

Микроциркуляция
Транскапиллярный обмен
Лимфообращение

Микроциркуляция

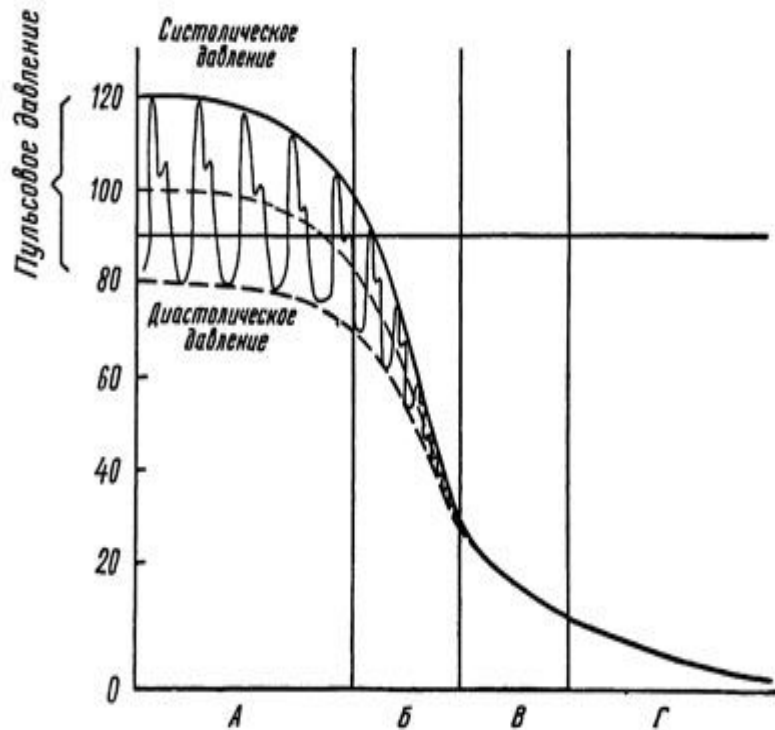
Микроциркуляция (греч. *mikros* малый + лат. *circulatio* круговращение) транспорт биологических жидкостей на уровне тканей организма:

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

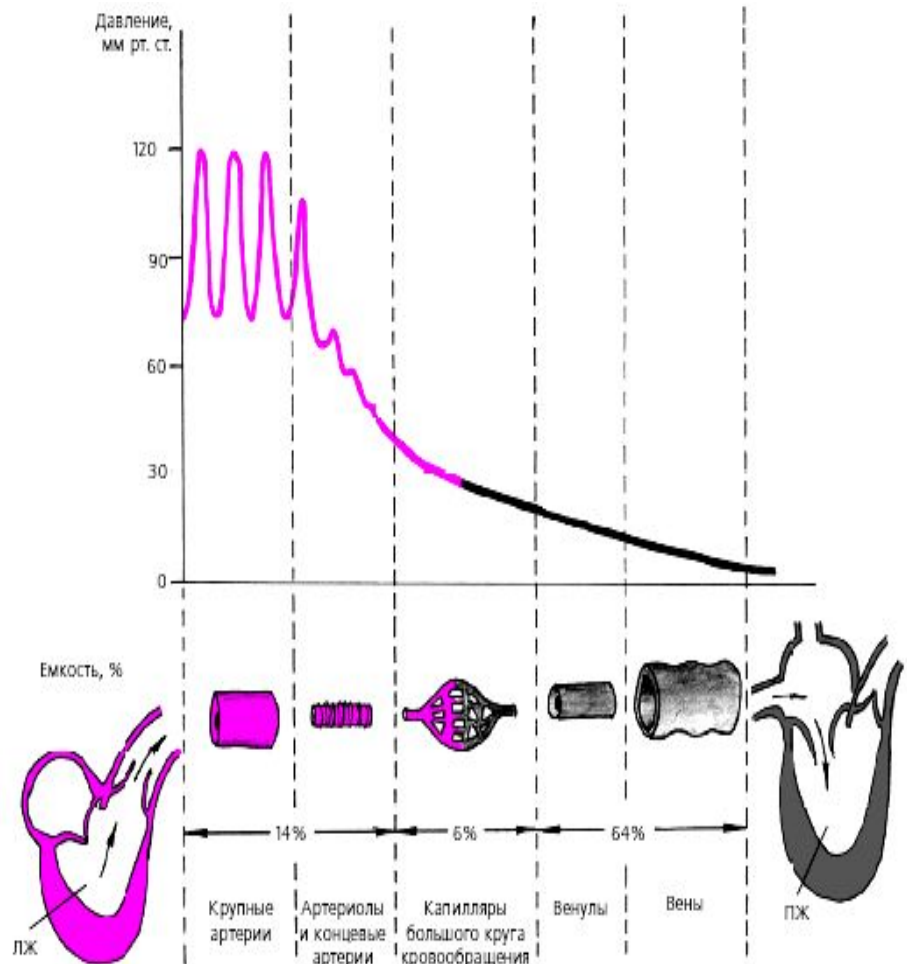
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- **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

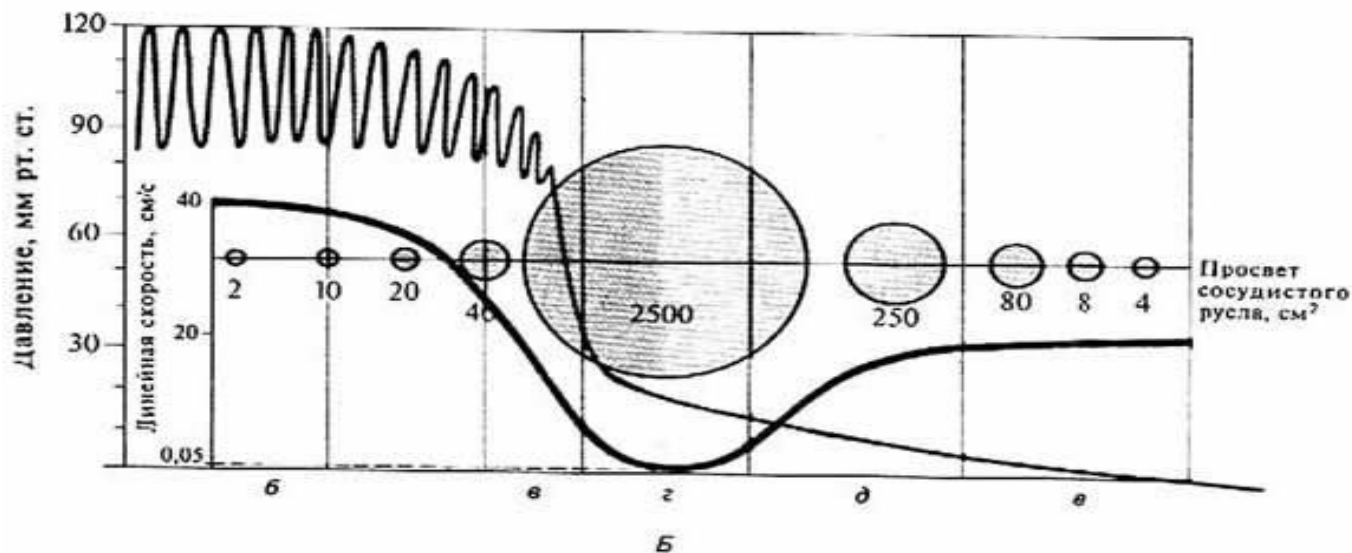
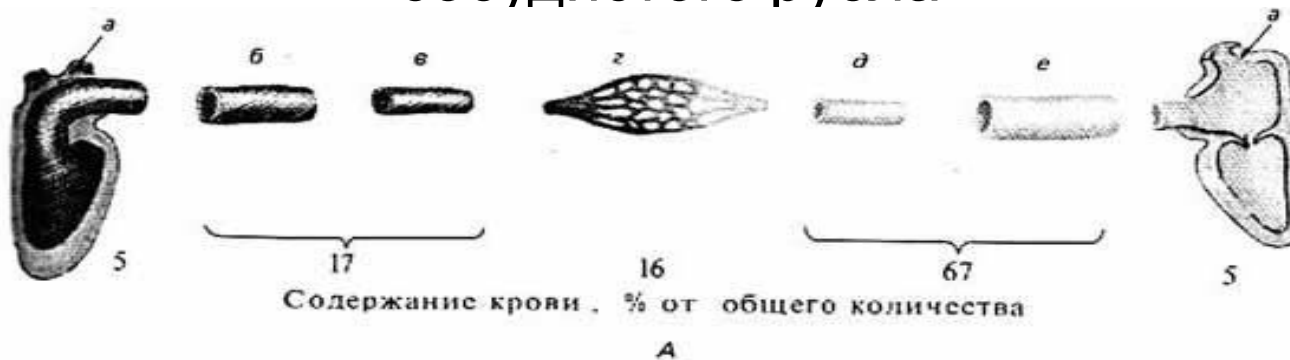
Давление в разных участках сосудистого русла



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



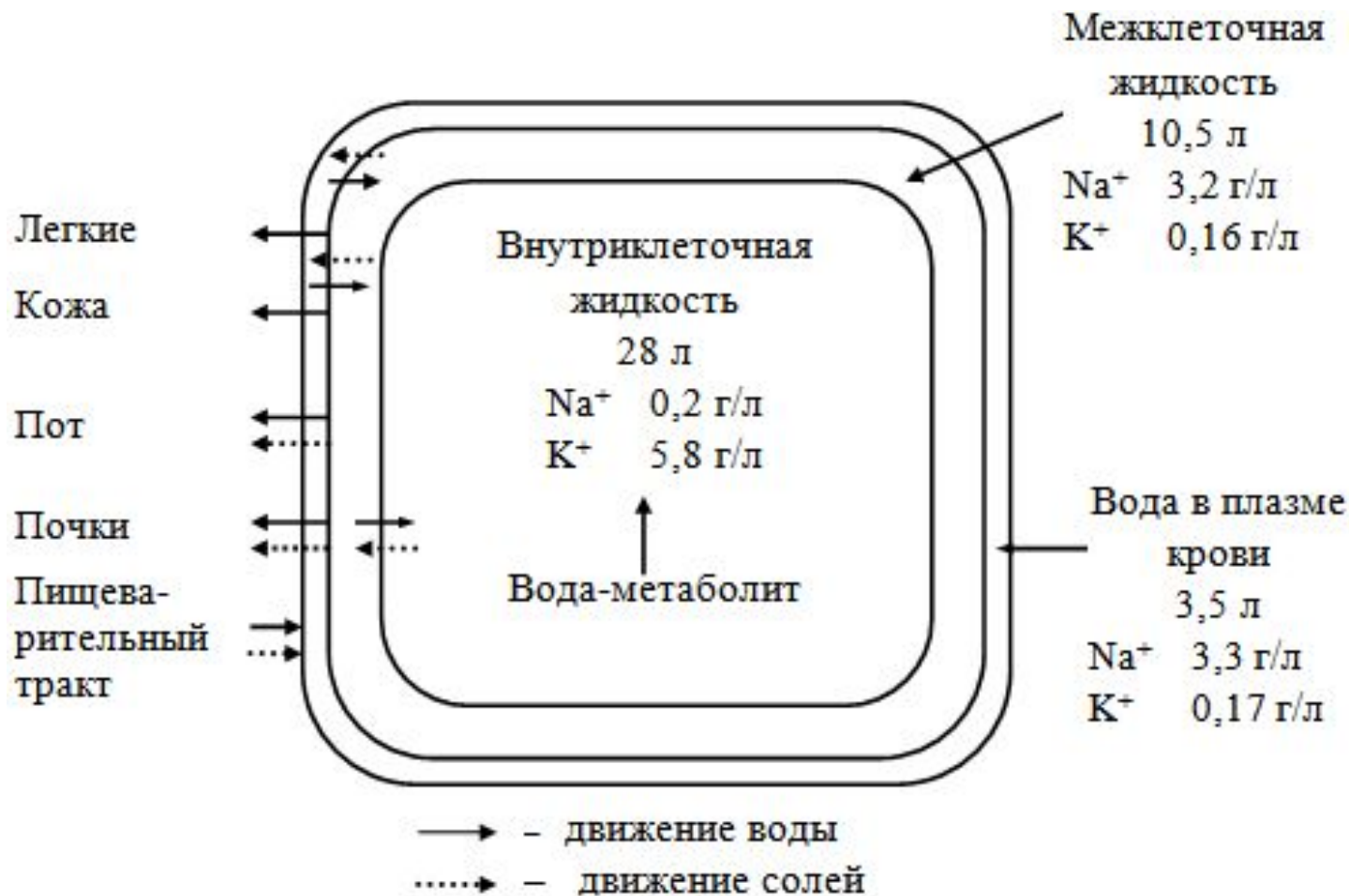
Давление, линейная скорость кровотока, суммарный просвет сосудов, и объем крови в разных участках сосудистого русла



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

Сосуд	Давление, мм рт. ст.	Объем, см ³	Скорость кровотока, см · с ⁻¹	Сопротивление, дин · с · см ⁻⁵
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

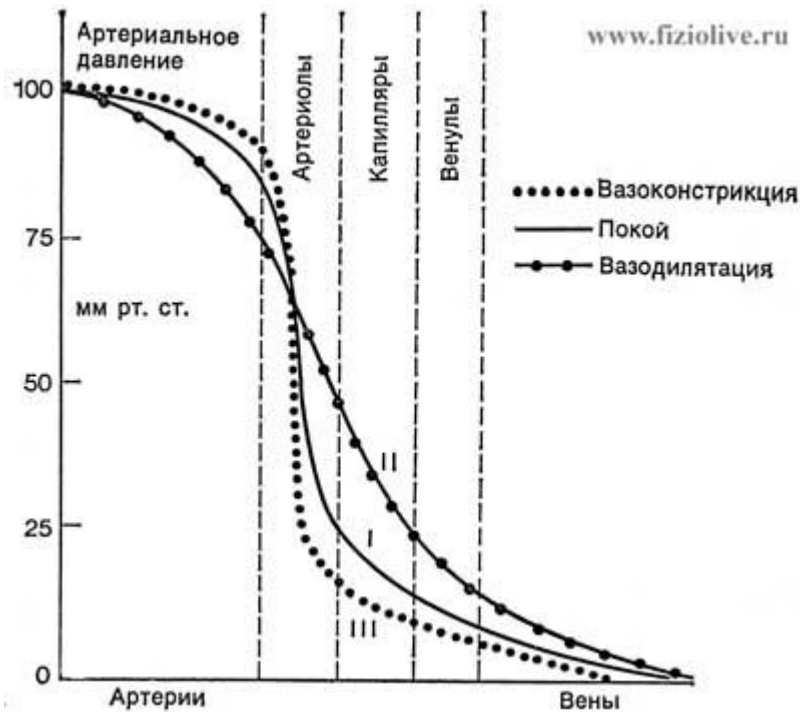


Ионный состав плазмы, интерстициальной жидкости и внутриклеточной жидкости

Таблица 8.2. Ионный и молярный состав жидкостей тела

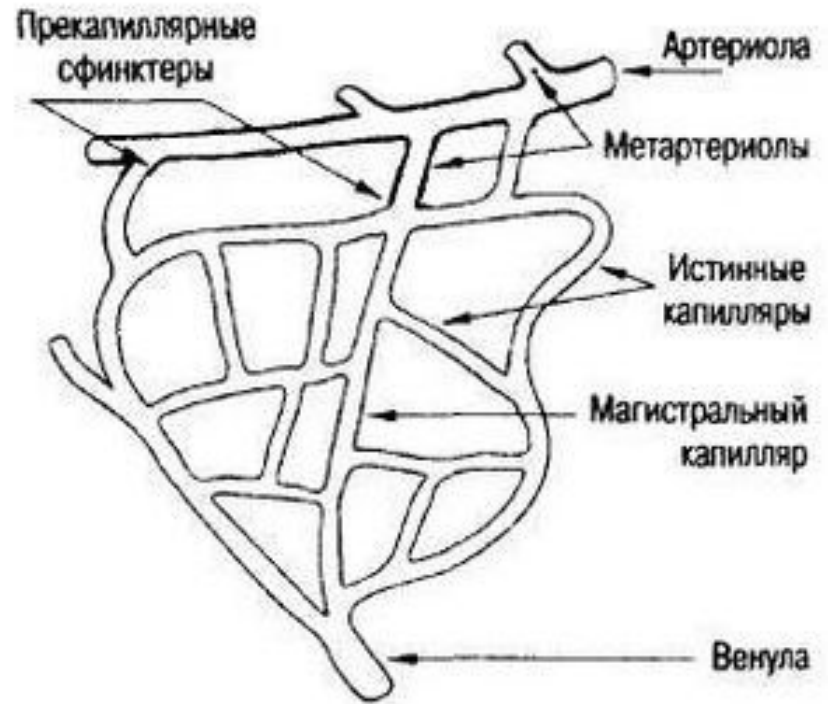
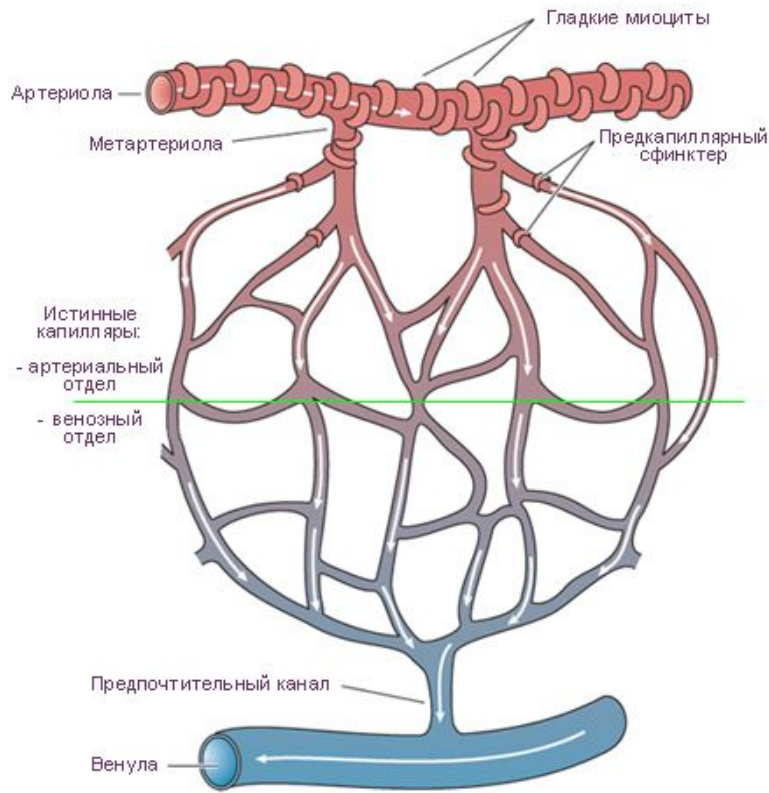
Ионный состав	Плазма		ИнЖ		ВнуКЖ	
	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л
Катионы						
Na ⁺	140	140	142	142	10	10
K ⁺	4	4	4	4	160	160
Ca ²⁺	5	2,5	2	1	2	1
Mg ²⁺	2	1	2	1	26	13
Всего...	151	147,5	150	148	198	184
Анионы						
Cl ⁻	103	103	114	114	3	3
HCO ₃ ⁻	24	24	28	27	11	11
HPO ₄ ²⁻	2	1	2	1	100	50
SO ₄ ²⁻	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

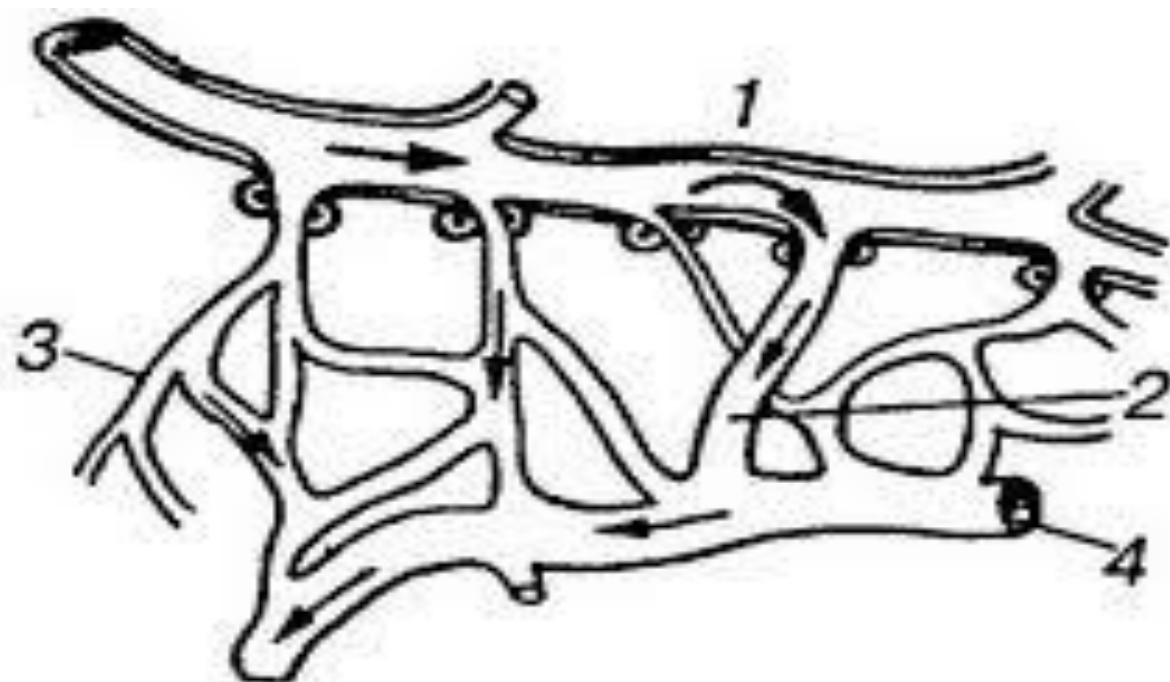
Изменение давления в разных участках сосудистого русла при спазме и расширении сосудов



- 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* — артериовено-
зный анастомоз; *3* — капилля-
ры; *4* — венула

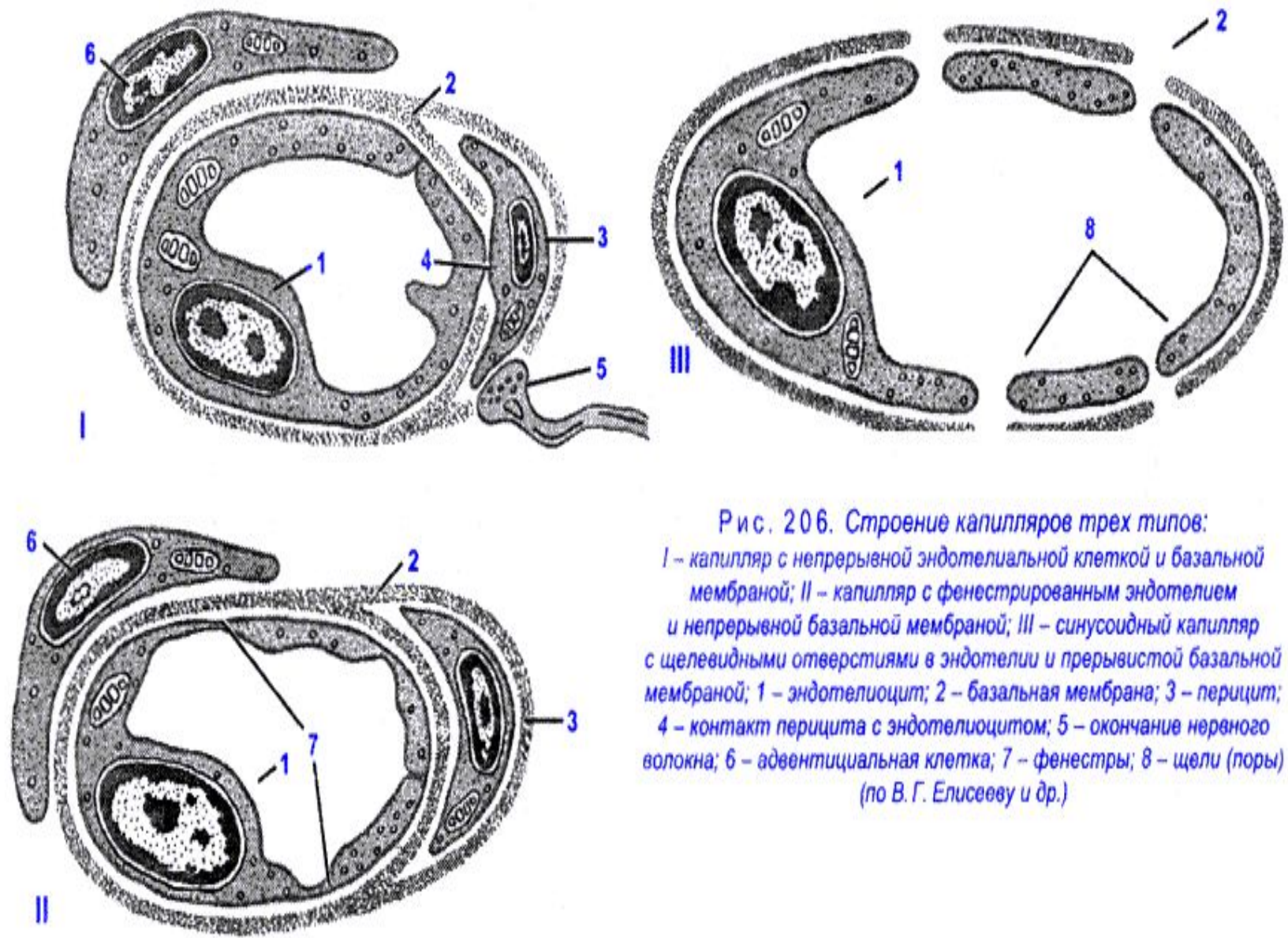
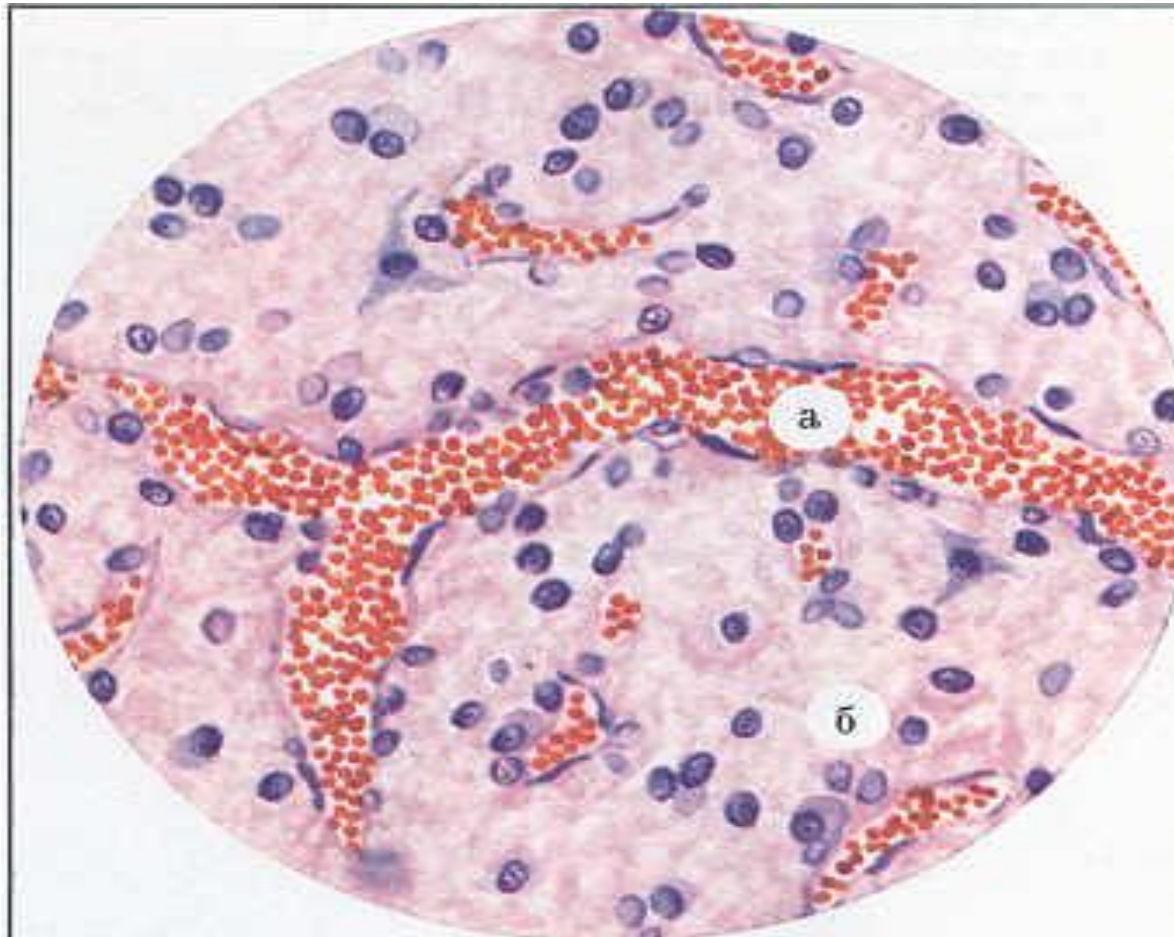


Рис. 206. Строение капилляров трех типов:
 I – капилляр с непрерывной эндотелиальной клеткой и базальной мембраной; II – капилляр с фенестрированным эндотелием и непрерывной базальной мембраной; III – синусоидный капилляр с щелевидными отверстиями в эндотелии и прерывистой базальной мембраной; 1 – эндотелиоцит; 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.)

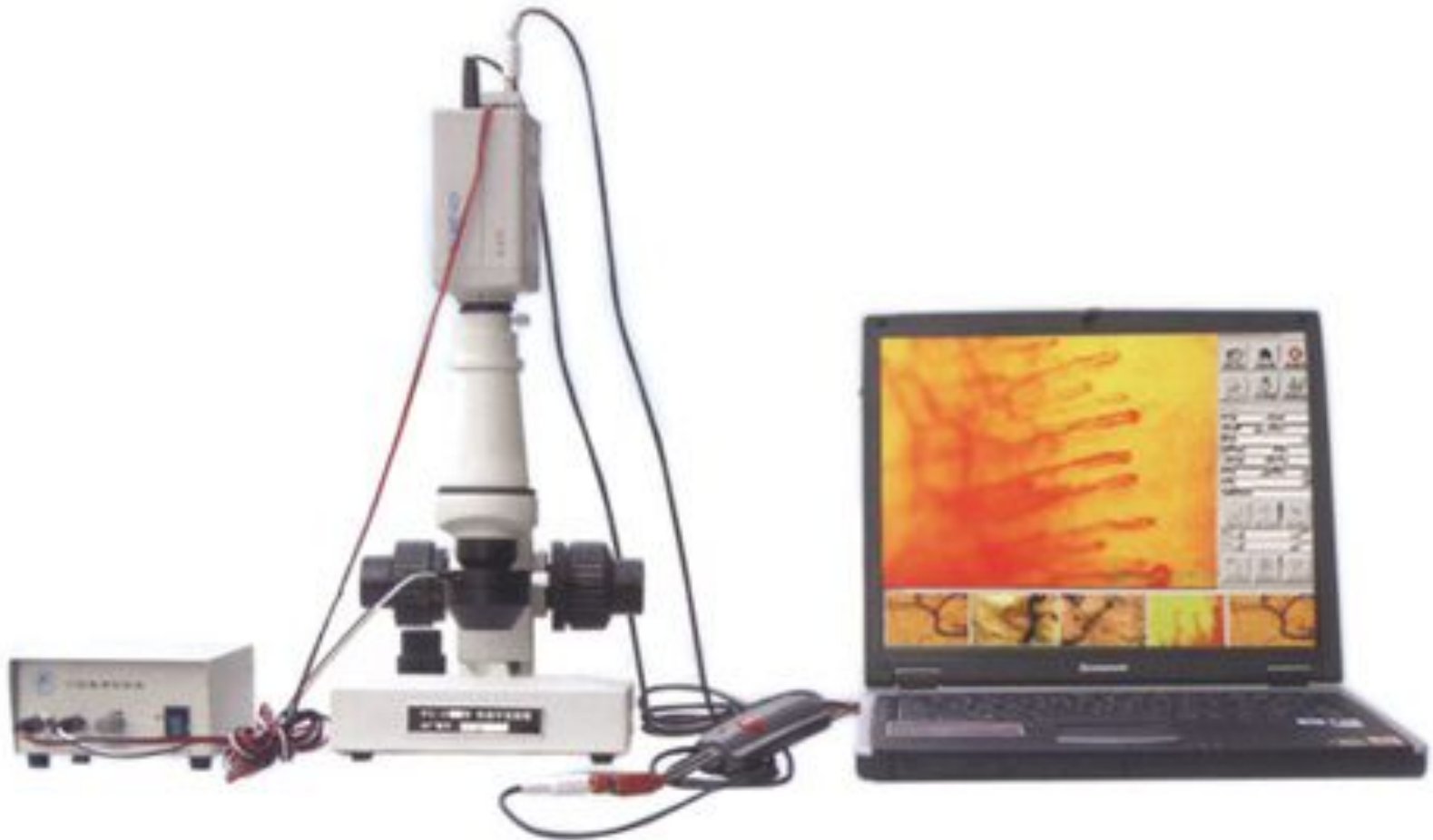
Капилляры под микроскопом



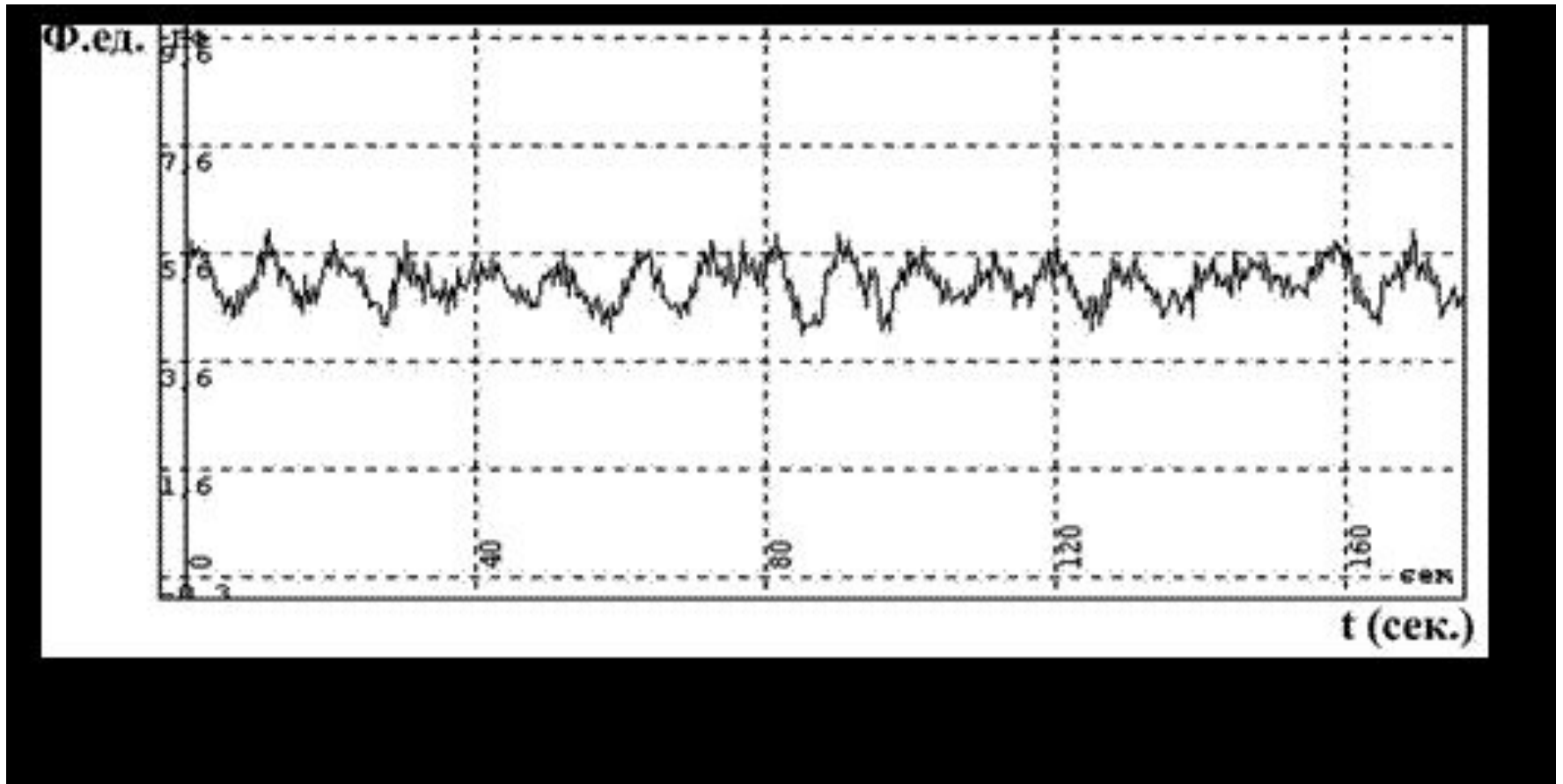
ТИПЫ КАПИЛЛЯРОВ

- **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:

$$V = (P_{Гк} - P_{Гт} - P_{ок} + P_{от}) * K$$

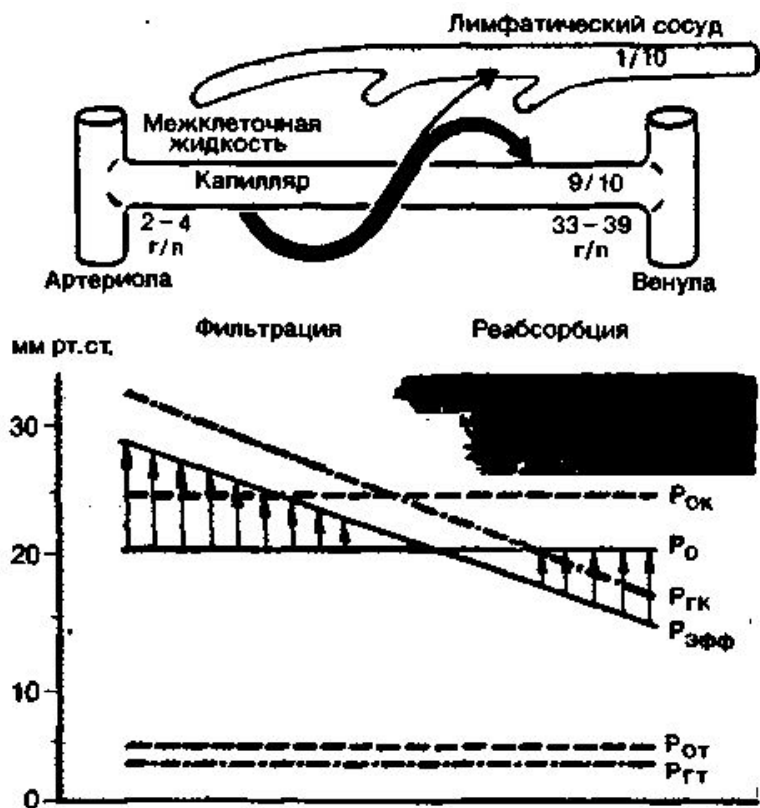
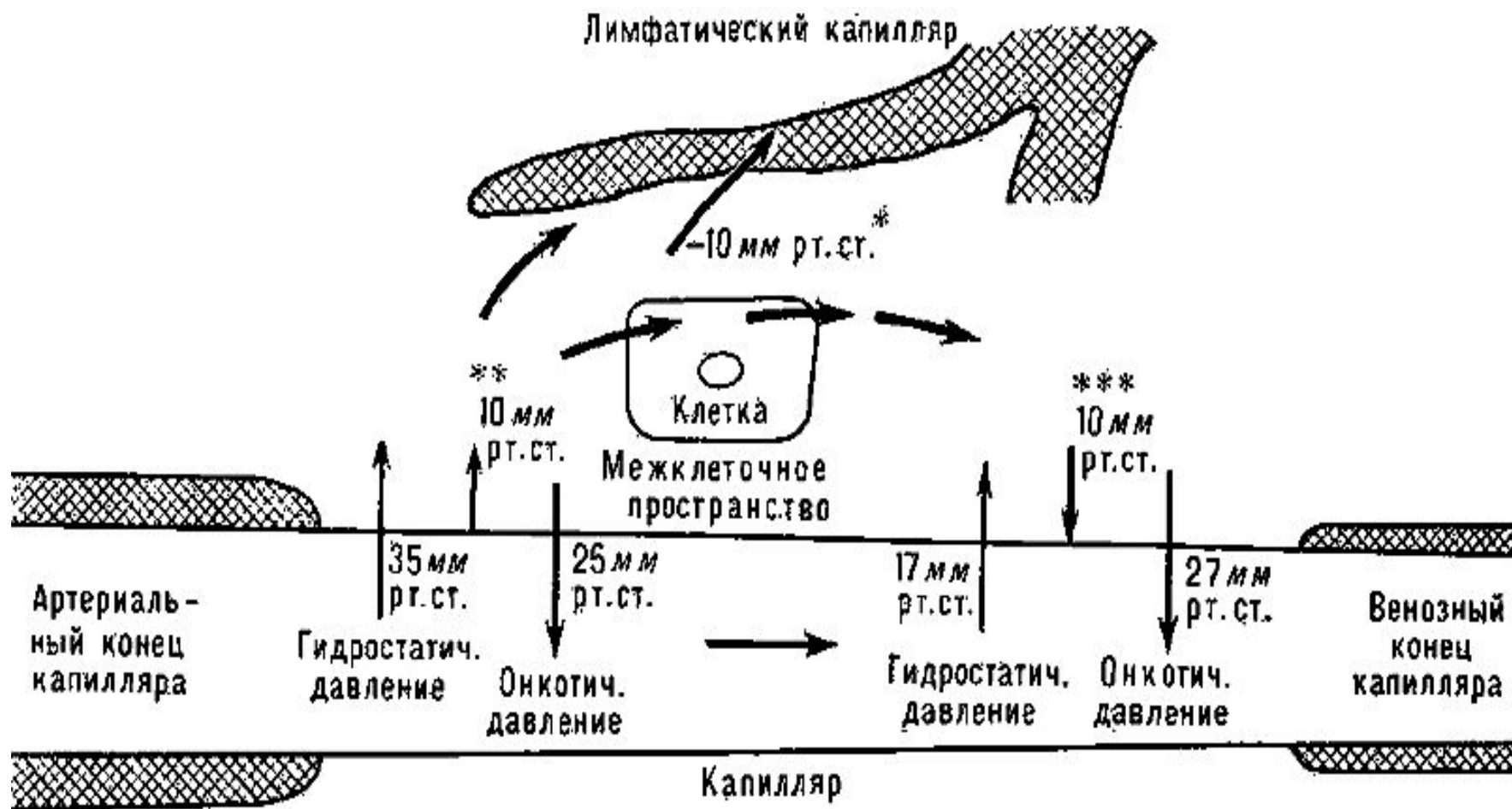


Схема движения жидкости из капилляра в межклеточное пространство и в лимфатический сосуд



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.

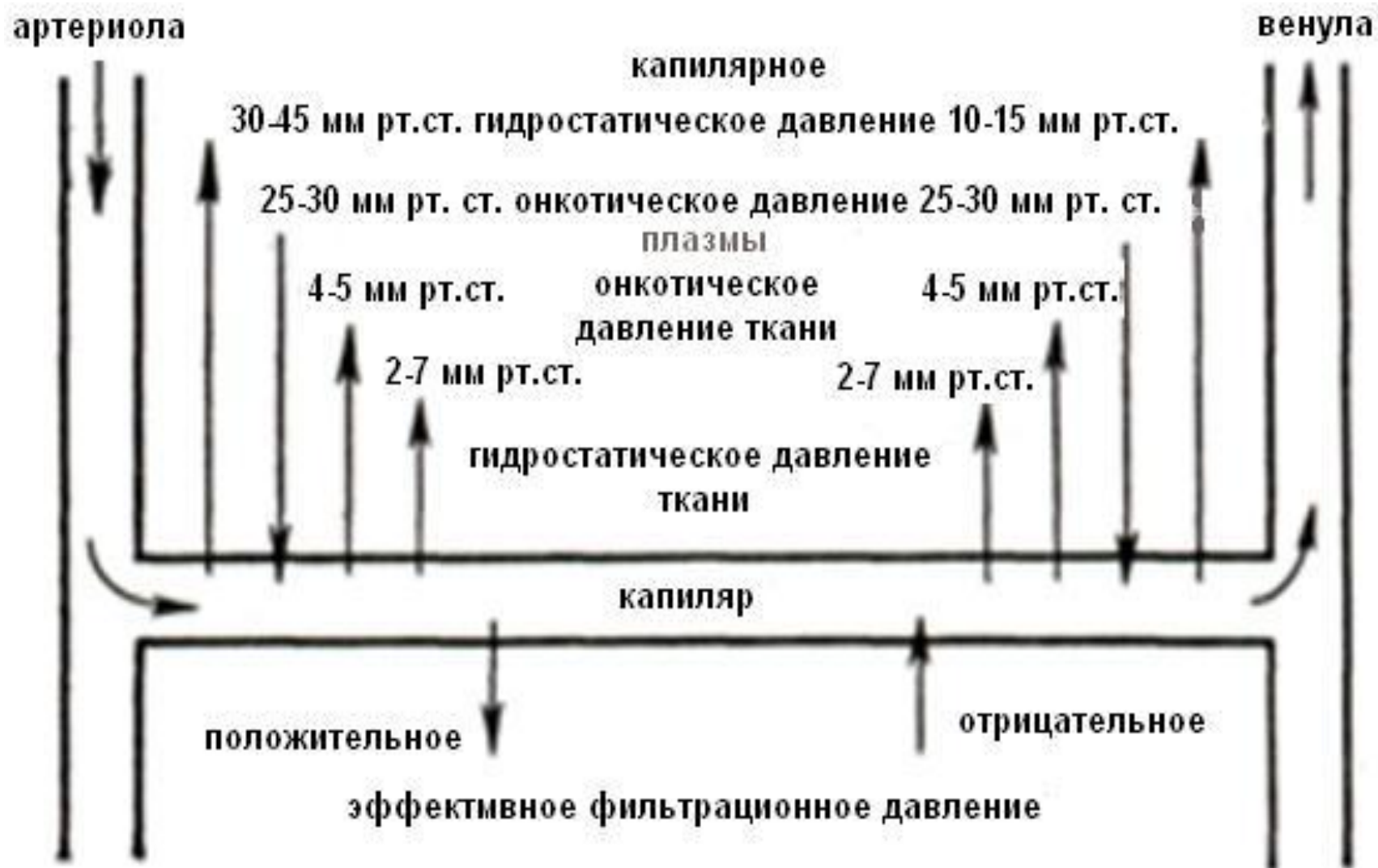
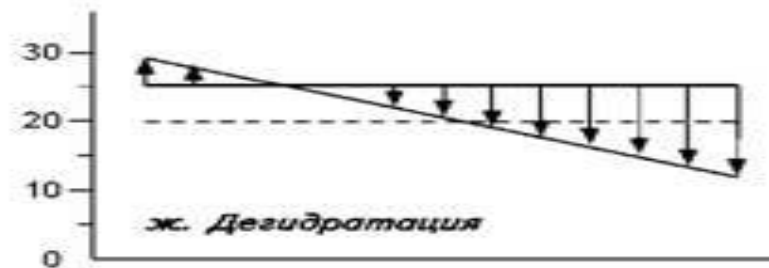
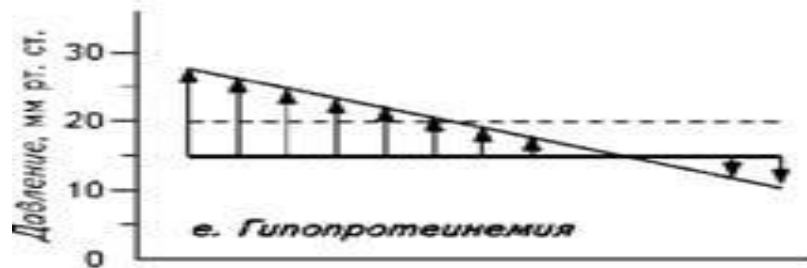
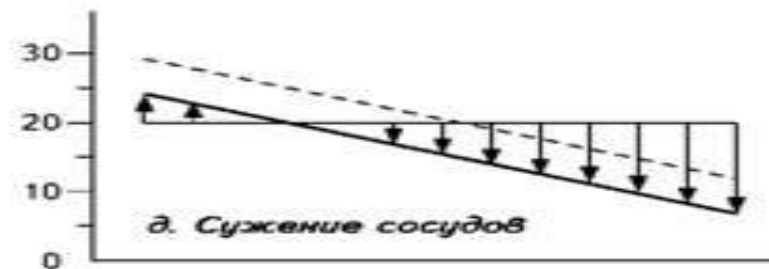
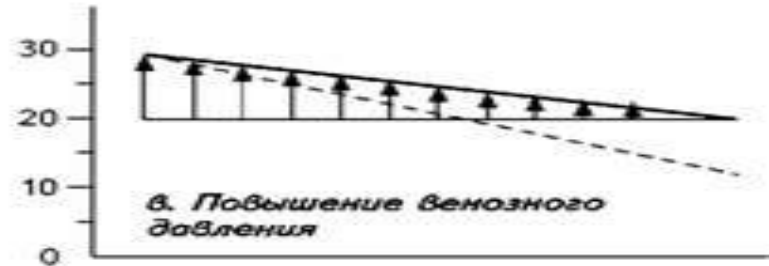
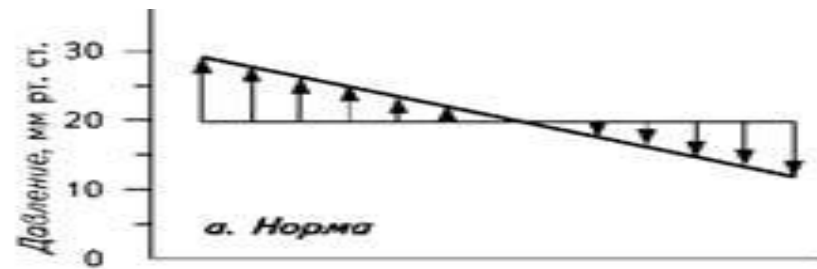


Рис. 1. Схема распределения давления по длине кровеносного капилляра.



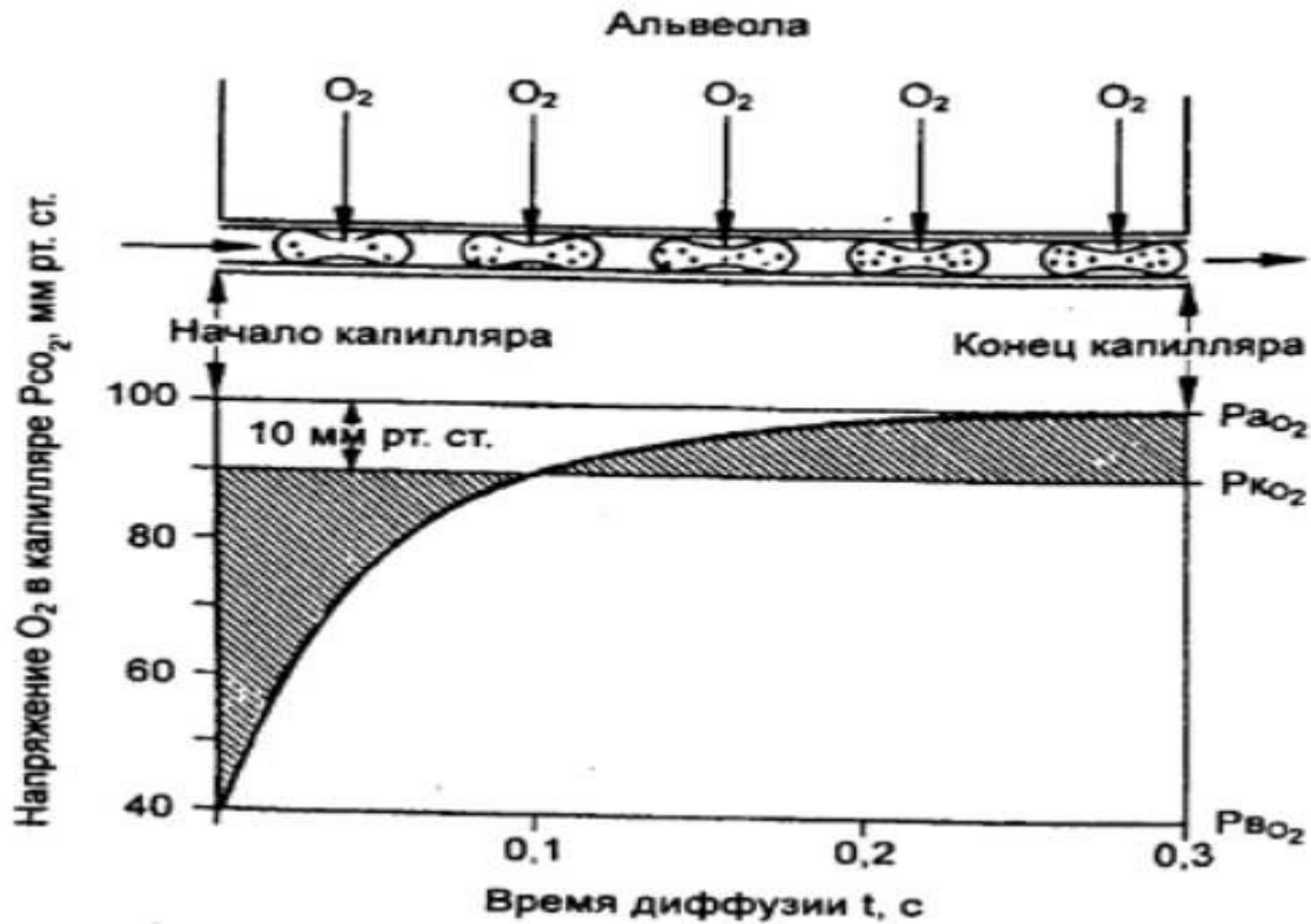
*Артериальный
конец*

*Венозный
конец*

*Артериальный
конец*

*Венозный
конец*

Схема диффузии кислорода из альвеол в капилляр



Диффузия CO₂ 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 гиперволемиа, нейрогенный отек легких при черепно-мозговой травме или сосудистых поражениях головного мозга
Низкое онкотическое давление крови	Выраженная гипопроотеинемия 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

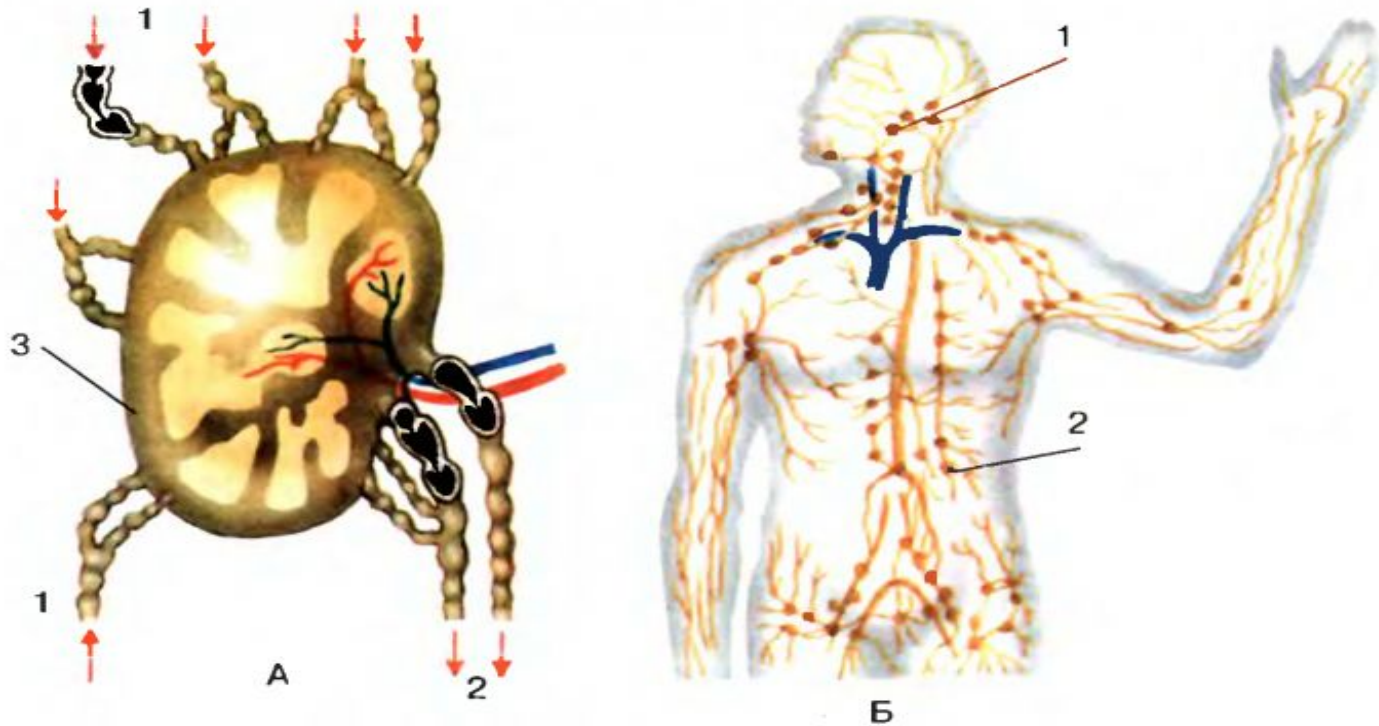
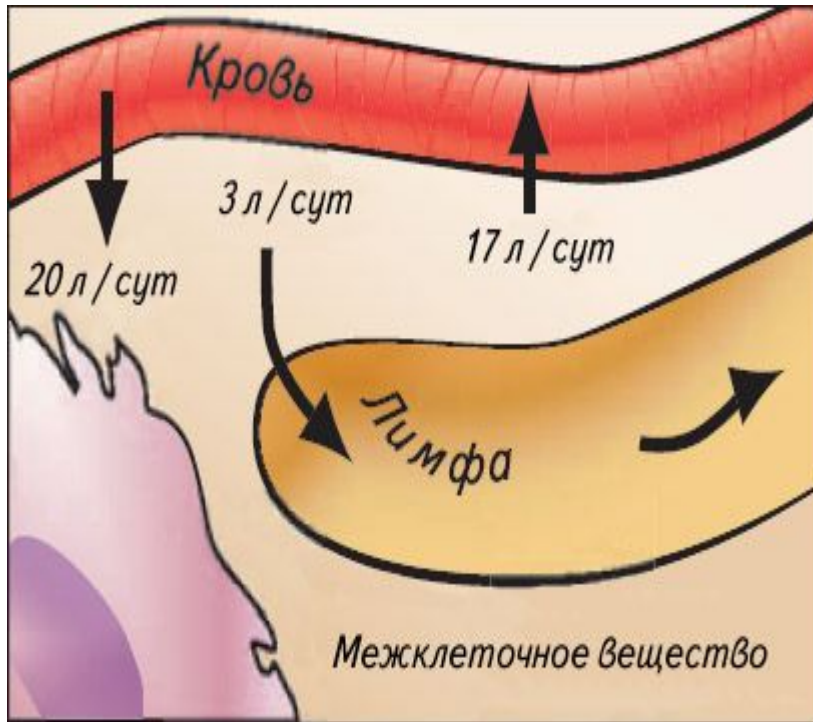


Рис. 49. Лимфатическая система человека:
А — лимфатический узел: 1 — входящие лимфатические сосуды; 2 — выходящие лимфатические сосуды; 3 — оболочка лимфатического узла (красными и синими линиями показаны кровеносные сосуды, питающие лимфоузел). Б — лимфатическая система. Тонкими линиями обозначены лимфатические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

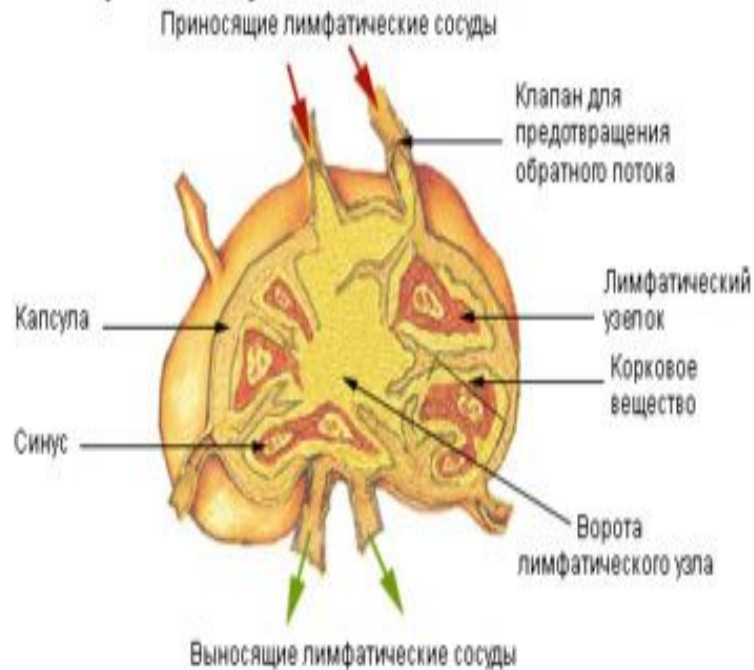
Свойства лимфы



- 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 ⁺	114,3-137,5
K ⁺	3,6-5,8
Ca ⁺⁺	2,0-3,1
Mg ⁺⁺	0,6-1,5
Cl ⁻	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 ₂ -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.

