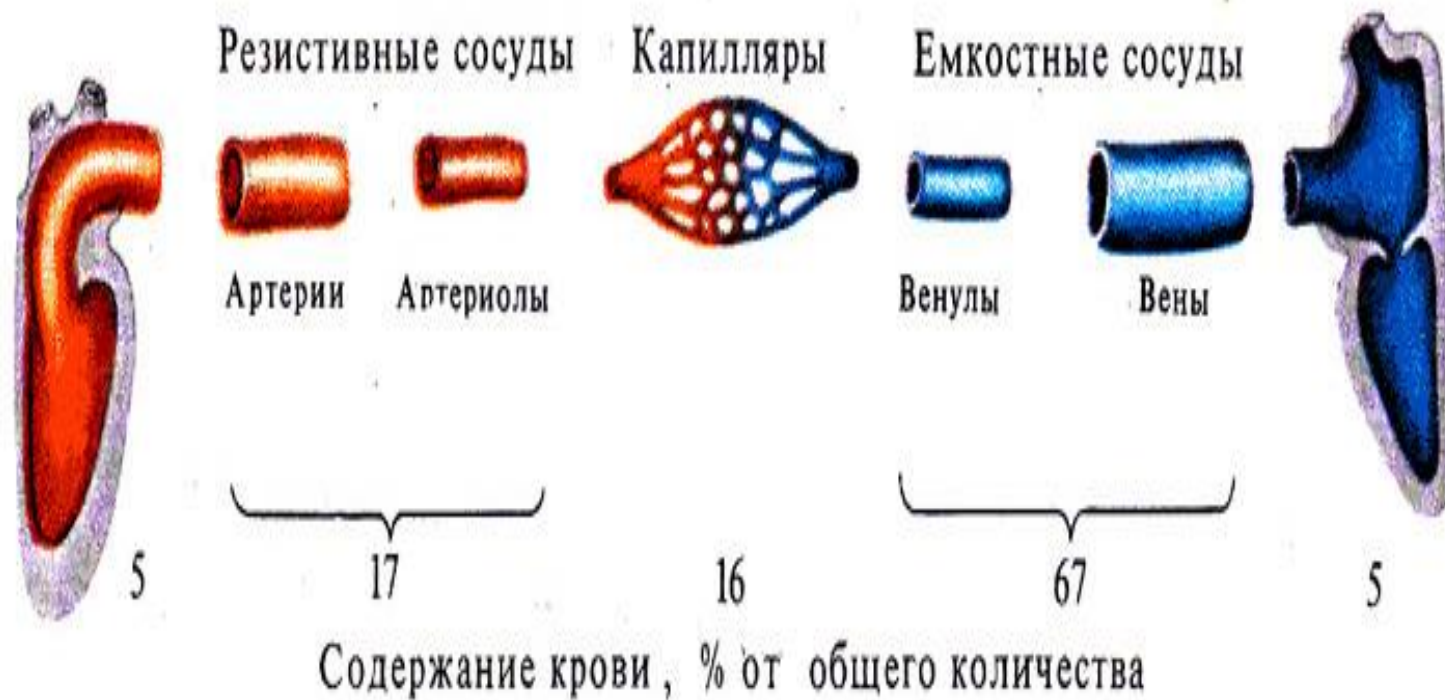
# Венозное русло (венулы и мелкие вены)

## Венулы и мелкие вены

1. По функциональной классификации -емкостные сосуды, или **аккумулирующие сосуды\***
2. Предназначены для сбора крови (коллекторная функция)
3. Обладают высокой растяжимостью
4. Позволяют накапливать большой объем крови (75-80% от ОЦК) – при повышении давления на 10 мм рт.ст. вместимость венозной системы возрастает в 6 раз
5. Давление в венулах - 12-18 мм рт. ст., в венах среднего калибра - 5-8 мм рт. ст.
6. Линейная скорость в венулах 7 мм/с, в венах среднего калибра - 15 мм/с



Б

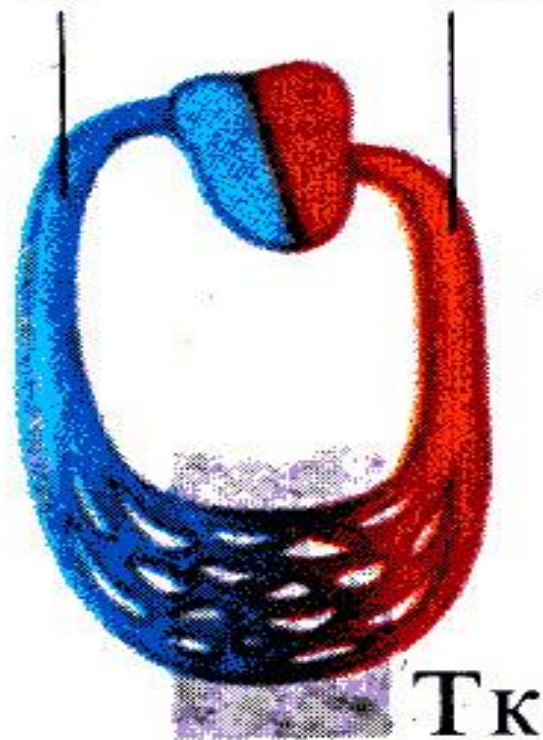


A



75% крови  
Русло  
емкостных  
сосудов

25% крови  
Русло  
резистивных  
сосудов



Русло  
обменных  
сосудов

## Венулы и мелкие вены -2

- **Венулы** имеют прямое отношение к течению воспалительных реакций. Через их стенку при воспалении проходят лейкоциты (диапедез) и плазма.
- **Посткапиллярные венулы.** Венозная часть капилляров плавно переходит в посткапиллярную венулу. Её диаметр может достигать 30 мкм. Гистамин (через гистаминовые рецепторы) вызывает резкое увеличение проницаемости эндотелия посткапиллярных венул, что приводит к отёку окружающих тканей.
- **Собирательные венулы.** Посткапиллярные венулы впадают в собирательную венулу.
- **Мышечные венулы.** Собирательные венулы впадают в мышечные венулы диаметром до 100 мкм. В мышечных венулах имеется много миоцитов (ГМК).

## **Крупные вены, полые вены**

1. По функциональной классификации - это емкостные сосуды, или сосуды возврата крови\*
2. Их основная функция - возврат крови к сердцу.
3. Они обладают высокой растяжимостью.
4. Давление в крупных венах - 4-3 мм рт. ст., в полых венах - 1-3 мм рт. ст.
5. Низкое гидростатическое давление в венозном русле способствует движению крови по артериальному руслу и в то же время затрудняет возврат крови к сердцу.
6. Линейная скорость движения крови по венам - до 33 см/с

## Вены -2

- **Вены** — сосуды, по которым кровь оттекает от органов и тканей к сердцу. Более 70% объёма циркулирующей крови (ОЦК) находится в венах.
- Давление в венах низкое, стенка тонкая, но мышечного слоя достаточно, чтобы вены могли активно участвовать в реакциях перераспределения крови между различными тканями и органами.
- Часть вен имеют клапаны. Например, вены конечностей. Клапаны пропускают кровь только по направлению к сердцу.
- Структура створок клапанов - соединительная ткань. Вблизи фиксированного края створок располагаются ГМК. Клапаны можно рассматривать как складки интимы (внутренней оболочки).

# Венозный возврат -1

Способствуют венозному возврату:

1. Наличие в венах многочисленных полулунных клапанов, пропускающих кровь только по направлению к сердцу (исключение - полые вены, вены воротной системы, мелкие венулы).
2. Присасывающее действие грудной клетки (снижение внутриплеврального давления в момент вдоха).
3. Присасывающее действие полостей сердца, в том числе обусловленное смещением атриовентрикулярных клапанов в сторону желудочков в момент систолы желудочков.

## Венозный возврат -2

4. Сифонное явление (устья полых вен ниже устья аорты)
5. Динамическая работа скелетных мышц ног, рук, туловища, при котором растёт вневенозное давление, вызывающие продвижение крови к сердцу. Поэтому мышцы называют «периферическим сердцем», или мышечным насосом (Аринчин)

# **МЕХАНИЗМЫ ВЕНОЗНОГО ВОЗВРАТА КРОВИ К СЕРДЦУ**



## **1. VIS A FRONTE (СИЛА СПЕРЕДИ):**

- а) отрицательное давление в грудной полости (присасывающая роль дыхания)**
- б) отрицательное давление в устье предсердий в диастолу (присасывающая роль сердца)**

## **2. VIS A TERGO (СИЛА СЗАДИ):**

- а) остаточная кинетическая энергия сердца в виде давления крови в конце капилляров**
- б) сократительная деятельность скелетных мышц ( мышечный «насос» крови)**

## Особенности кровотока в венах грудной полости:

1. Давление близко к атмосферному и колеблется в зависимости от фазы дыхания
2. Ранение вен, лежащих вблизи грудной полости (например, яремных), опасно для жизни, так как давление в них в момент вдоха становится ниже атмосферного, т.е. отрицательным. Поэтому возможно поступление атмосферного воздуха в полость вен и развитие воздушной эмболии, т.е. закупорка артериол и капилляров пузырьками воздуха. Это может привести к летальному исходу.



## Центральное венозное давление

- Давление в крупных венах в месте их впадения в правое предсердие — в среднем составляет около 4,6 мм рт.ст.
- **Центральное венозное давление** — важная клиническая характеристика, необходимая для оценки насосной функции сердца.
- При этом решающее значение имеет *давление в правом предсердии* (около 0 мм рт.ст.) Оно регулирует баланс между способностью сердца откачивать кровь из правого предсердия и правого желудочка в лёгкие и возможностью крови поступать из периферических вен в правое предсердие (*венозный возврат*).

## Центральное венозное давление-2

- Если сердце работает интенсивно, то давление в правом желудочке понижается.
- Ослабление работы сердца повышает давление в правом предсердии.
- Любые воздействия, ускоряющие приток крови в правое предсердие из периферических вен, повышают давление в правом предсердии.
- Исходный (референтный) уровень, по отношению к которому измеряют давление в правом предсердии, — трёхстворчатый клапан.

## Центральное венозное давление-3

Факторы, увеличивающие венозный возврат (соответственно повышающие давление в правом предсердии):

- увеличение ОЦК,
- повышение тонуса крупных сосудов всего тела с увеличением периферического венозного давления,
- расширение артериол, приводящее к понижению общего периферического сопротивления и ускоряющее поступление крови из артерий в вены.

## Центральное венозное давление-4

- Давление в правом предсердии может повышаться до 20–30 мм рт.ст. при серьёзных заболеваниях сердца или в результате массивного переливания крови, вызывающего повышенный приток крови из периферических вен.
- Нижние границы давления в правом предсердии варьируют от –3 до –5 мм рт.ст., что обусловлено отрицательным давлением внутри грудной полости.
- Давление в правом предсердии приближается к нижним значениям, если насосная функция сердца резко усилена или поступление крови с периферии в сердце уменьшено (например, вследствие тяжёлого кровотечения).

## Центральное венозное давление-5

- **Повышение давления в правом предсердии выше его нормального (нулевого) уровня вынуждает кровь двигаться обратно в крупные вены, расширяя их.**
- **В периферических венах оно не повышается до тех пор, пока давление в правом предсердии не превысит величины от +4 до +6 мм рт.ст.**
- **Дальнейшее повышение давления в правом предсердии вызывает рефлекторное увеличение периферического венозного давления**

# Депо крови

Емкостные сосуды могут накапливать кровь, т.е. депонировать ее ( кровь идет по ним с малой скоростью)

- вены печени -до 500 мл;
- синусы и синусоиды селезенки - до 500 мл;
- вены легких - (до 500 - 600 мл в горизонтальном положении;
- вены подкожных сплетений (артерио-венозные анастомозы) - при определенных условиях в них может скапливаться до 40% всего объема крови.

«В СОСУДАХ ЖИДКОСТЬ БЕГ СВОЙ СОВЕРШАЕТ,  
ЕЁ ИЗБЫТОК ВЕНЫ РАСШИРЯЕТ.  
КОГДА ОСЛАБЕВАЕТ КРОВОТОК,  
ПОХОЖИ ВЕНЫ НА ПУСТОЙ МЕШОК.»

**Абу Али Ибн Сино (Авиценна)  
«Канон врачебной науки», ок.1000 г.**

# ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА (V) И ХАРАКТЕР ПОТОКА КРОВИ

- $V = \frac{Q \text{ (см}^3\text{/сек)}}{S \text{ (см}^2\text{)}} = \text{см/сек}$
- **Число Рейнолдса (  $N_R$  ) - соотношение сил инерции и вязкости:**
- $$N_R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\eta}$$
- где **V** - линейная скорость, **D** - диаметр сосуда,  **$\rho$**  - удельный вес жидкости,  **$\eta$**  - ее вязкость
- **Переход потока от ламинарного к турбулентному при достижении числа Рейнолдса 3000 и более**



## **ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВОТОКА ПО СОСУДАМ**

- **Линейная скорость кровотока в артериях - 0,3-0,5 м/с**
- **Скорость распространения пульсовой волны ( $V_p$ ):**
  - в сосудах эластического типа = 7-10 м/с**
  - в сосудах мышечного типа = 5-8 м/с**
- **Время полного кругооборота крови:**
  - 27 систол или 20-23 с, в том числе**
  - по малому кругу - 1/5 общего времени,**
  - по большому кругу - 4/5 общего времени**

# **ТОНУС СОСУДОВ**

**СОСУДИСТЫЙ ТОНУС – это степень напряжения сосудистой стенки :**

$$T = P \times r, \text{ где}$$

**P - давление, r - радиус сосуда**

**Виды тонуса:**

- Миогенный, или базальный, тонус**
- Регуляторный тонус:**
  - а) нейрогенный**
  - б) химиогенный (гуморальный)**

# ТИПЫ САМОРЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

- $AD = MOK \times OPS$ 

```
graph TD; A["AD = MOK x OPS"] --> B["ГИПЕРКИНЕТИЧЕСКИЙ  
СЕРДЕЧНЫЙ (> МОК)"]; A --> C["ГИПОКИНЕТИЧЕСКИЙ  
СОСУДИСТЫЙ (< МОК)"]; A --> D["НОРМОКИНЕТИЧЕСКИЙ ИЛИ ЭУКИНЕТИЧЕСКИЙ  
СМЕШАННЫЙ (и МОК, и ОПСС)"];
```
- **ГИПЕРКИНЕТИЧЕСКИЙ**  
**СЕРДЕЧНЫЙ (> МОК)**
- **ГИПОКИНЕТИЧЕСКИЙ**  
**СОСУДИСТЫЙ (< МОК)**
- **НОРМОКИНЕТИЧЕСКИЙ ИЛИ ЭУКИНЕТИЧЕСКИЙ**  
**СМЕШАННЫЙ (и МОК, и ОПСС)**

# **МЕХАНИЗМЫ АУТОРЕГУЛЯЦИИ**

- **МИОГЕННАЯ САМОРЕГУЛЯЦИЯ  
(ФЕНОМЕН БЕЙЛИСА-ОСТРОУМОВА)**
- **МЕТАБОЛИТЫ**
- **ТКАНЕВОЕ ДАВЛЕНИЕ**
- **СДАВЛЕНИЕ ИЗ-ЗА ОБЪЕМА  
УЛЬТРАФИЛЬТРАТА**
- **ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ**

# **ПОРОГИ САМОРЕГУЛЯЦИИ**

- **Для мозгового кровообращения:**
- **верхний - 160-170 мм Hg**
- **нижний - 50-60 мм Hg**
- **Для почечного кровообращения:**
- **верхний - 180-190 мм Hg**
- **нижний - 80-90 мм Hg**

# ЭФФЕКТ ФАРЕУСА - ЛИНДКВИСТА

