

Микроциркуляция  
Транскапиллярный обмен  
Лимфообращение

# Микроциркуляция

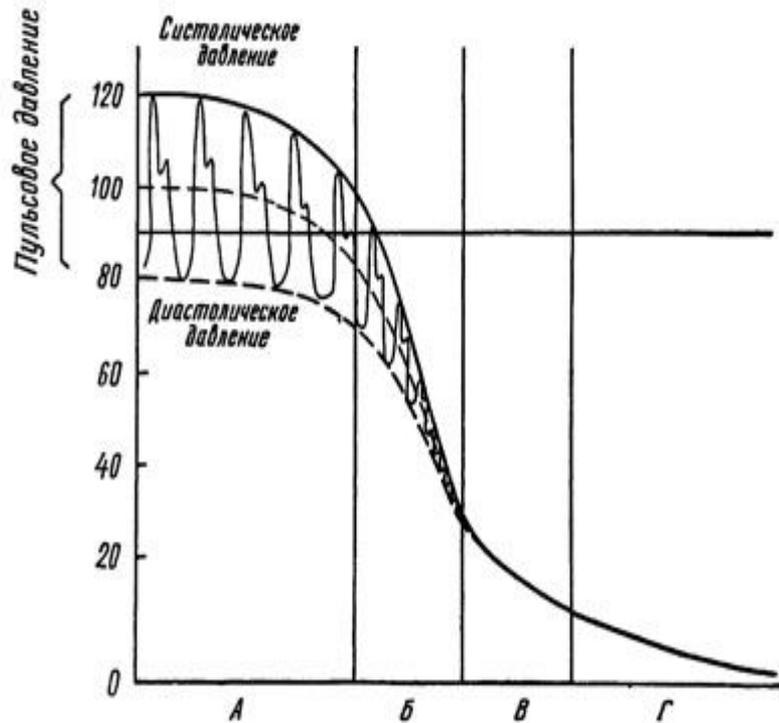
*Микроциркуляция* (греч. *mikros* малый + лат. *circulatio* круговращение) транспорт биологических жидкостей на уровне тканей организма:

- движение крови по микрососудам капиллярного типа (капиллярное кровообращение),
- перемещение интерстициальной жидкости и веществ по межклеточным пространствам,
- транспорт лимфы по лимфатическим микрососудам.

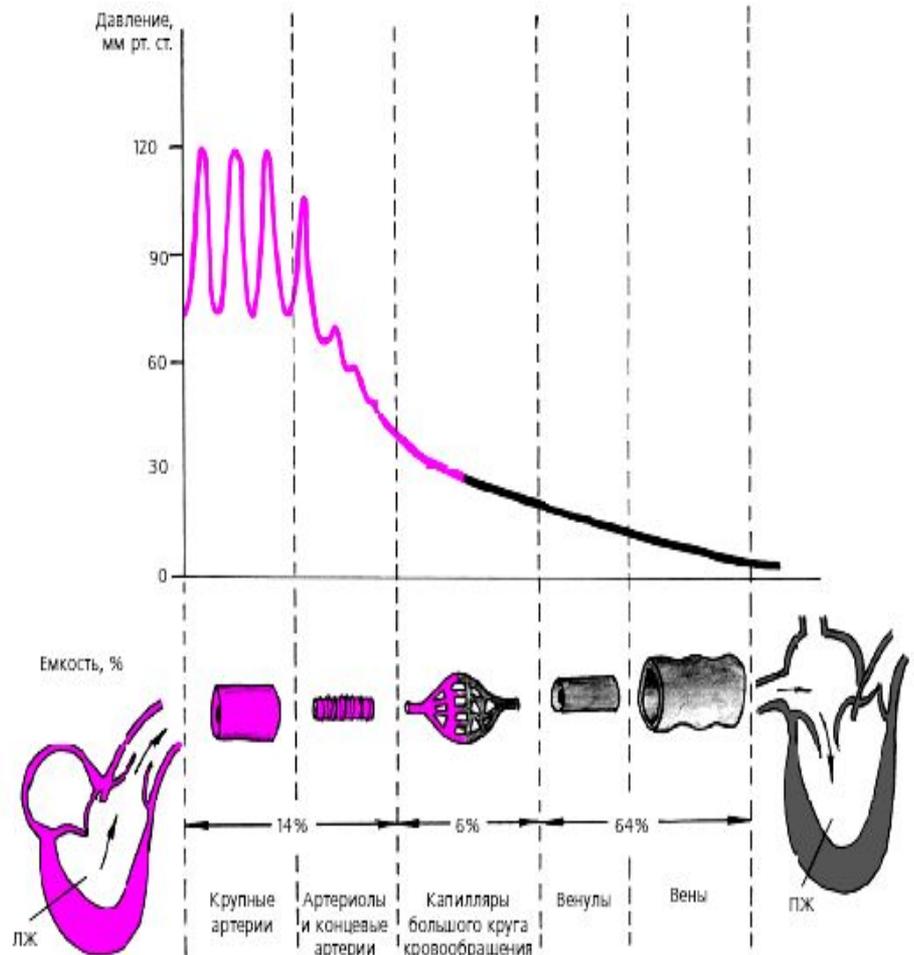
## **ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ**

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

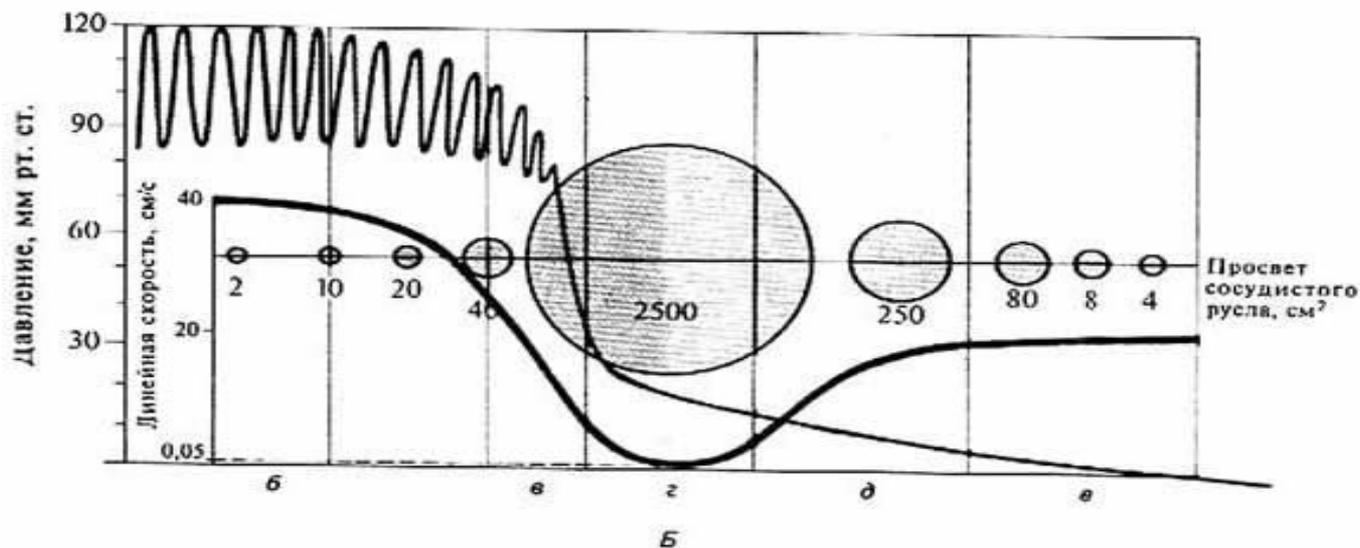
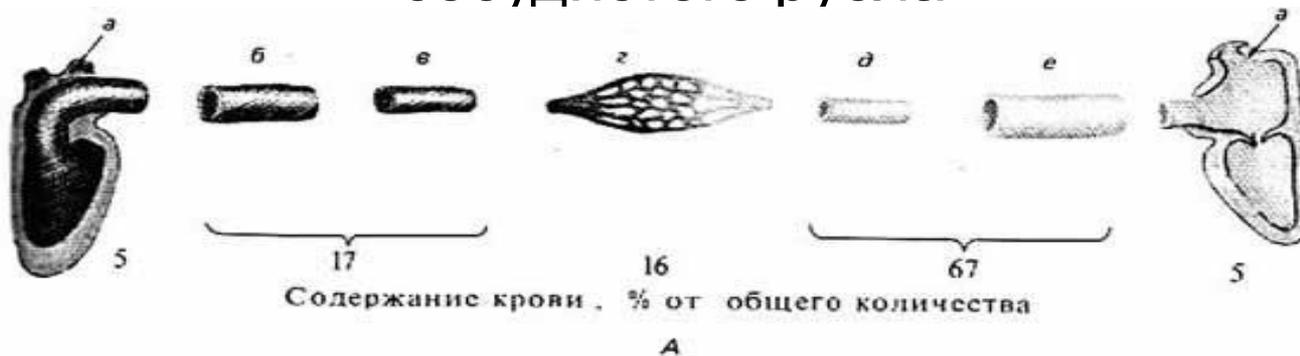
# Давление в разных участках сосудистого русла



- А – аорта;
- Б – артериолы
- В – капилляры
- Г - вены



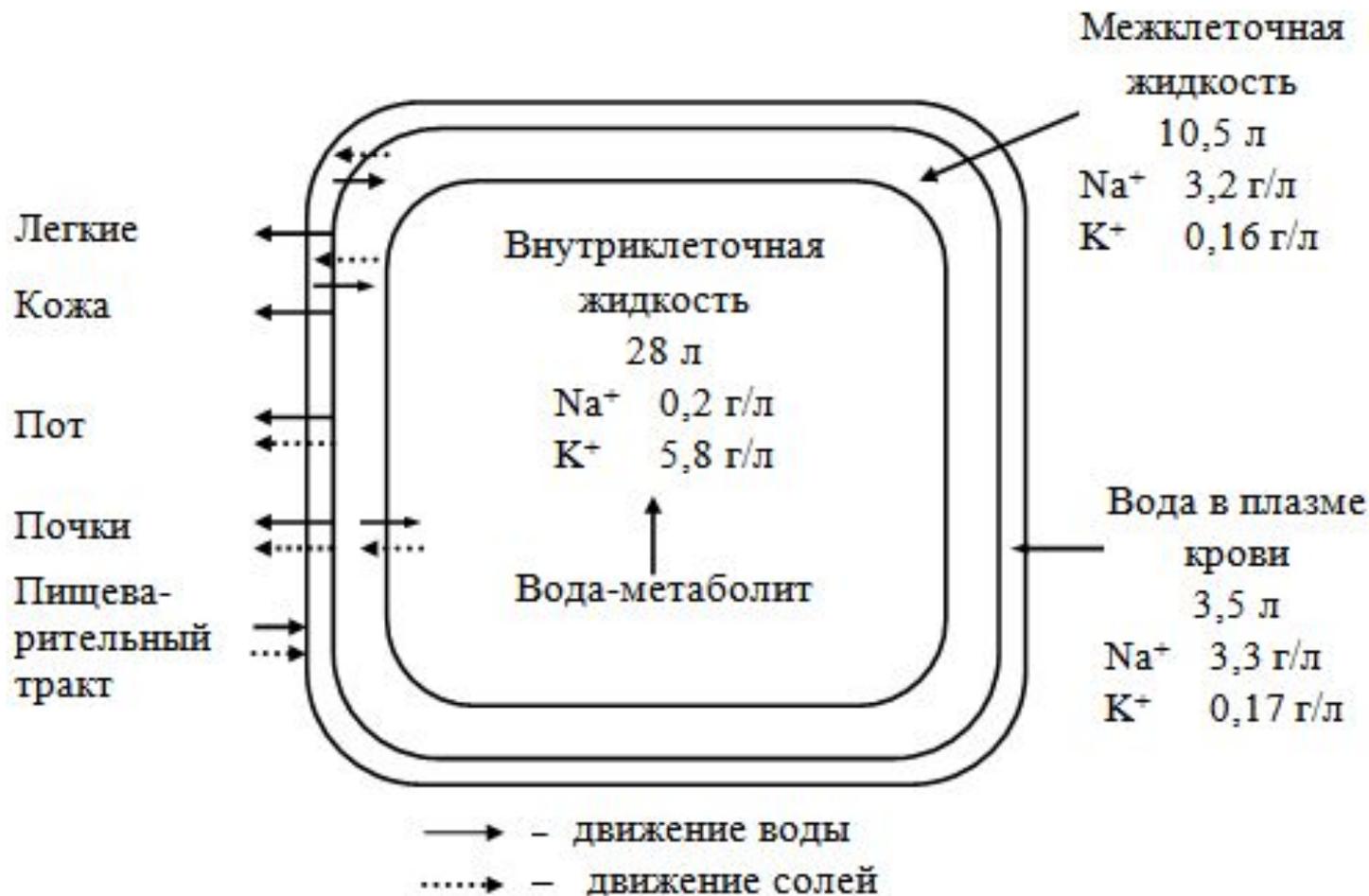
# Давление, линейная скорость кровотока, суммарный просвет сосудов, и объем крови в разных участках сосудистого русла



# Давление, объем, скорость кровотока и сопротивление току крови в разных участках сосудистого русла.

Сосуд	Давление, мм рт. ст.	Объем, см <sup>3</sup>	Скорость кровотока, см · с <sup>-1</sup>	Сопротивление, дин · с · см <sup>-5</sup>
Аорта	100–120	30	50	64
Магистральные артерии	100–120	60	13	$3,9 \cdot 10^3$
Ветвящиеся артерии	80–90	50	8	$1,6 \cdot 10^5$
Терминальные артерии	80–90	25	6	$1,2 \cdot 10^5$
Артериолы	40–60	25	0,3	$2 \cdot 10^{10}$
Капилляры	15–25	60	0,07	$3,9 \cdot 10^{11}$
Венулы	12–18	110	0,07	$4 \cdot 10^9$
Терминальные вены	10–12	130	1,3	$3,2 \cdot 10^3$
Ветвящиеся вены	5–8	270	1,5	$0,5 \cdot 10^4$
Венозные коллекторы	3–5	220	3,6	250
Полые вены	1–3	100	33	26

# Водные сектора организма

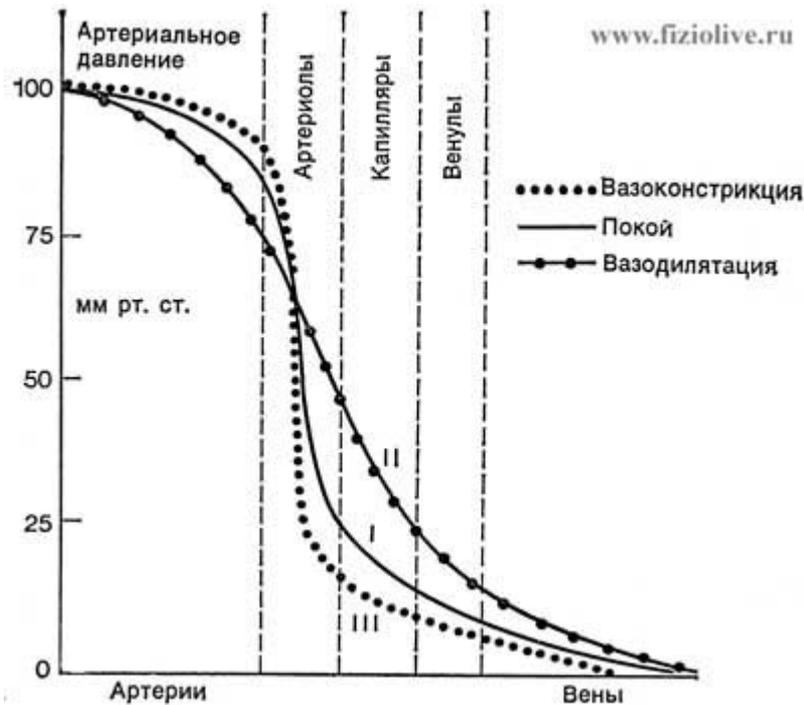


# Ионный состав плазмы, интерстициальной жидкости и внутриклеточной жидкости

Таблица 8.2. Ионный и молярный состав жидкостей тела

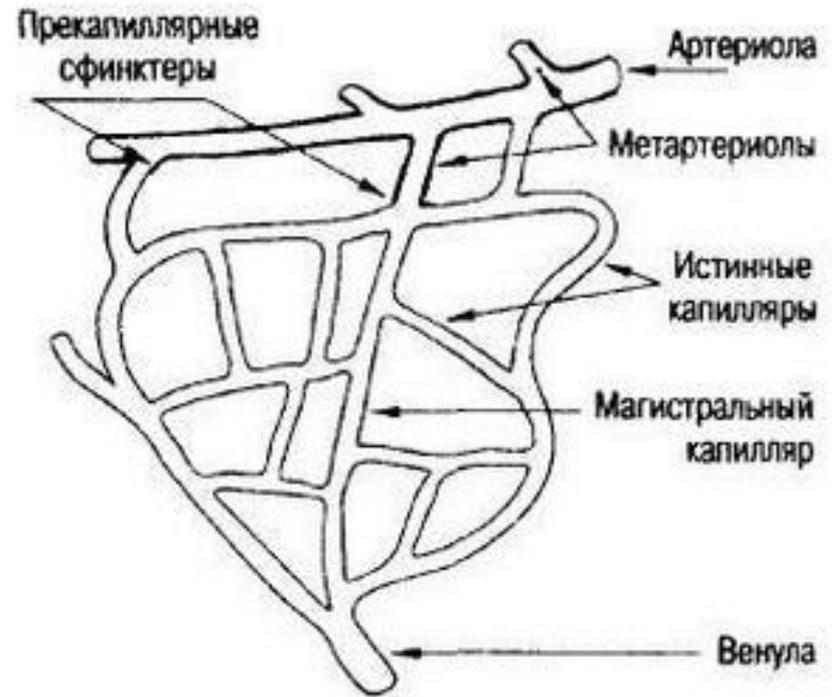
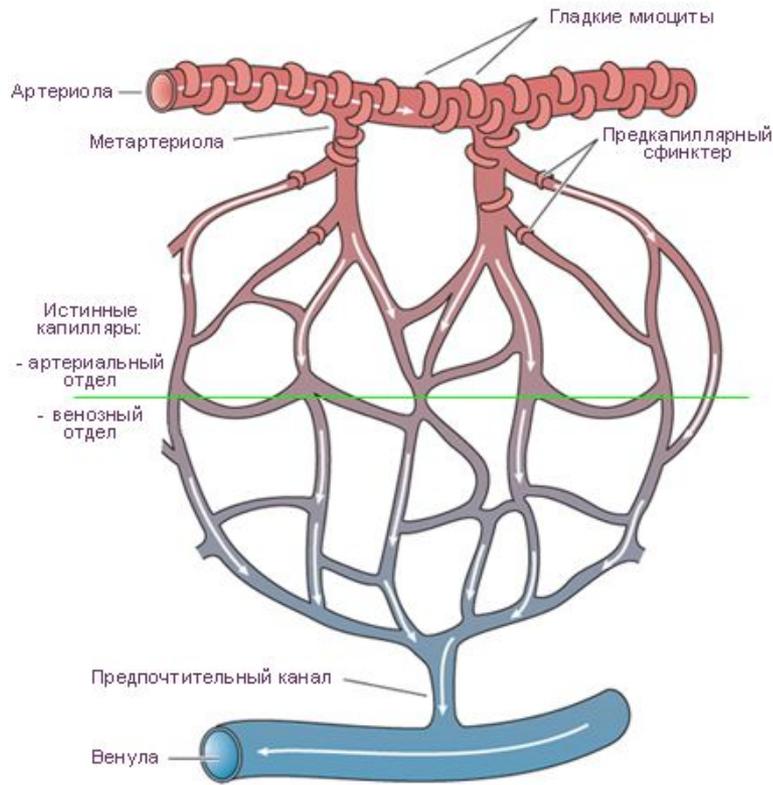
Ионный состав	Плазма		ИнЖ		ВнуКЖ	
	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л
<b>Катионы</b>						
Na <sup>+</sup>	140	140	142	142	10	10
K <sup>+</sup>	4	4	4	4	160	160
Ca <sup>2+</sup>	5	2,5	2	1	2	1
Mg <sup>2+</sup>	2	1	2	1	26	13
Всего...	151	147,5	150	148	198	184
<b>Анионы</b>						
Cl <sup>-</sup>	103	103	114	114	3	3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	24	28	27	11	11
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	1	2	1	100	50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	0,5	1	0,5	20	10
Органические анионы	5	5	5	5	—	—
Белки	16	2	—	—	64	8
Всего...	151	135,5	150	147,5	198	82

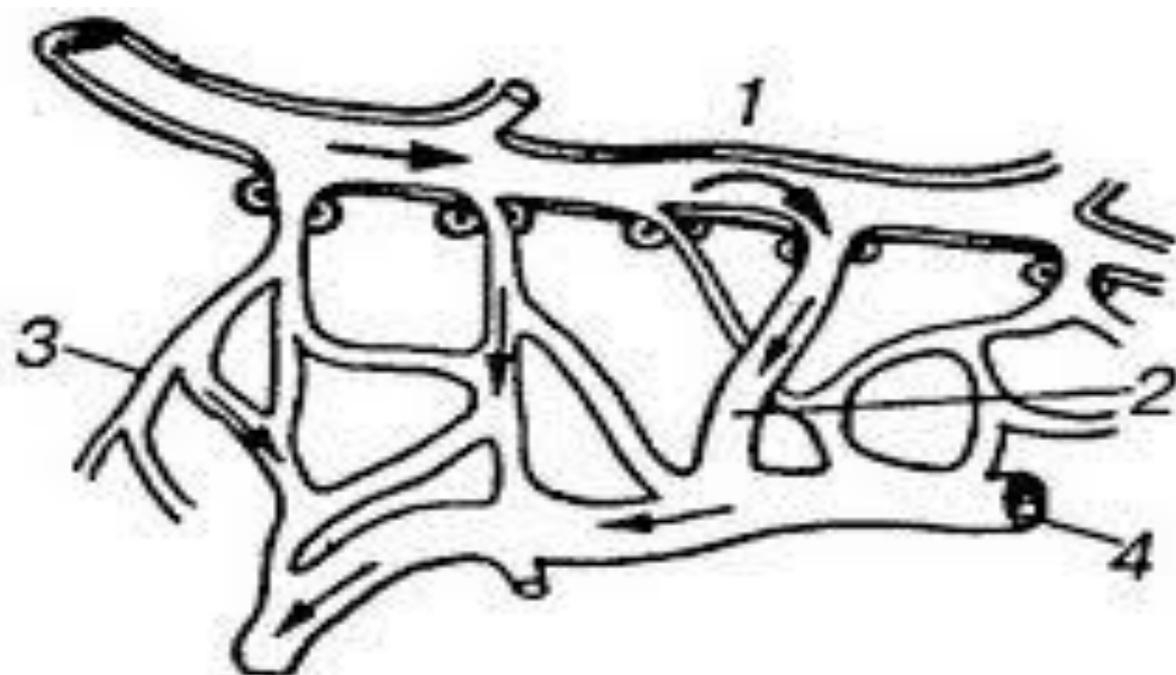
# Изменение давления в разных участках сосудистого русла при спазме и расширении сосудов



- Спазм артериол ведет к повышению нагрузки на сердце и увеличению давления в аорте и к снижению гидростатического давления в капиллярах.

# Структура микроциркуляторного русла





**Рис. 16. Схема артериовенозного анастомоза:**

*1* — артериола; *2* — артериовенозный анастомоз; *3* — капилляры; *4* — венула

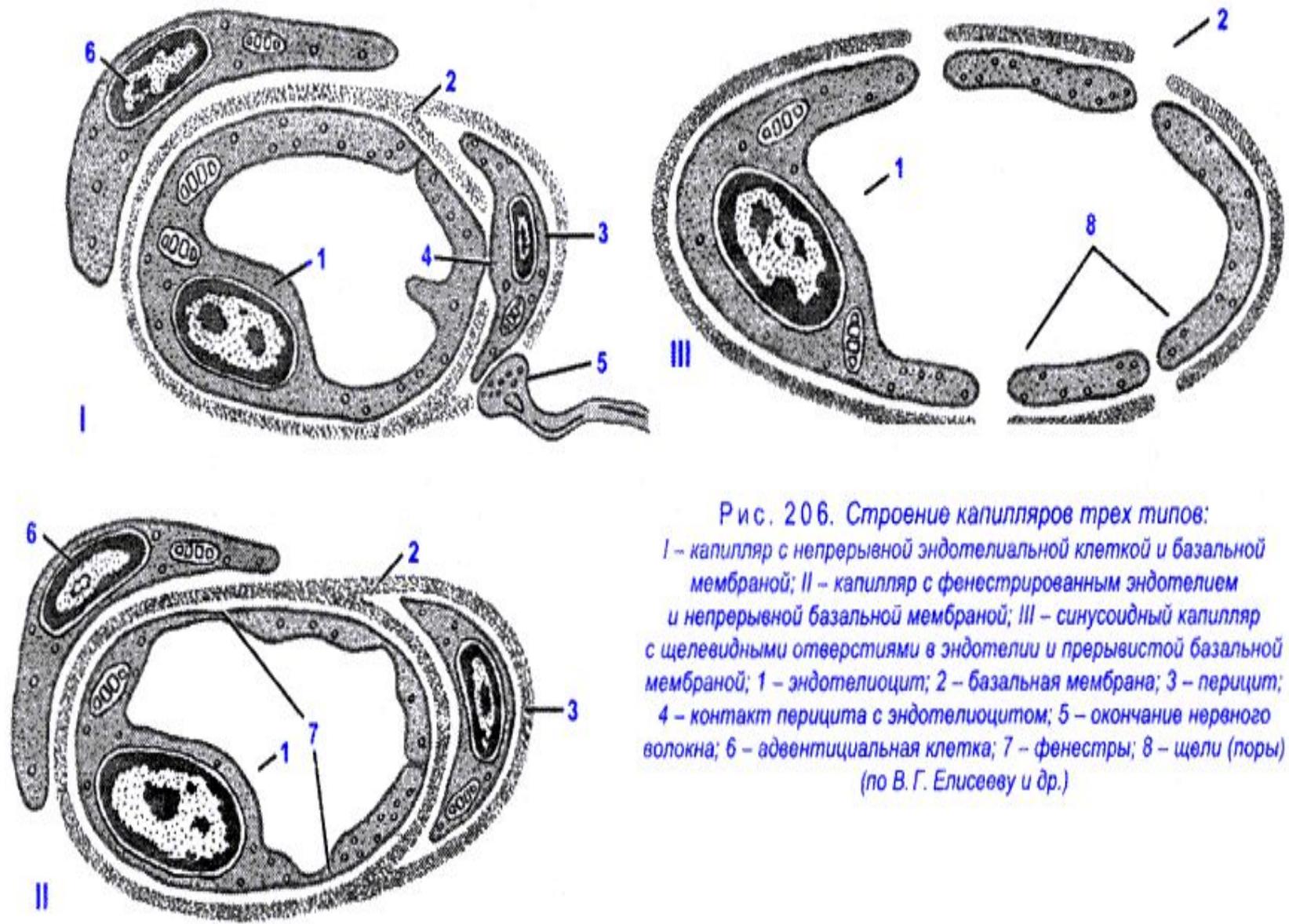
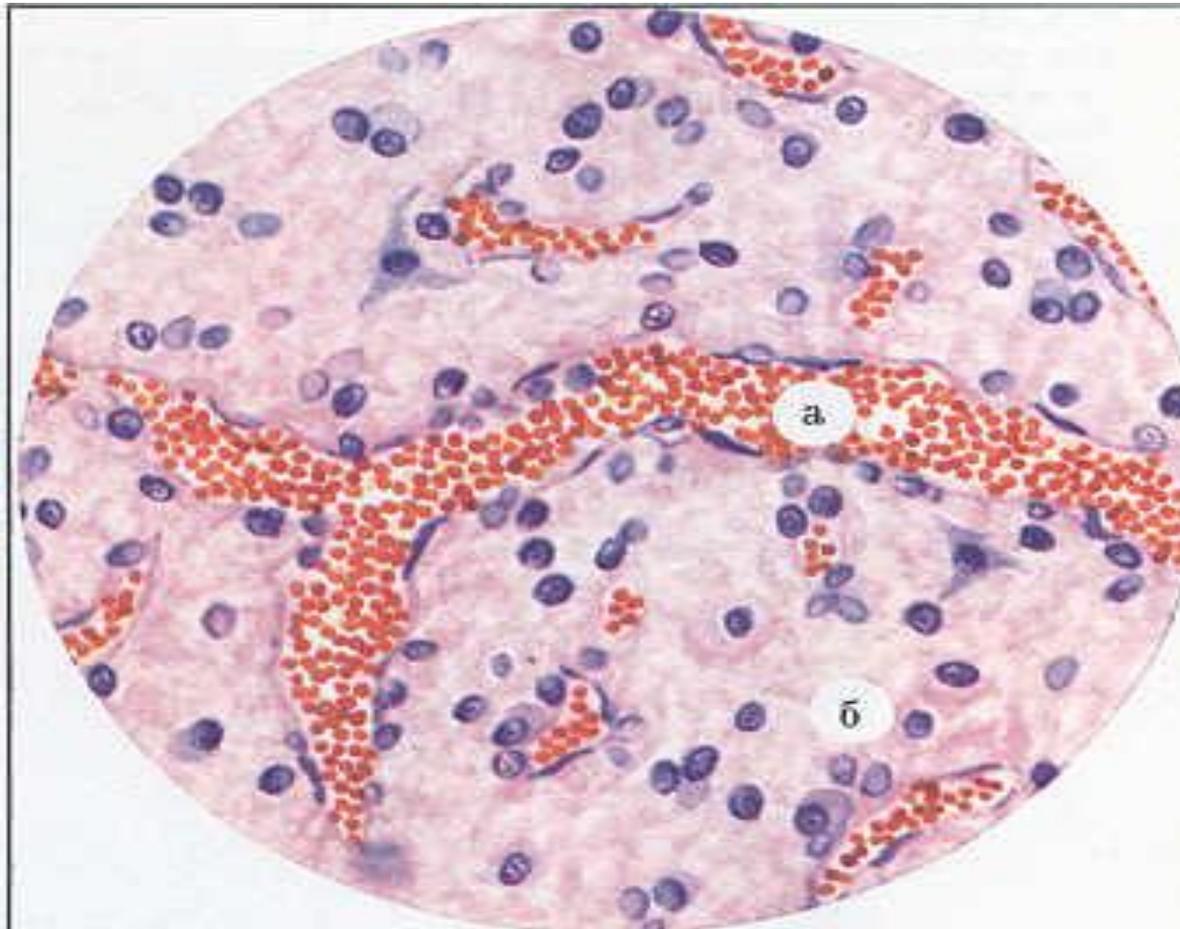


Рис. 206. Строение капилляров трех типов:  
 I – капилляр с непрерывной эндотелиальной клеткой и базальной мембраной; II – капилляр с фенестрированным эндотелием и непрерывной базальной мембраной; III – синусоидный капилляр с щелевидными отверстиями в эндотелии и прерывистой базальной мембраной; 1 – эндотелиоцит; 2 – базальная мембрана; 3 – пероцит; 4 – контакт пероцита с эндотелиоцитом; 5 – окончание нервного волокна; 6 – адвентициальная клетка; 7 – фенестры; 8 – щели (поры)  
 (по В. Г. Елисееву и др.)

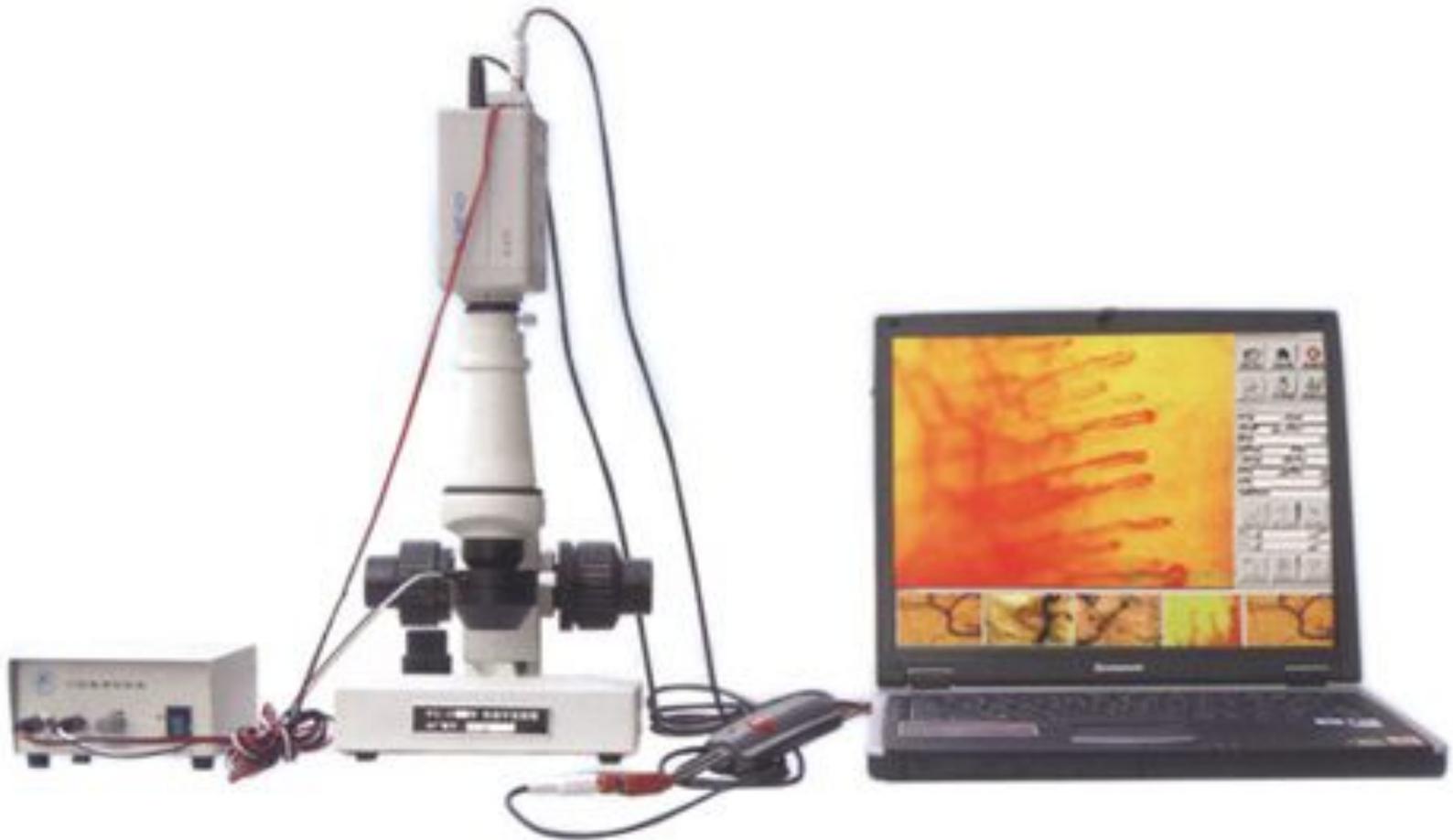
# Капилляры под микроскопом



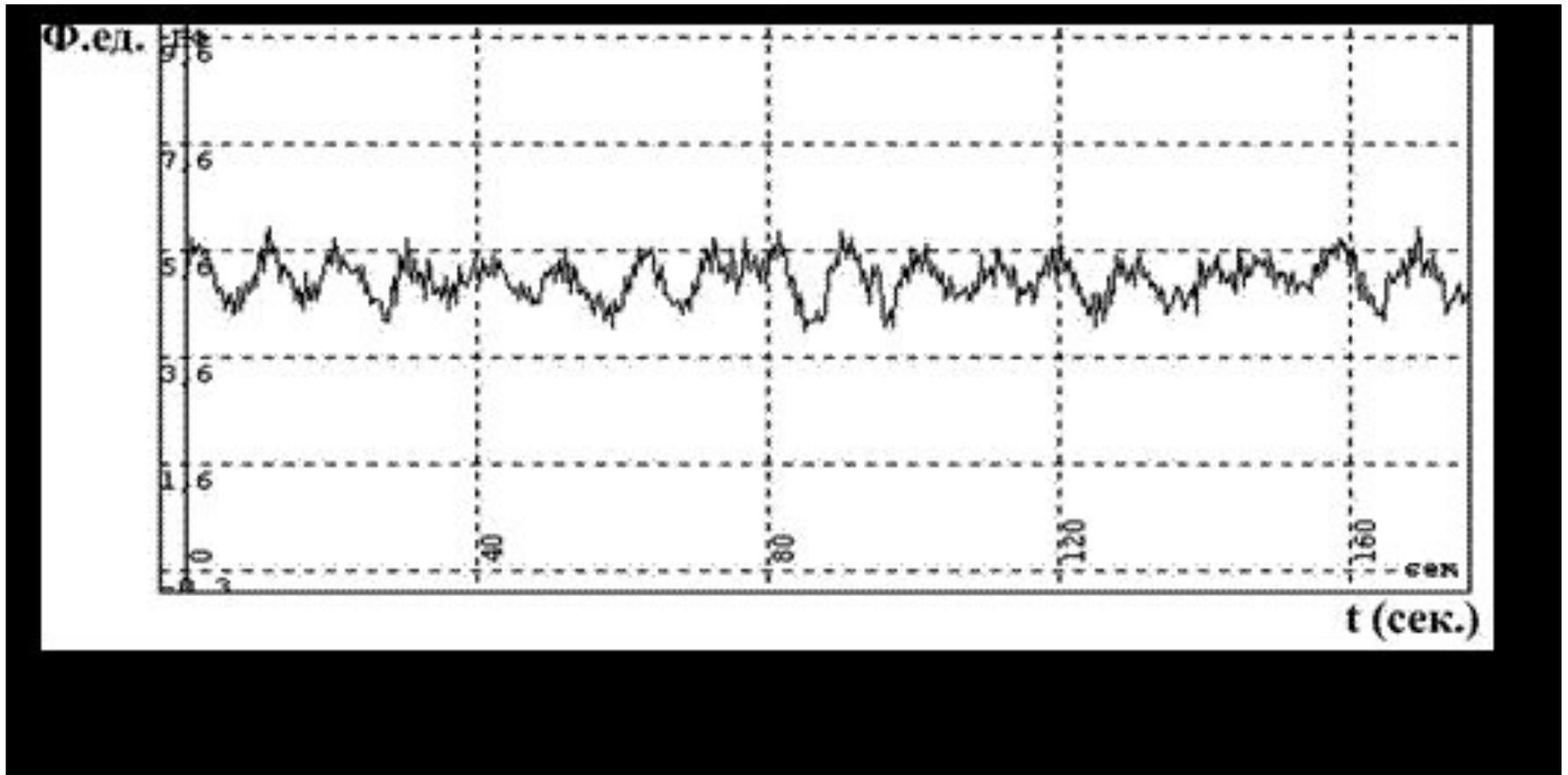
## **ТИПЫ КАПИЛЛЯРОВ**

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

# Капиллярскоп

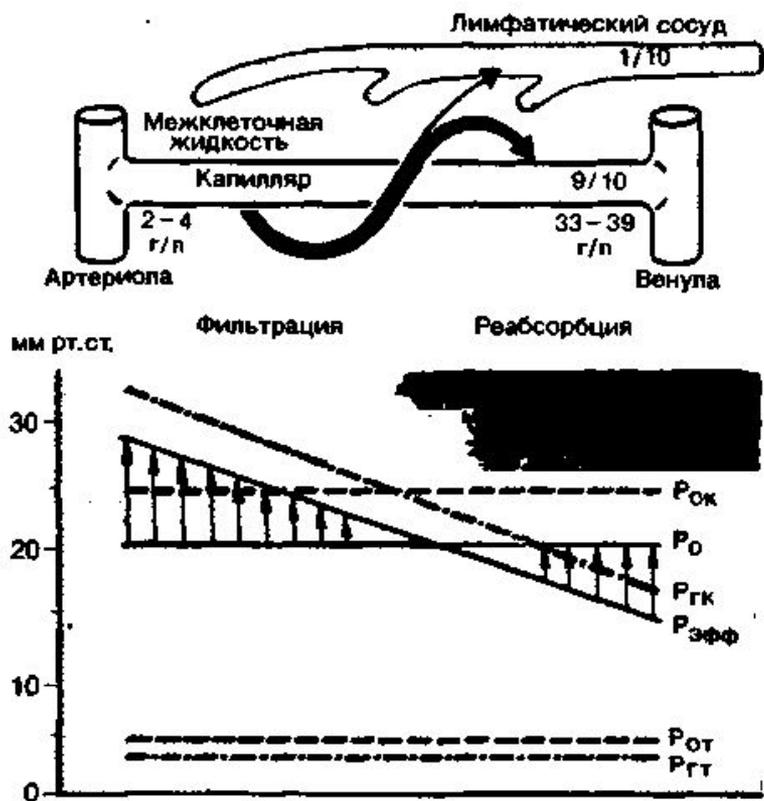


# Лазерная доплеровская флуорометрия

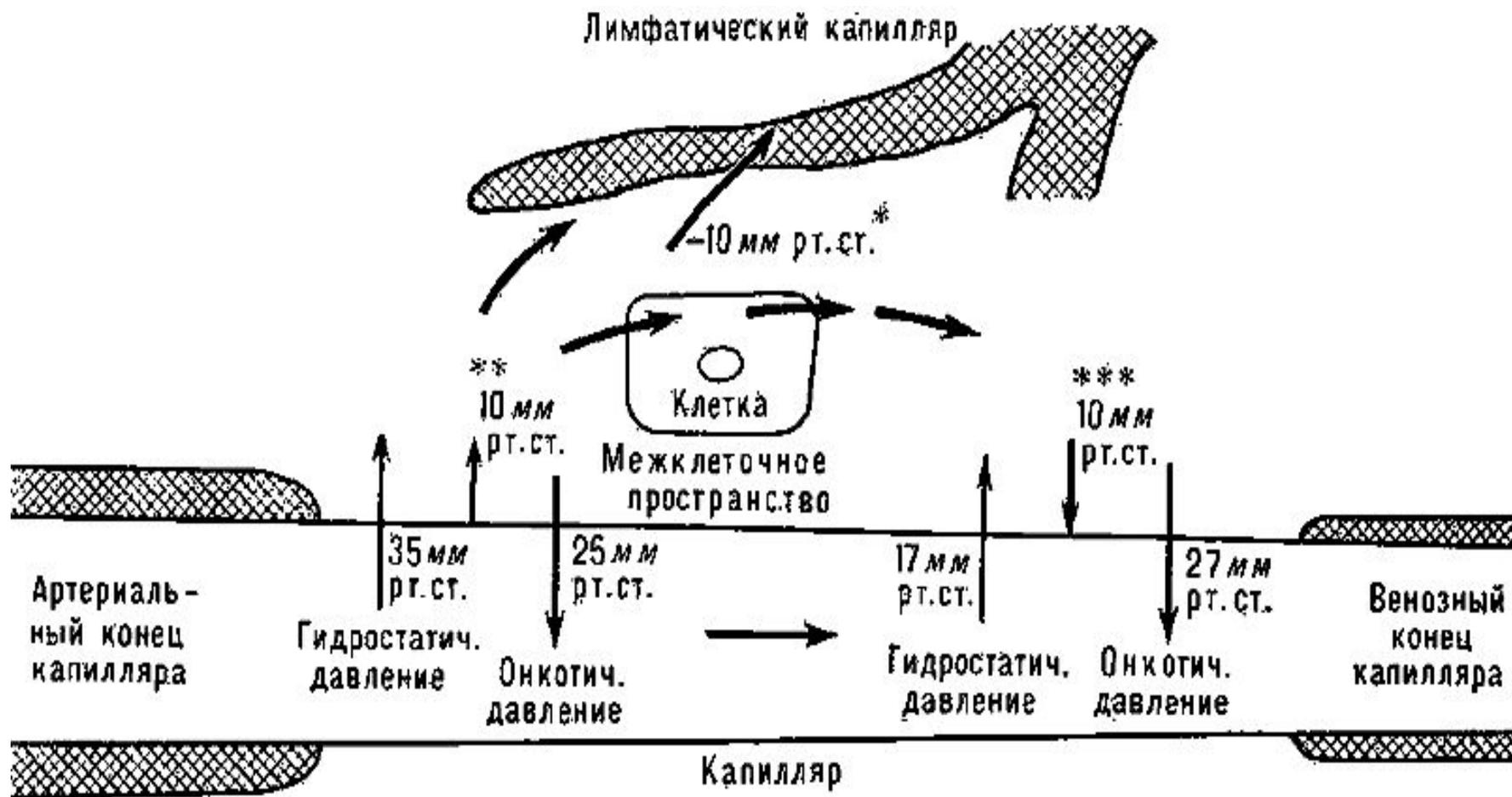


# Микроциркуляция

- Интенсивность фильтрации и реабсорбции в капиллярах определяется следующими параметрами: гидростатическим давлением в капиллярах ( $P_{Гк}$ ), гидростатическим давлением в тканевой жидкости ( $P_{Гт}$ ), онкотическим давлением плазмы в капилляре ( $P_{ок}$ ), онкотическим давлением тканевой жидкости ( $P_{от}$ ) и коэффициентом фильтрации ( $K$ ). Под действием  $P_{Гк}$  и  $P_{от}$  жидкость выходит из капилляра в ткани, а под действием  $P_{Гт}$  и  $P_{ок}$  происходит ее реабсорбция. Коэффициент фильтрации  $K$  соответствует проницаемости капиллярной стенки для изотонических растворов (выраженной в миллилитрах жидкости на 1 ммрт. ст. и на 100 г ткани за 1 мин при 37 °С). Таким образом, объем жидкости, фильтрующейся за 1 мин ( $V$ ), можно вычислить следующим образом:
 
$$V = (P_{Гк} - P_{Гт} - P_{ок} + P_{от}) * K$$



# Схема движения жидкости из капилляра в межклеточное пространство и в лимфатический сосуд



# Равновесие между внутрисосудистой и тканевой жидкостями.

Исходя из приведенных данных, можно составить схему (правда, крайне упрощенную) *движения жидкости* между капиллярами и интерстициальным пространством.

**В артериальном конце капилляра** создается давление, направленное наружу и равное около 37,5 ммрт.ст. ( $P_{ГК} = 32,5$  ммрт.ст. +  $P_{от} = 5$  ммрт.ст.). Ему противодействует давление, направленное внутрь капилляра; оно равно 28 мм рт. ст. ( $P_{ок} = 25$  мм рт. ст. +  $P_{ГТ} = 3$  мм рт. ст.). Таким образом, **эффективное фильтрационное давление** составляет **9,5 ммрт.ст.**

**В венозном же конце капилляра** давление, направленное наружу, равно 20 мм рт. ст. ( $P_{ГК} = 15$  ммрт.ст. +  $P_{от} = 5$  ммрт. ст.). Давление, направленное внутрь, в венозном конце такое же, как и в артериальном, т.е. 28 ммрт.ст. Следовательно, **эффективное реабсорбционное давление** равно **8 мм рт. ст.**

Средняя скорость фильтрации во всех капиллярах организма составляет около 14 мл/мин, или 20 л в сутки. Скорость реабсорбции равна примерно 12,5 мл/мин, т.е. 18 л в сутки. По лимфатическим сосудам оттекает 2 л в сутки.

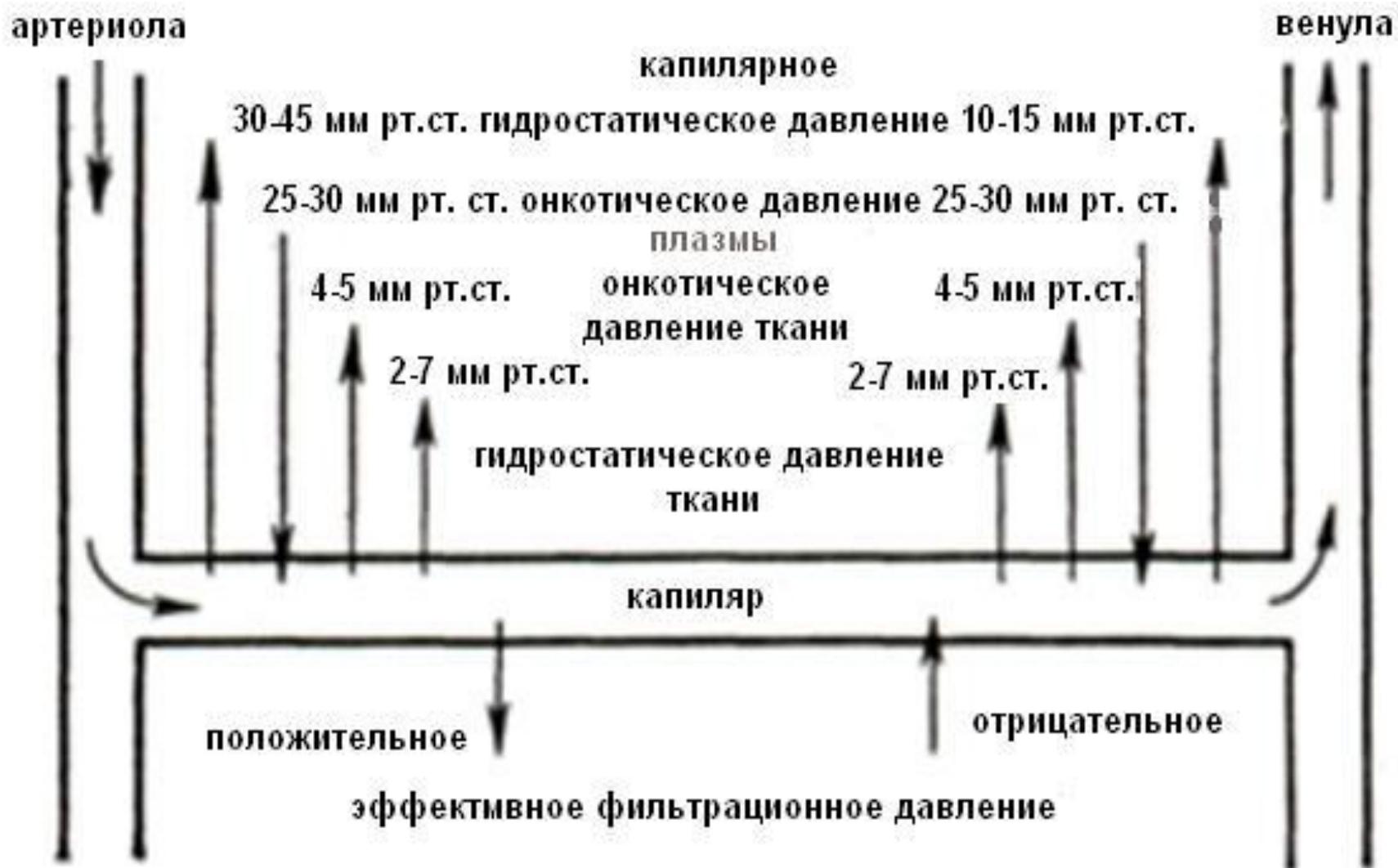
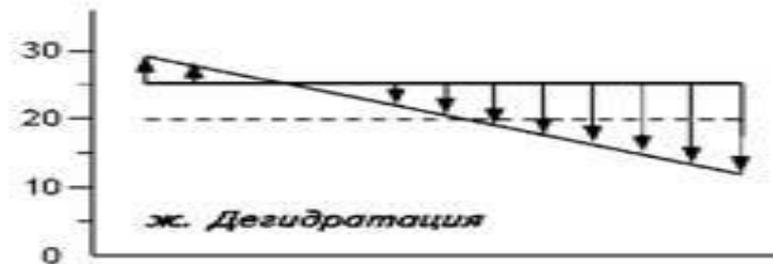
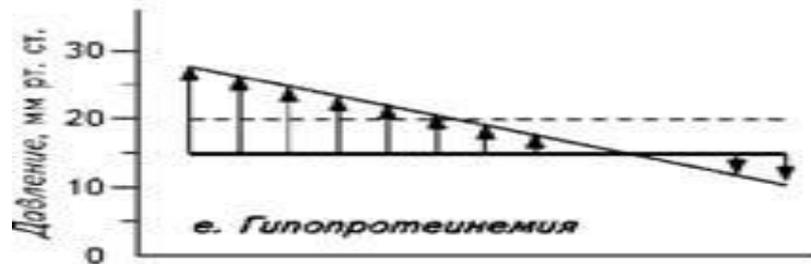
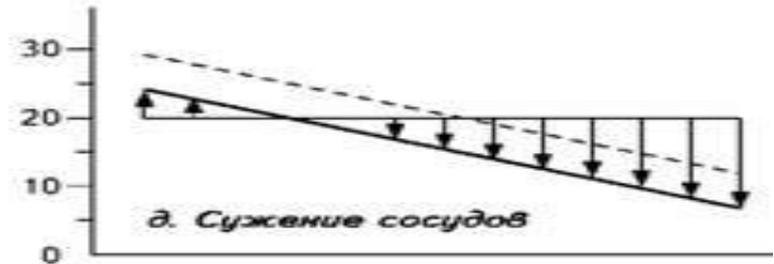
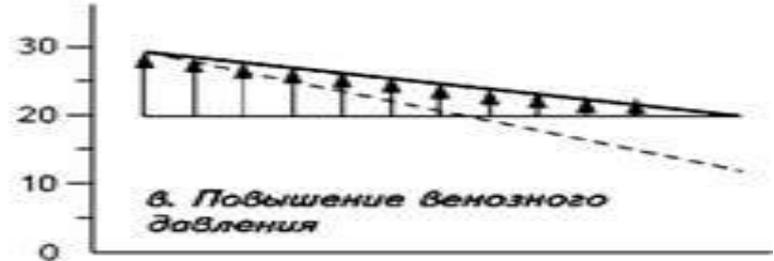
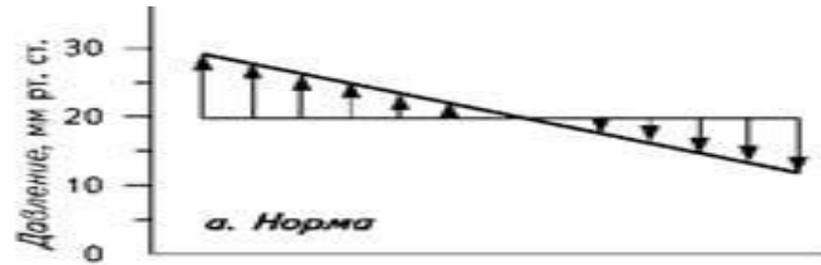


Рис. 1. Схема распределения давления по длине кровеносного капилляра.



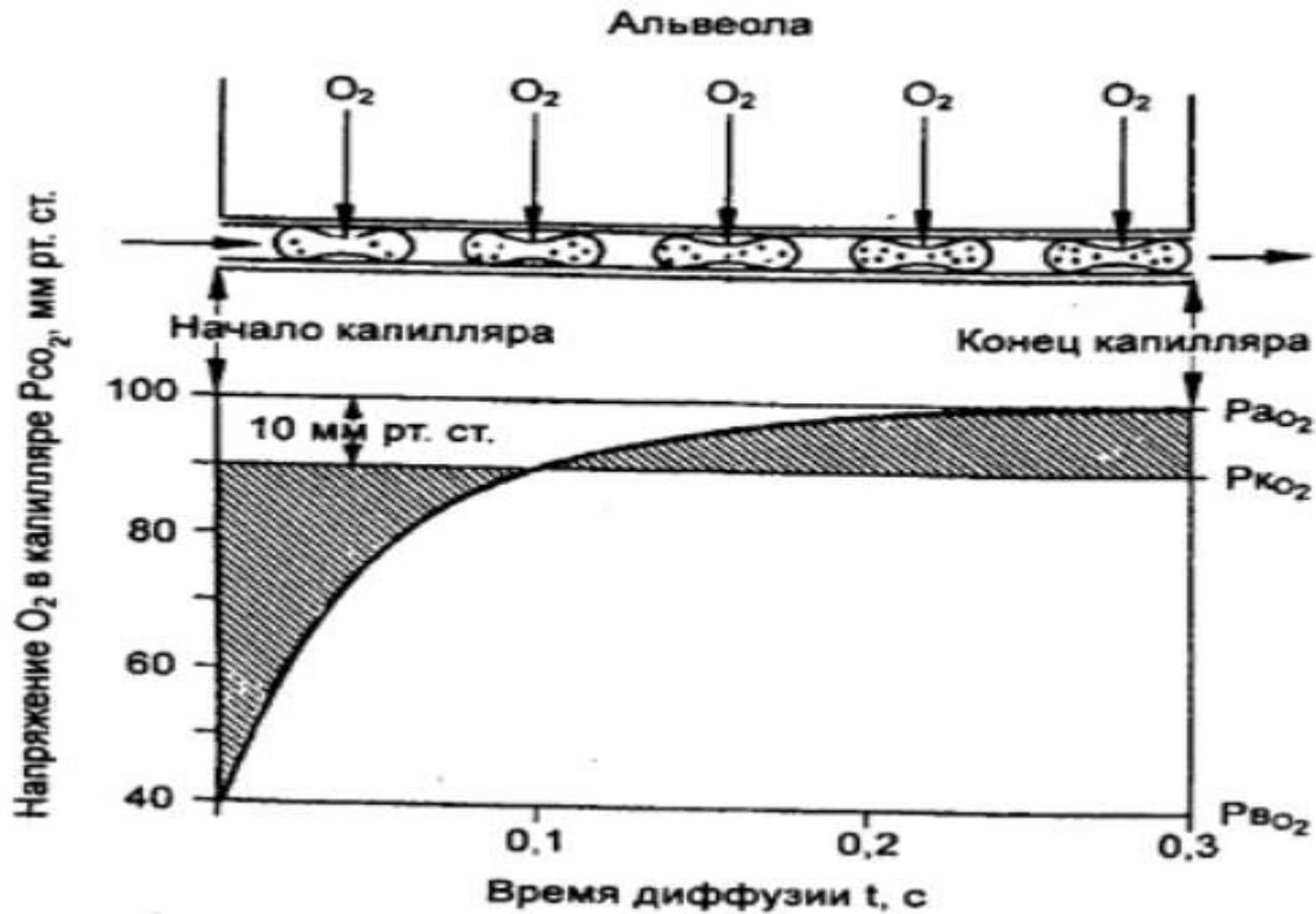
*Артериальный  
конец*

*Венозный  
конец*

*Артериальный  
конец*

*Венозный  
конец*

# Схема диффузии кислорода из альвеол в капилляр



# Диффузия CO<sub>2</sub> в легочных капиллярах

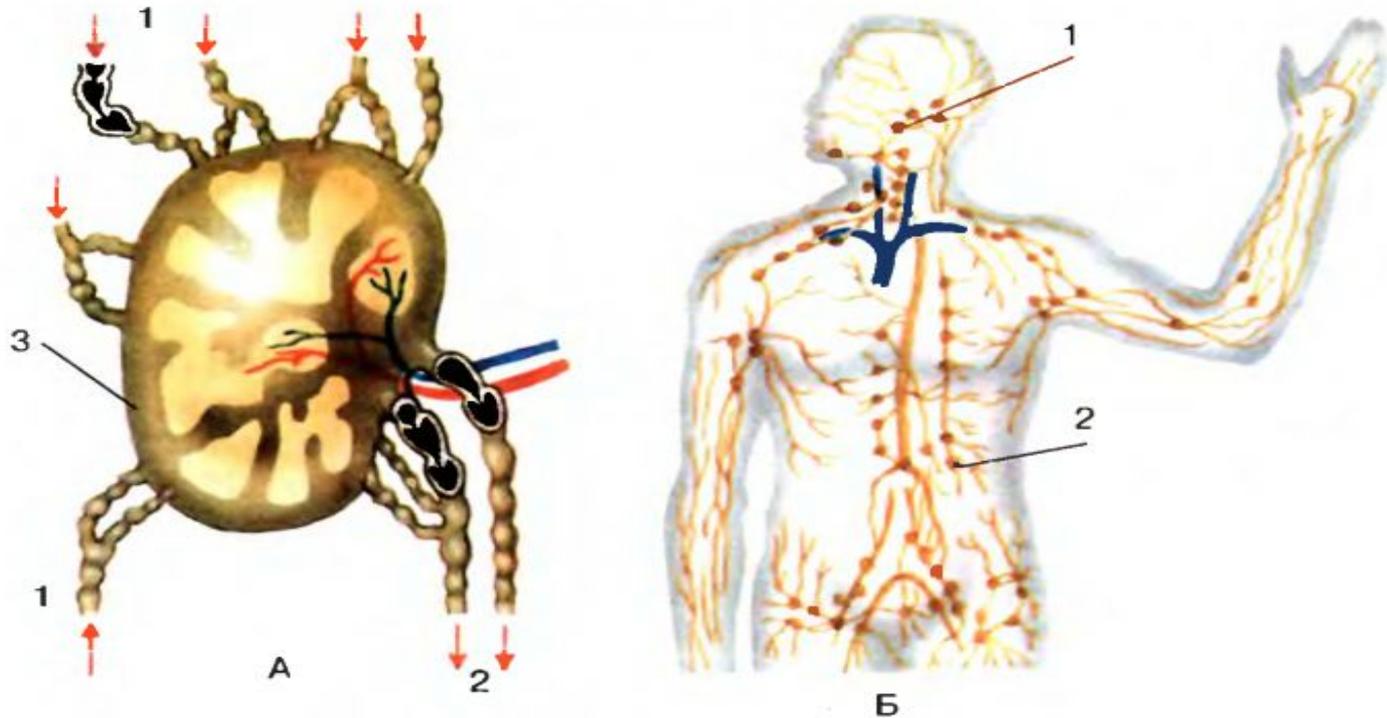


Таблица 9.4

### Основные причины и патофизиологические механизмы отека легких

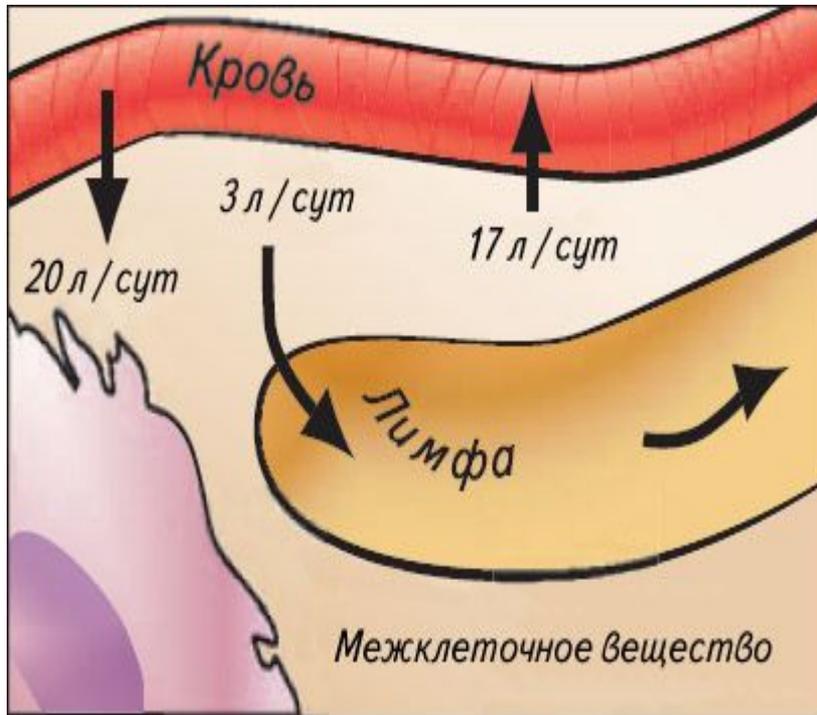
Патофизиологические механизмы	Причины
Высокое гидростатическое давление в легочных капиллярах	Острая левожелудочковая недостаточность, митральный стеноз, артериальная гипертензия, аритмии, трансфузионная гиперволемия, нейрогенный отек легких при черепно-мозговой травме или сосудистых поражениях головного мозга
Низкое онкотическое давление крови	Выраженная гипопротеинемия при печеночной, почечной недостаточности, кровопотере, истощении, гипергидратации
Повышение сосудистой и альвеолярной проницаемости	Травма, шок, инфекция, аспирация, ингаляция раздражающих веществ, панкреатит, отравления
Нарушение лимфооттока	Пневмокониозы, карциноматозный лимфангиит
Избыточное разрежение в альвеоле	Обструкция верхних дыхательных путей, неправильный режим ИВЛ
Сочетание механизмов	В большинстве случаев отека легких

# Лимфатическая система человека



**Рис. 49.** Лимфатическая система человека:  
А — лимфатический узел: 1 — входящие лимфатические сосуды; 2 — выходящие лимфатические сосуды; 3 — оболочка лимфатического узла (красными и синими линиями показаны кровеносные сосуды, питающие лимфоузел). Б — лимфатическая система. Тонкими линиями обозначены лимфатические сосуды, точками — лимфатические узлы (1), жирными линиями — грудной лимфатический проток (2), впадающий в систему верхней полой вены

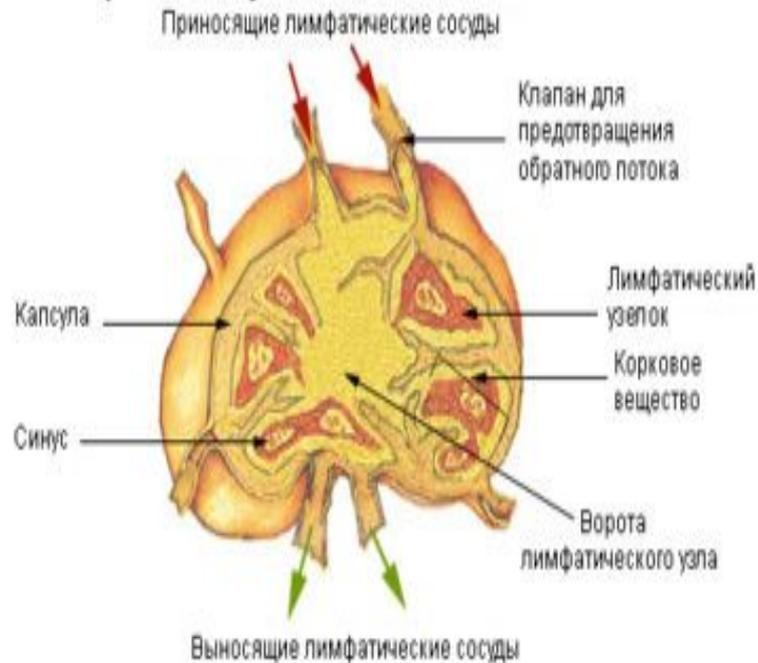
# Свойства лимфы



- Лимфатическая система является частью сосудистой системы, которая успешно добавляет венозную и принимает участие в обмене веществ.
- **Важной функцией лимфатической системы является вывод инородных тел из кровеносной системы, а также очищение тканей и клеток.**

# Лимфатический узел

## Строение лимфатического узла



# Лимфа участвует в реализации следующих функций:

- 1) поддержание постоянства состава и объема интерстициальной жидкости и микросреды клеток;
- 2) возврат белка из тканевой среды в кровь;
- 3) участие в перераспределении жидкости в организме;
- 4) обеспечение гуморальной связи между тканями и органами, лимфоидной системой и кровью;
- 5) всасывание и транспорт продуктов гидролиза пищи, особенно, липидов из желудочно-кишечного тракта в кровь;
- 6) обеспечение механизмов иммунитета путем транспорта антигенов и антител, переноса из лимфоидных органов плазматических клеток, иммунных лимфоцитов и макрофагов.

# Состав лимфы

Ионы	Концентрация
Na <sup>+</sup>	114,3-137,5
K <sup>+</sup>	3,6-5,8
Ca <sup>++</sup>	2,0-3,1
Mg <sup>++</sup>	0,6-1,5
Cl <sup>-</sup>	92,0-140,7

Фракции	Содержание
Альбумины (г/л)	15,0-40,0
Глобулины (г/л)	10,0-16,1
α- Глобулины (%)	2,9-9,1
α <sub>2</sub> -глобулины (%)	5,2-11,0
β-глобулины (%)	6,7-17,7
γ-глобулины (%)	10,0-23,8
Фибриноген (г/л)	1,5-4,6
Протромбин (%)	30,0-78,7
Общий белок (г/л)	25,0-56,1

Все белки, поступающие из крови в интерстициальное пространство, возвращаются в кровь только через лимфатическую систему. Это явление носит название **«основной закон лимфологии»**. Таким образом, по пути кровь-лимфа-кровь в сутки рециркулирует от 50 до 100 % белка.

Спасибо за внимание.

