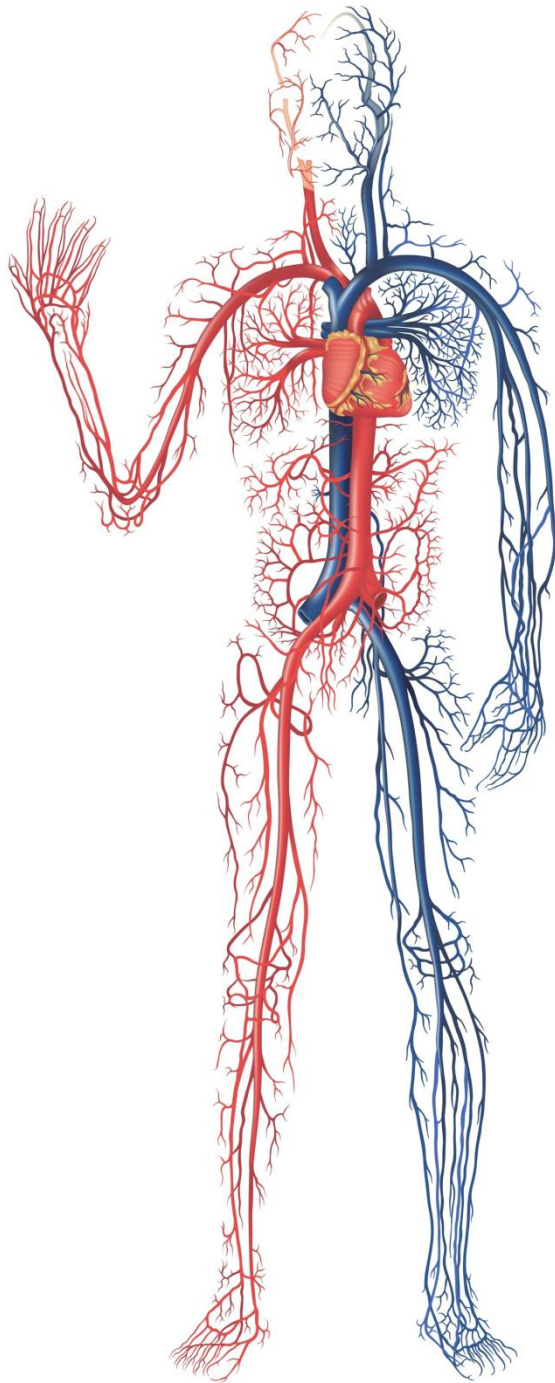
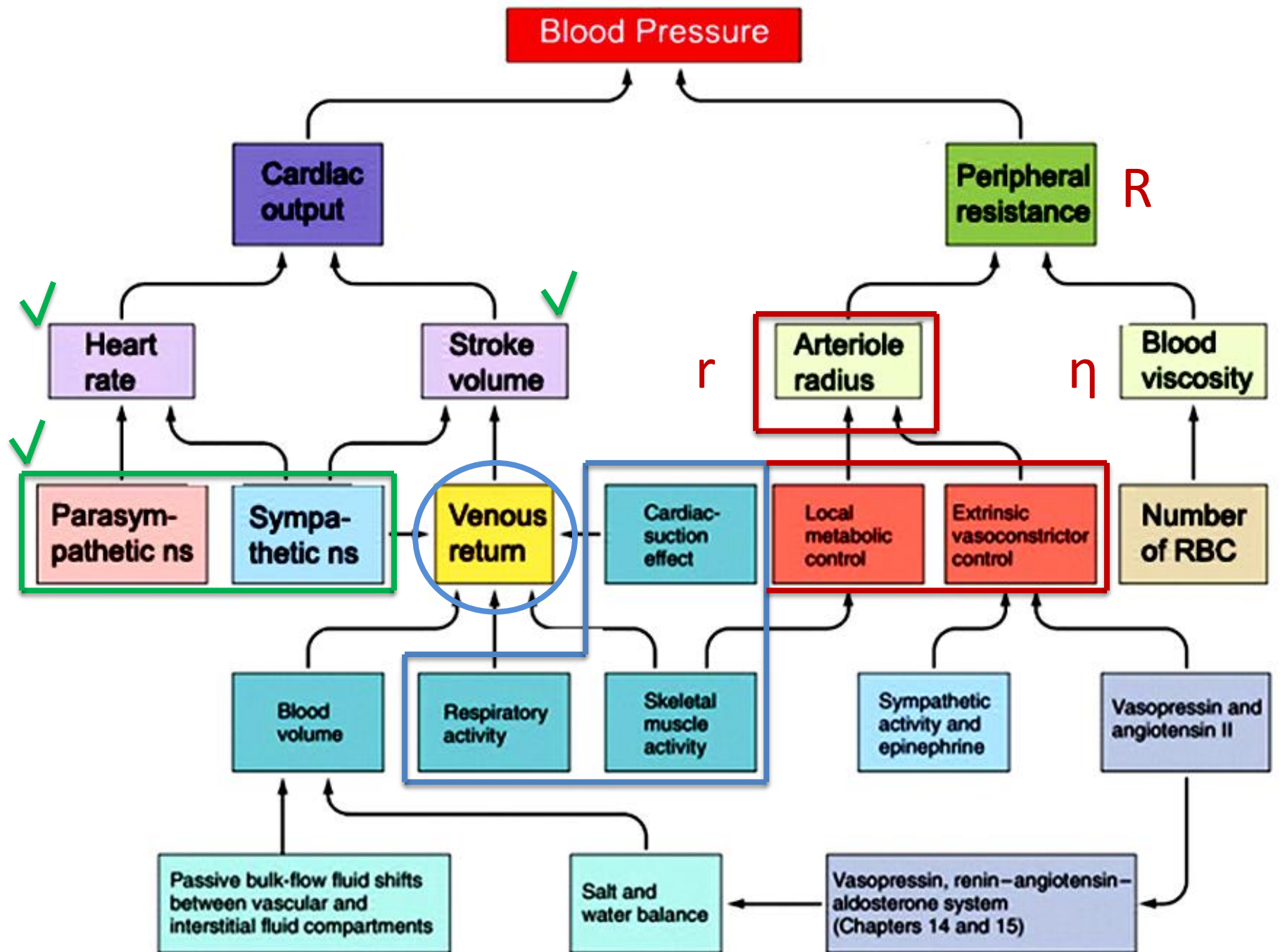


Лекция 10. Основные законы
гемодинамики. Параметры
кровообращения.



ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

- **ТРАНСПОРТНАЯ** — конвекция и диффузия - перенос вещества на различные расстояния — определяется величиной (силой) градиента давления.
 - ДЫХАТЕЛЬНАЯ
 - ТРОФИЧЕСКАЯ
 - ЭКСКРЕТОРНАЯ
- **ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ**
- **ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ**



Круги кровообращения

КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

БОЛЬШОЙ КРУГ

Левый желудочек - аорта, артерии, капилляры и вены мускулатуры тела и всех органов (кроме легких), полые вены - правое предсердие.

Объем крови – 84%

Величина сред. давления

в крупн. артериях `120/80 мм рт.ст.

в капиллярах `35/15 мм рт.ст.

Скорость кровотока в крупн.

артериях – 30-90 см/с

МАЛЫЙ КРУГ

Правый желудочек –легочной ствол, сосуды легких, легочные вены – левое предсердие.

Объем крови – 9%

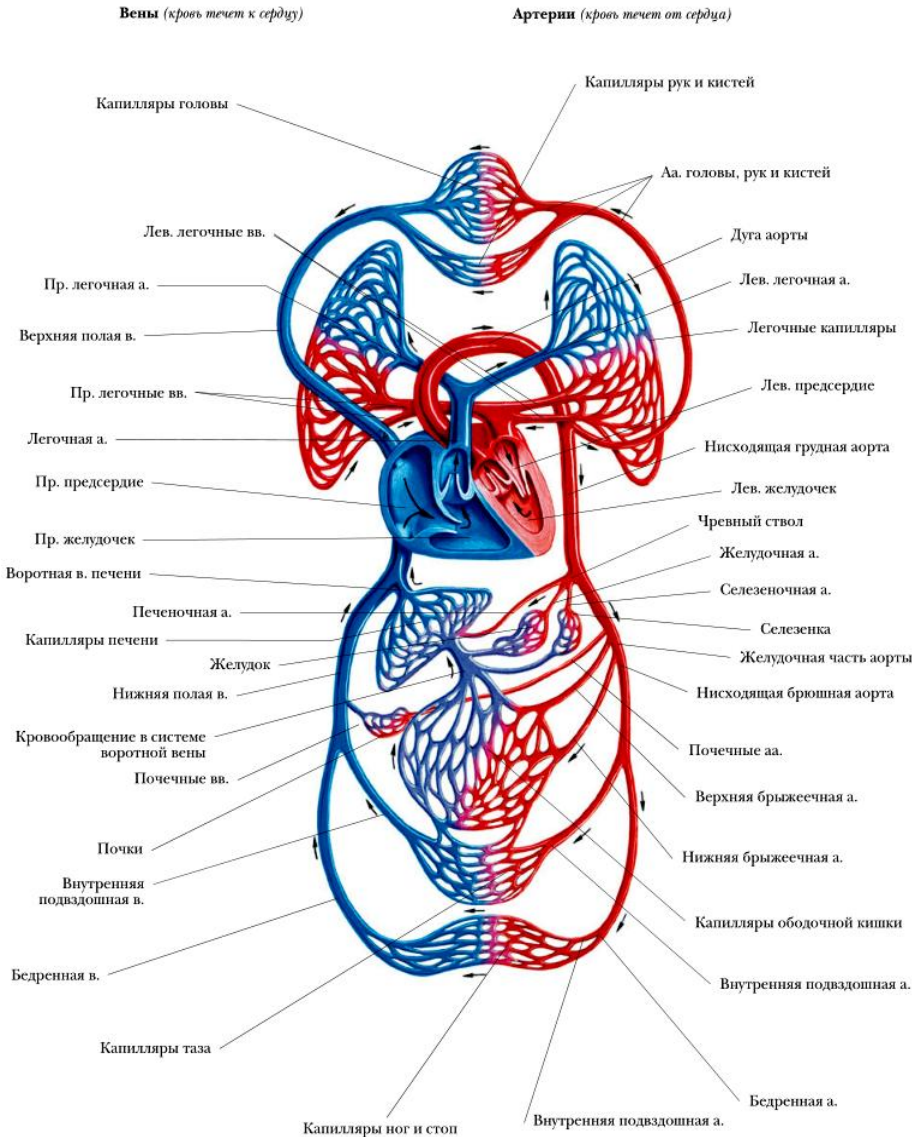
Величина сред. давления

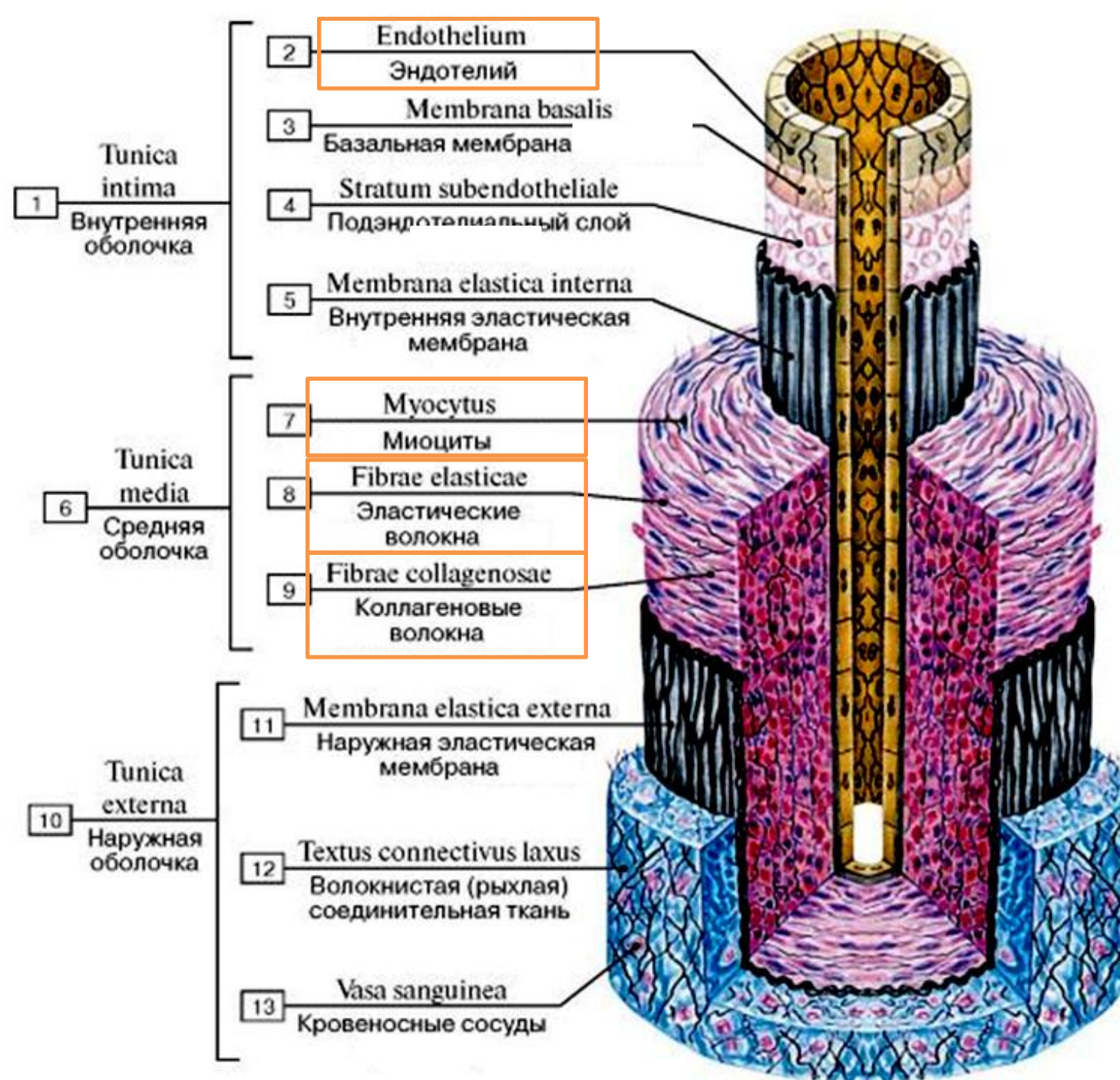
в крупн. артериях `25/8 мм рт.ст.

в капиллярах `8/3 мм рт.ст.

Скорость кровотока в крупн.

артериях – 10 см/с

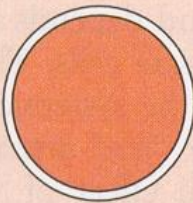
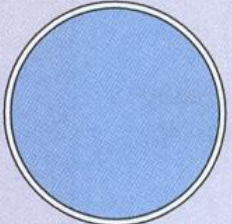
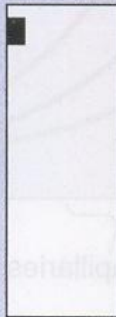
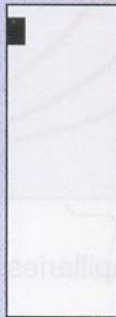
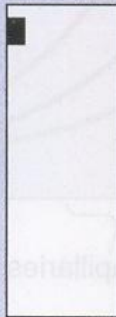
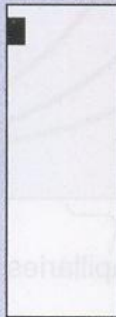




Морфофункциональная классификация сосудов

основана на разной степени выраженности различных элементов стенки сосудов.

- **Амортизирующие сосуды** – амортизация пульсовых колебаний давления (крупные артерии эластического типа – выражен слой **эластических волокон**);
- **Резистивные** – создание сопротивления току крови (артерии мышечного типа среднего и малого калибра, вазомоторные реакции – выражен слой **ГМК**);
- **Сосуды-шунты** – артерио-венозные анастомозы; реакции перераспределения тока крови терминального кровообращения;
- **Сосуды-сфинктеры** – регуляция тока крови по капиллярам (пре- и посткапиллярные сфинктеры) – игра капилляров;
- **Обменные сосуды** – обмен растворёнными в воде электролитами, газами и т.д., между плазмой и межклеточной жидкостью (капилляры) – однослойный эндотелий;
- **Емкостные сосуды** – “депо” крови (вены среднего калибра – выражен слой **коллагеновых волокон**).

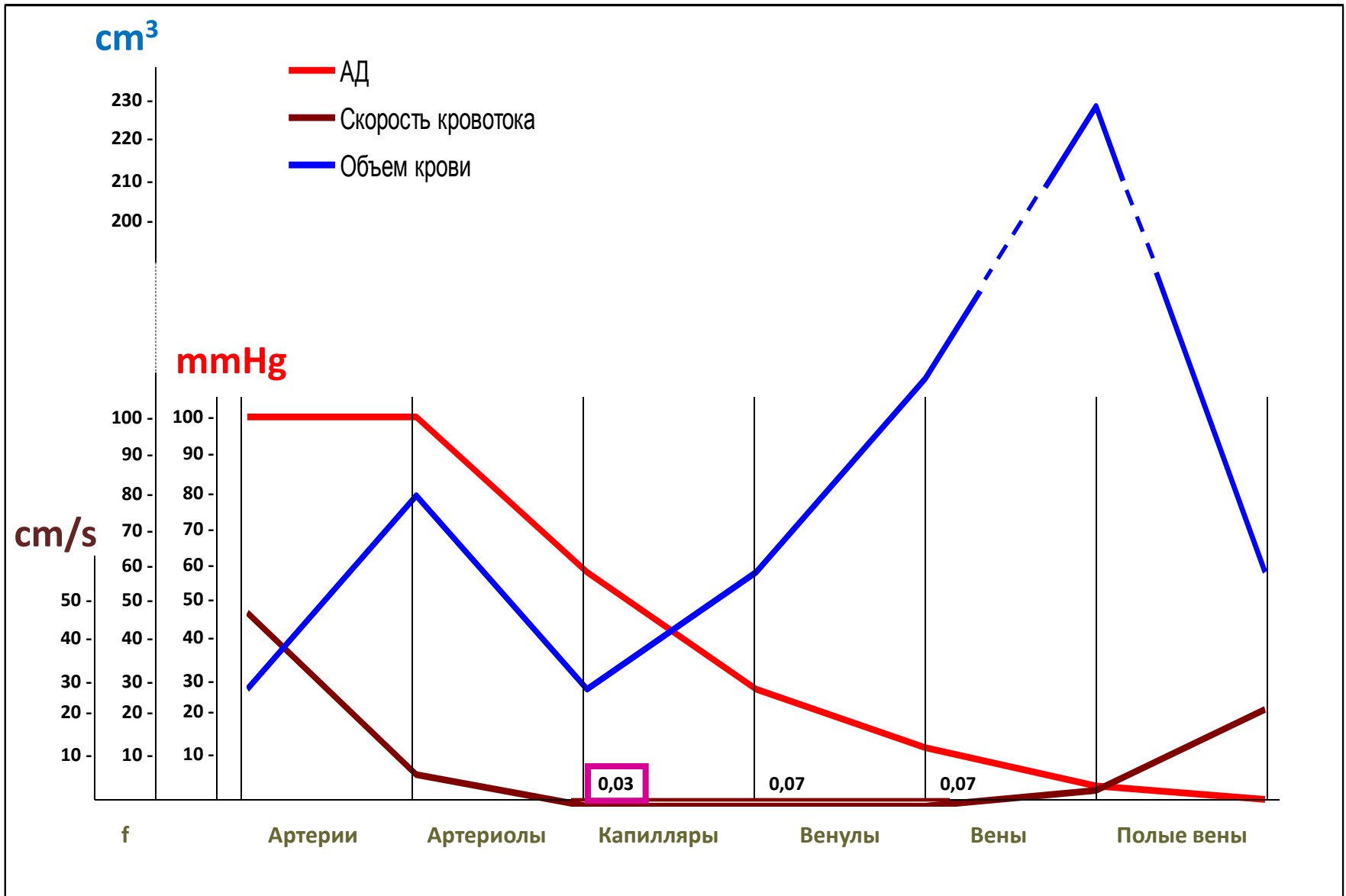
	Aorta	Medium artery	Arteriole	Precapillary sphincter	True capillary	Venule	Vein	Vena cava
Internal radius:	12 mm	2 mm	15 μm	15 μm	3 μm	10 μm	2.5 mm	15 mm
Wall thickness:	2 mm	1 mm	20 μm	30 μm	1 μm	2 μm	0.5 mm	1.5 mm
								
Endothelial cells								
Elastic fibers								
Smooth muscle								
Collagen fibers								

Создают эластическое напряжение, противодействующее систолическому повышению давления крови

Определяют тонус стенки и величину просвета сосуда

Противодействуют силам растяжения стенки под давлением крови, если оно выше определенного уровня

Распределение объемов, давления и скорости кровотока в разных сосудистых бассейнах

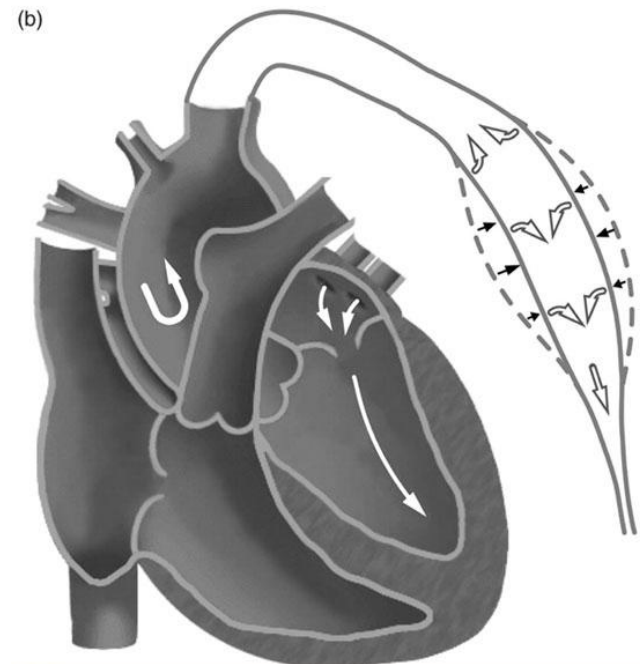
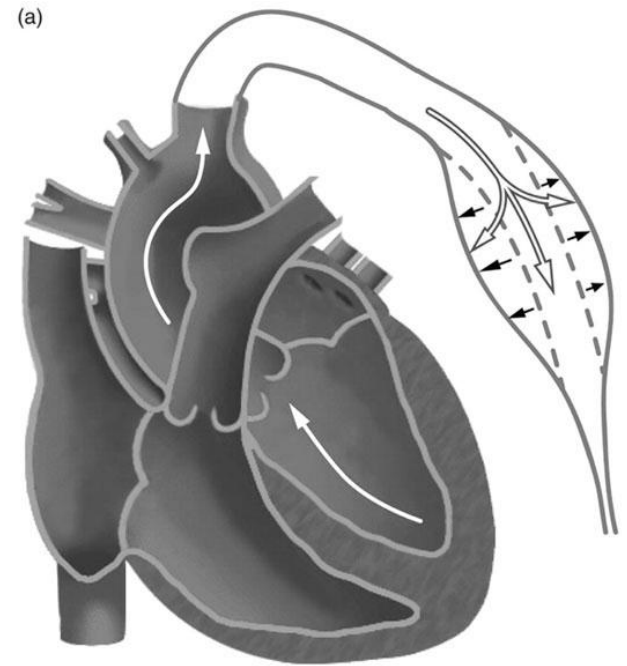


«Компрессионная» камера – аорта –
артерия эластического типа, амортизация
систолического повышения давления.

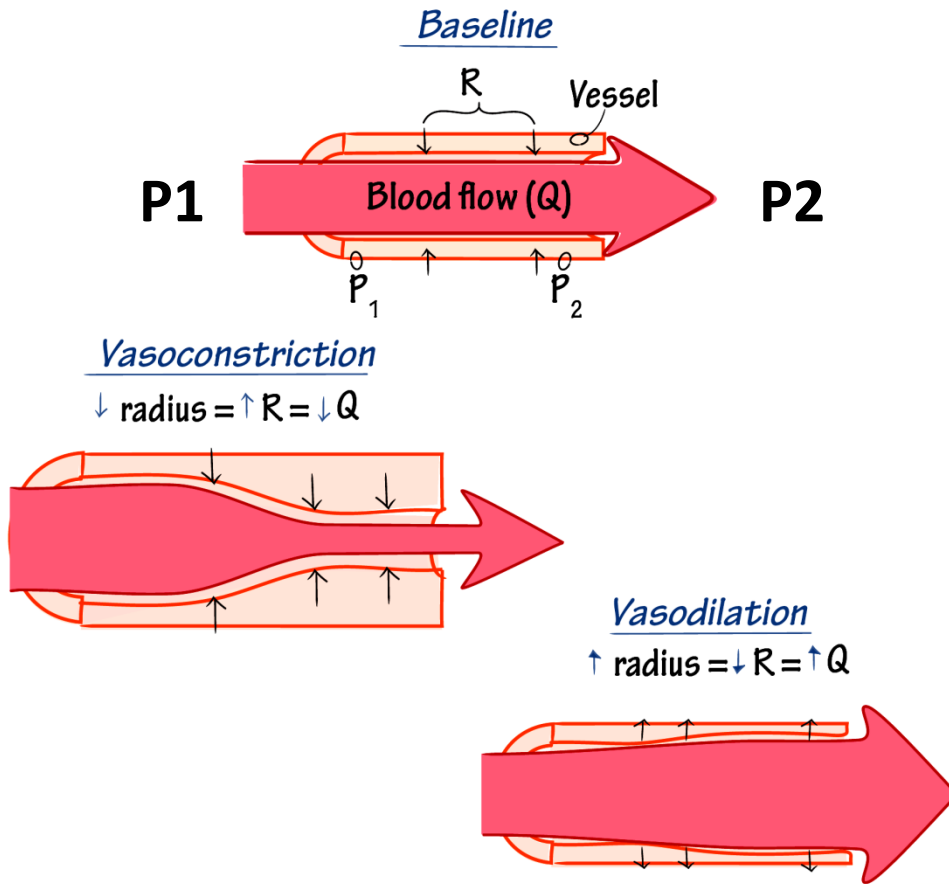
- V – 20 см/с,
- r – 13 мм,
- стенка – 2мм,
- 3% R от общего,
- вмещает менее 1% крови,

много эластина (эластические
волокна).

С возрастом:
объем аорты ↑
а эластичность ↓



Причины движения крови по сосудам



$$Q = \frac{A \Delta P}{R}$$

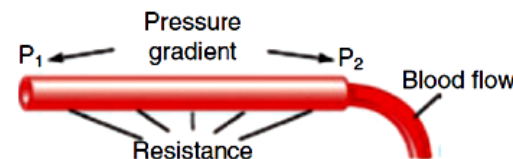
$$Q = \frac{\Delta P_{=P1-P2=95\text{мм.рт.ст}}}{R}$$

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

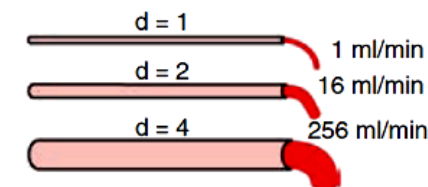
$$Q \leftarrow R \leftarrow r$$

Объемный кровоток (объемная скорость)
 отражает кровоснабжение органа и равен
 объему крови, протекающему через
 поперечное сечение сосудов (мл/сек) за
 единицу времени.

Flow



Resistance



$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

Объёмная скорость

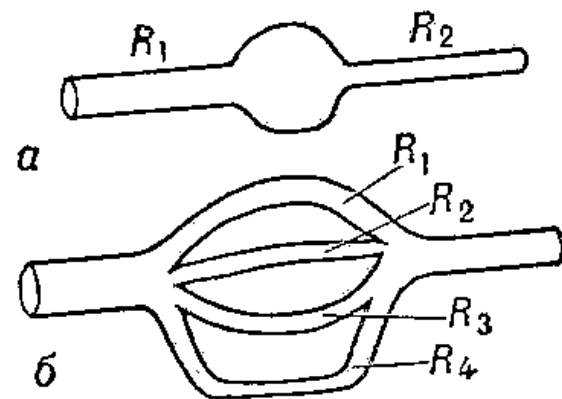
кровотока

$$Q = \frac{\Delta P = P_1 - P_2}{R}$$

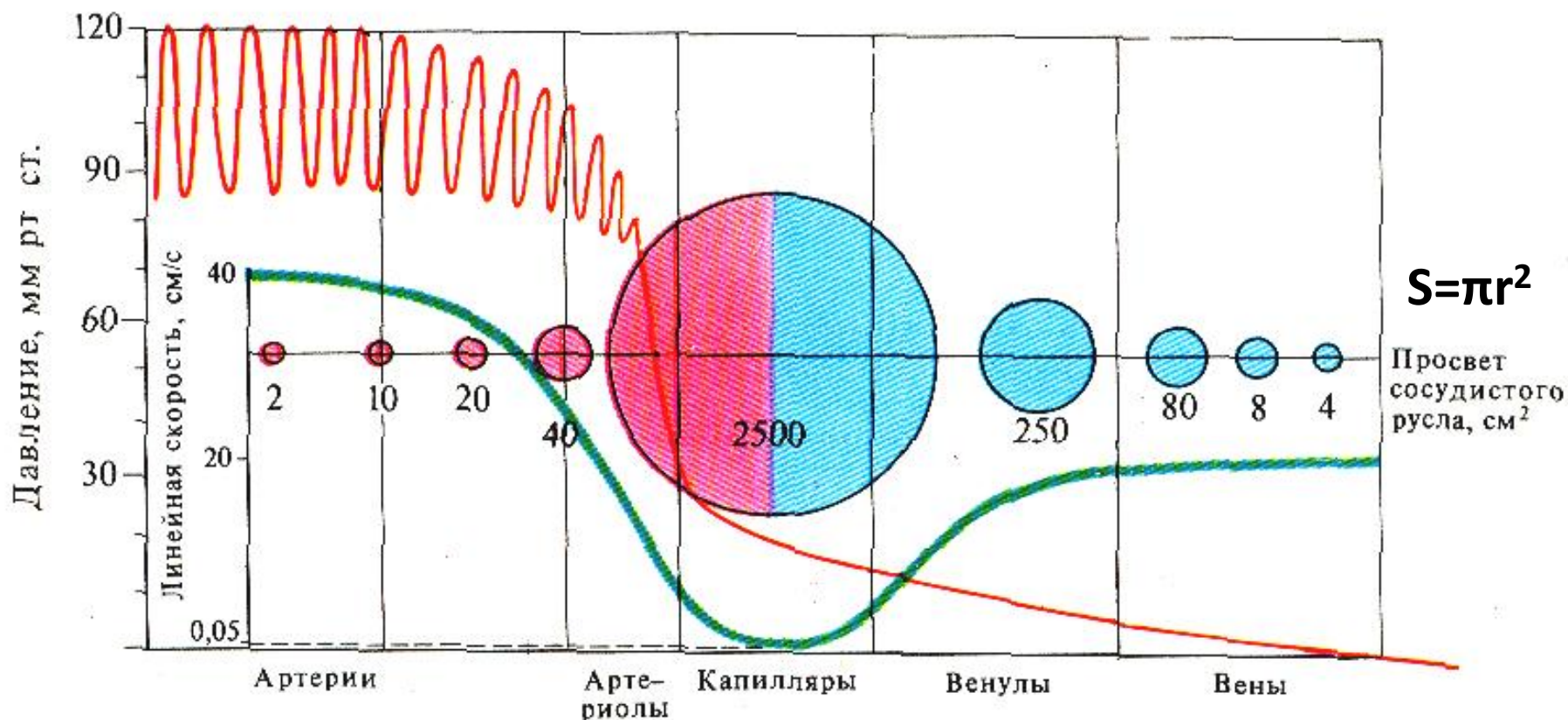
$$R = R_1 + R_2$$

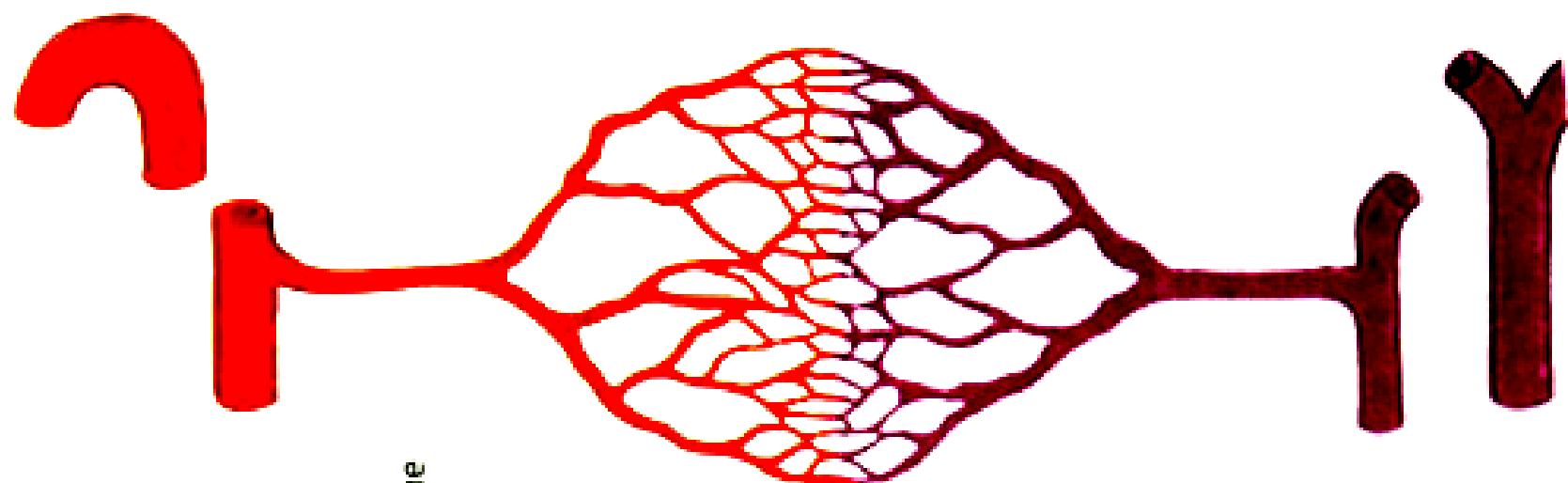
Линейная скорость – это скорость движения частиц крови вдоль продольной оси сосуда (см/с).

$$V = \frac{Q}{S = \pi r^2}$$



$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4$$

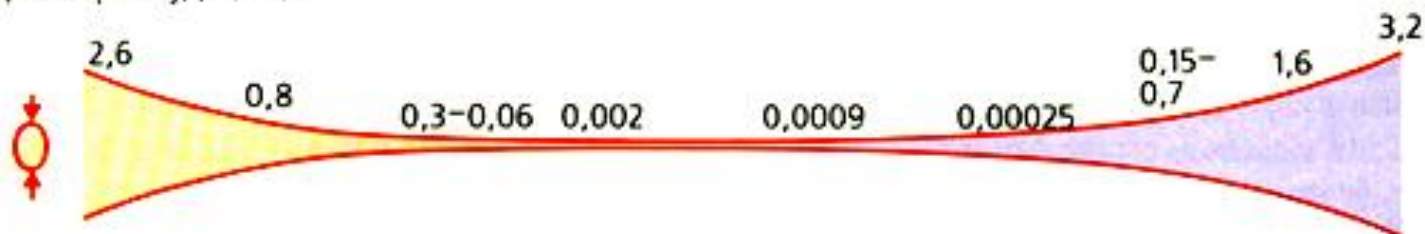




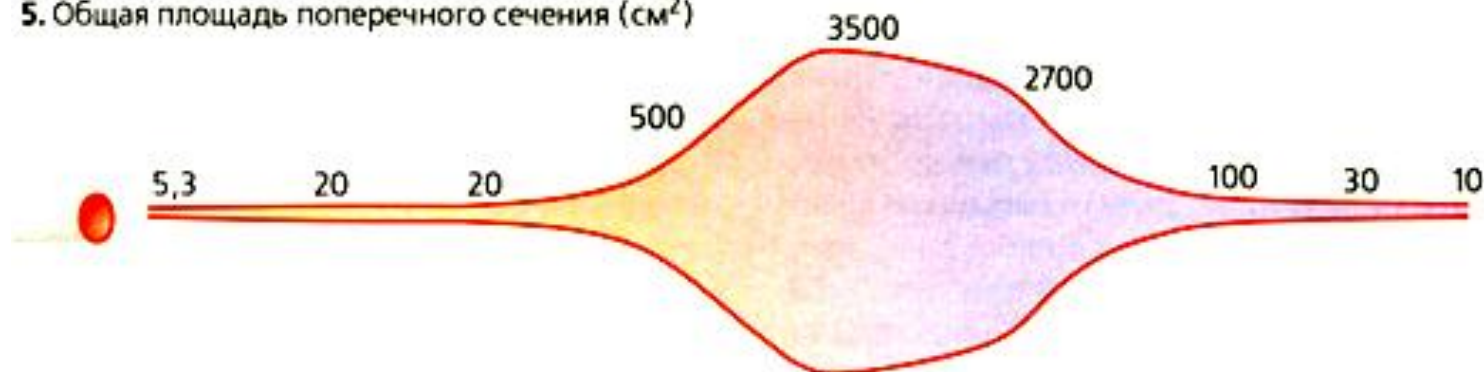
	аорта	крупные артерии	артериальные ответвления	артериолы	капилляры	венулы	венозные ответвления	крупные вены	полная вена
	1	увеличение		$0,16 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^9$	$0,5 \cdot 10^9$	снижение		2
1. Доля от ОПС		19%	47%		27%		7%		
2. Среднее кровяное давление $\bar{P}$ (мм рт. ст.)		100	40		25	20			2-4
3. Средняя скорость кровотока $\bar{V}$ (см $\cdot$ с $^{-1}$)		18	5	1,5	0,02-0,1	1,0			6

аорта	крупные артерии	артериальные ответвления	артериолы	капилляры	венулы	венозные ответвления	крупные вены	полая вена
-------	-----------------	--------------------------	-----------	-----------	--------	----------------------	--------------	------------

4. Диаметр сосуда (см)



5. Общая площадь поперечного сечения (см²)



6. Общая емкость сосудов (см³)



η - вязкость крови

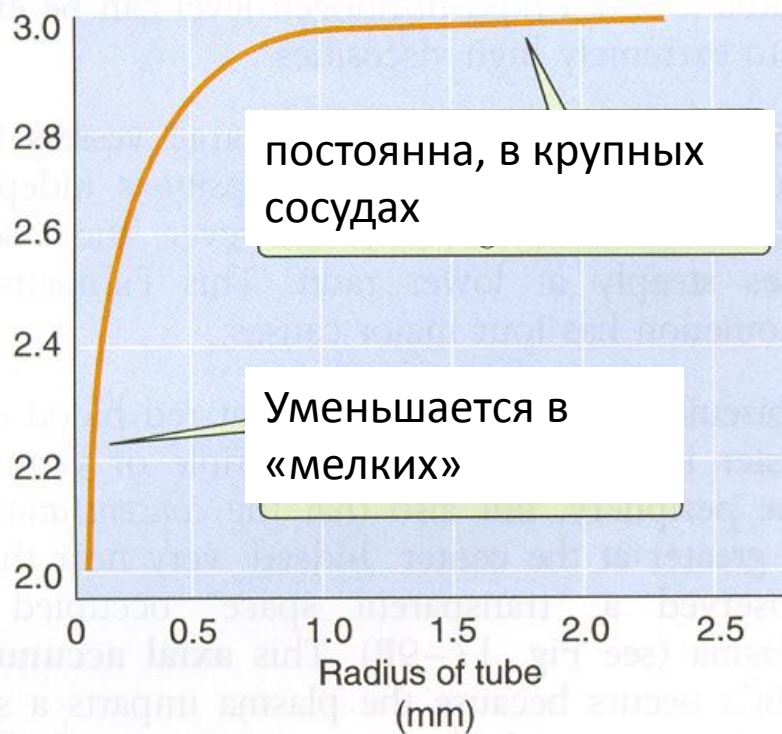
Кровь **неньютоновская** жидкость, то есть ее вязкость зависит от условий течения жидкости.*

η - обусловлена наличием эритроцитов, в меньшей степени белков (вязкость: воды 1, плазмы 1.7 - 2.2, крови 3-5).

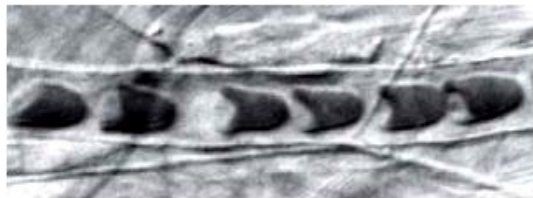
- * а) увеличивается при уменьшении скорости потока крови.
- б) увеличивается при повышении числа эритроцитов,
- в) зависит от диаметра сосуда (при движении крови в сосудах диаметром от 200 до 100 мкм – **уменьшается**),
- г) увеличивается при сгущении крови (диарея, сильное потоотделение),
- д) возрастает при уменьшении t^0 .

Между слоями возникает **напряжение сдвига**, тормозящее движение более быстрого слоя. Чем меньше линейная скорость тем более значимо “влияние” **вязкости крови**, которая “увеличивается” и еще больше снижает скорость кровотока по причине увеличения напряжения сдвига между слоями жидкости.

Вязкость



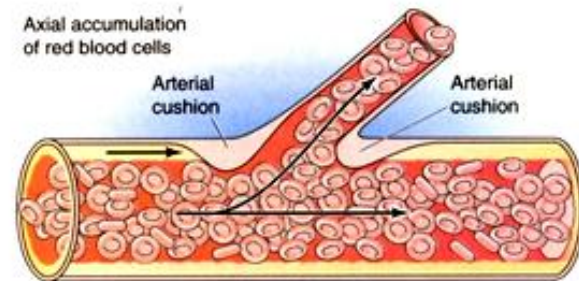
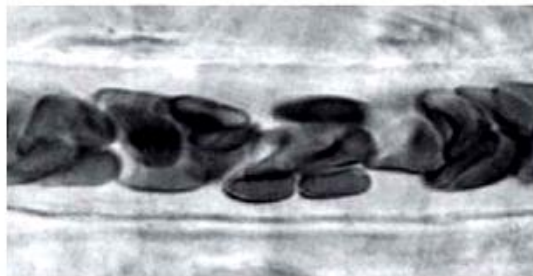
7 мкм



12 мкм



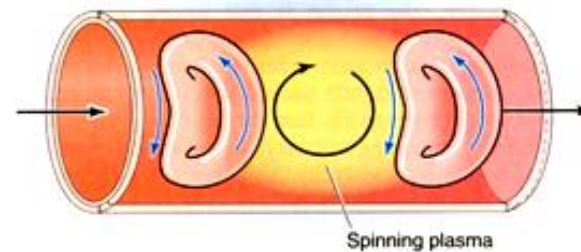
16 мкм



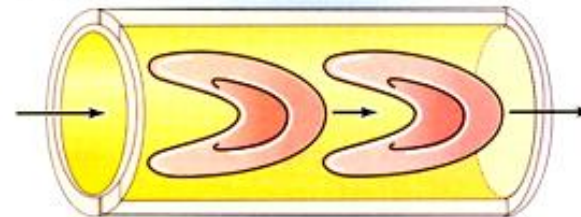
C LIMITED NUMBER OF LAMINAE IN SMALL VESSEL



D TANK TREADING OF RED BLOOD CELLS



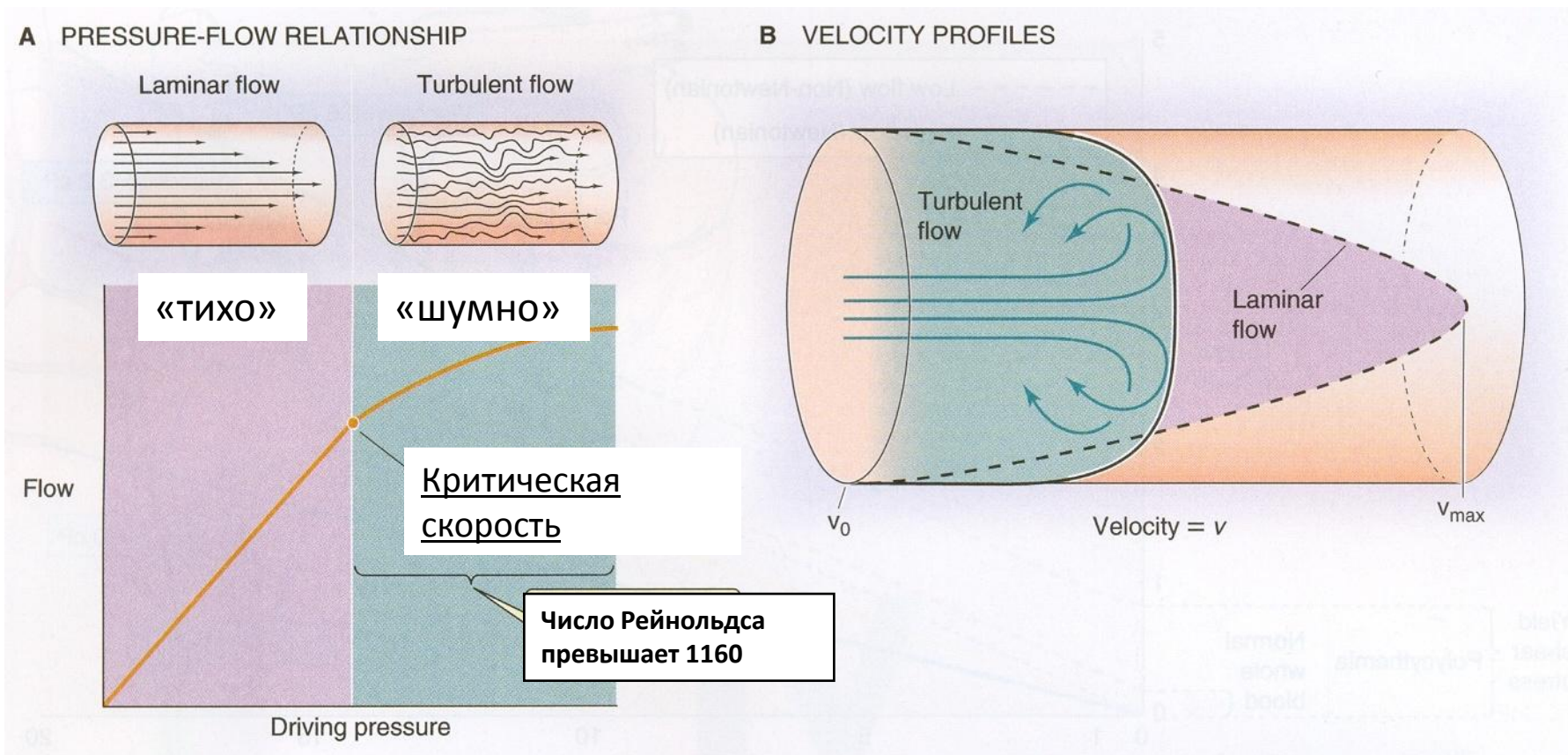
E DEFORMATION OF RED BLOOD CELLS



Феномен сигма
(эффект Фареуса-Линдквиста)

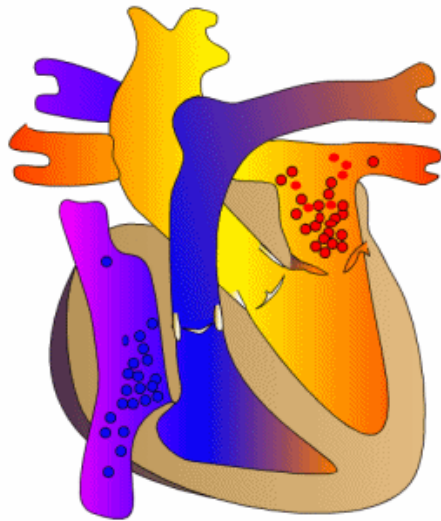
Ламинарное течение

Турбулентное течение



$$Re = 2rV\rho/\eta$$

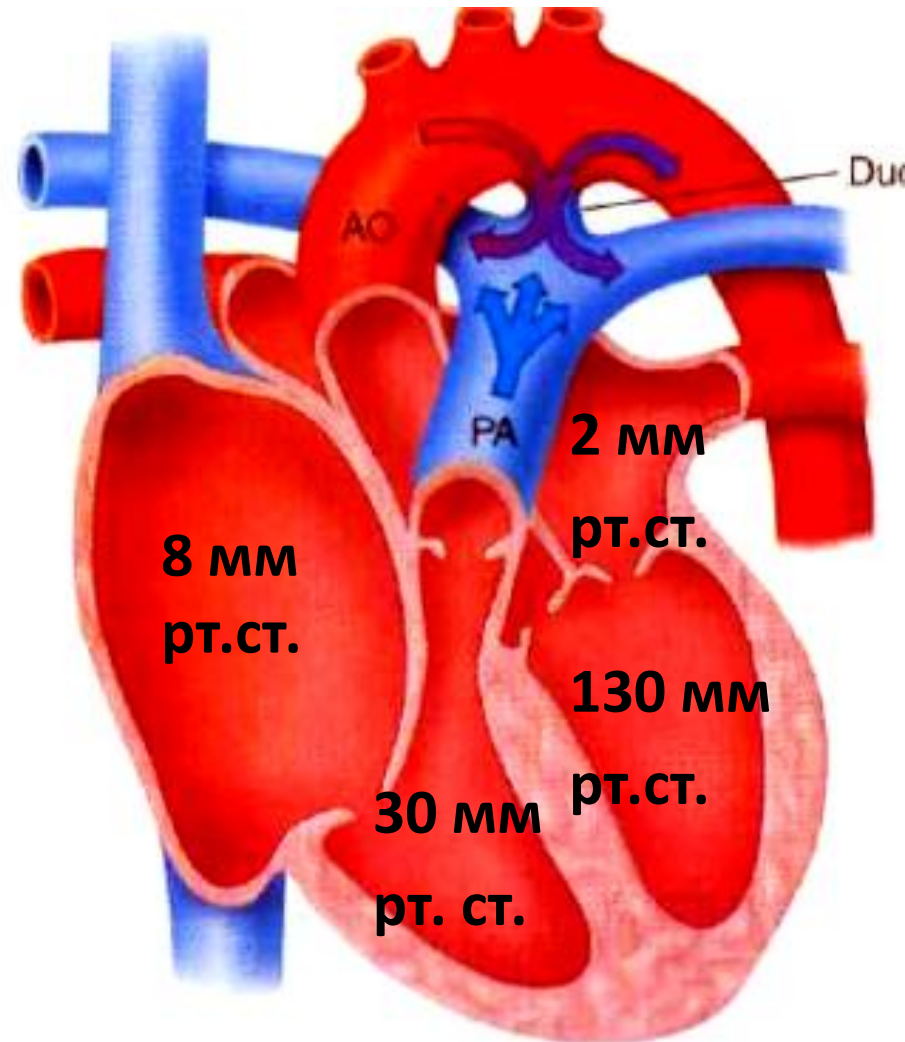
- **Давление** – это величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности в направлении, перпендикулярном к этой поверхности.
- **Артериальное давление** – оказываемое кровью в артериальных сосудах.
- **Венозное давление** – оказываемое кровью в венах и т.д.

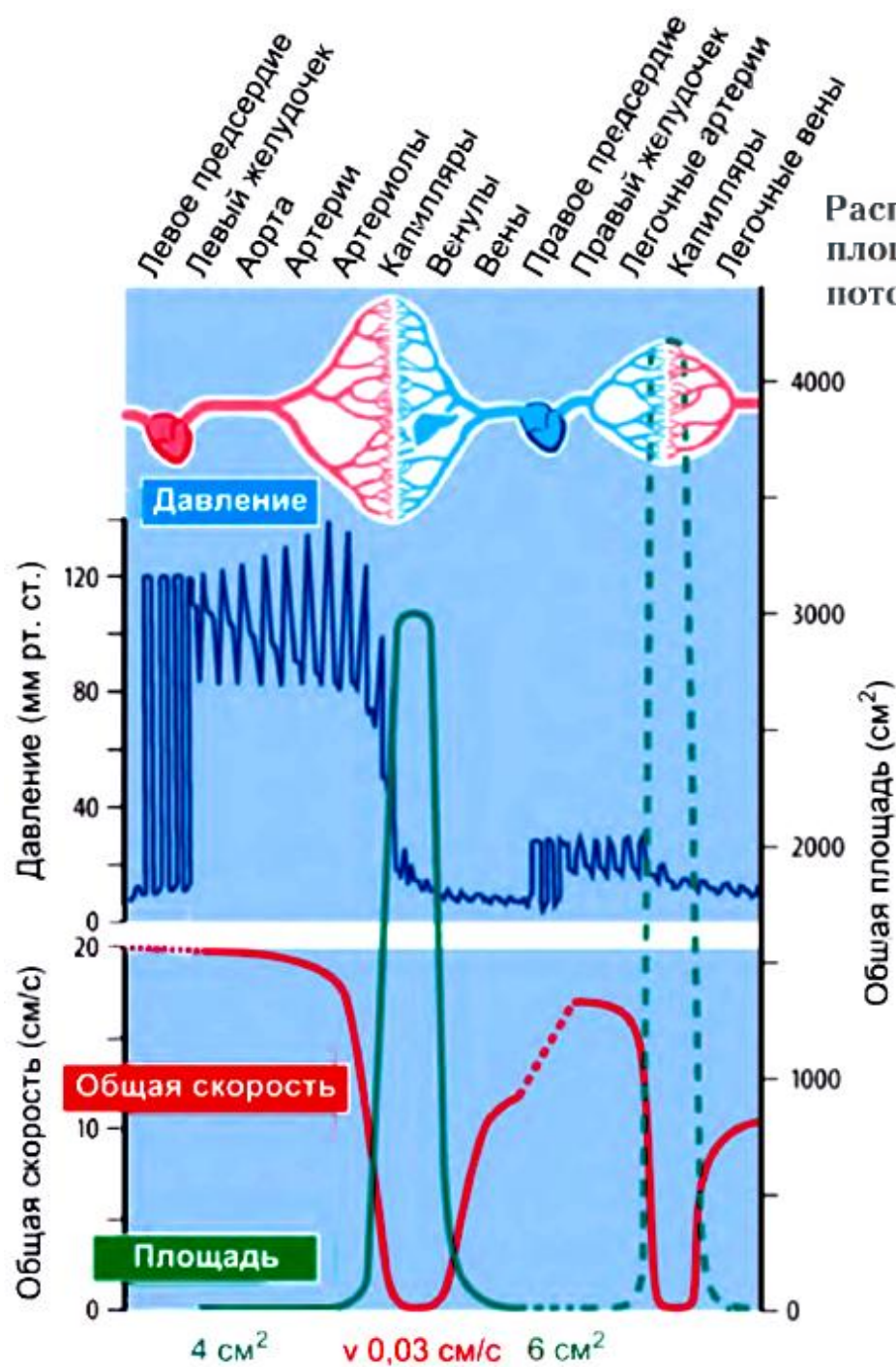


Систолическое давление (P_c) –
максимальное в систолу

Диастолическое давление (P_d) –
минимальное в диастолу

Пульсовое – $P_c - P_d$





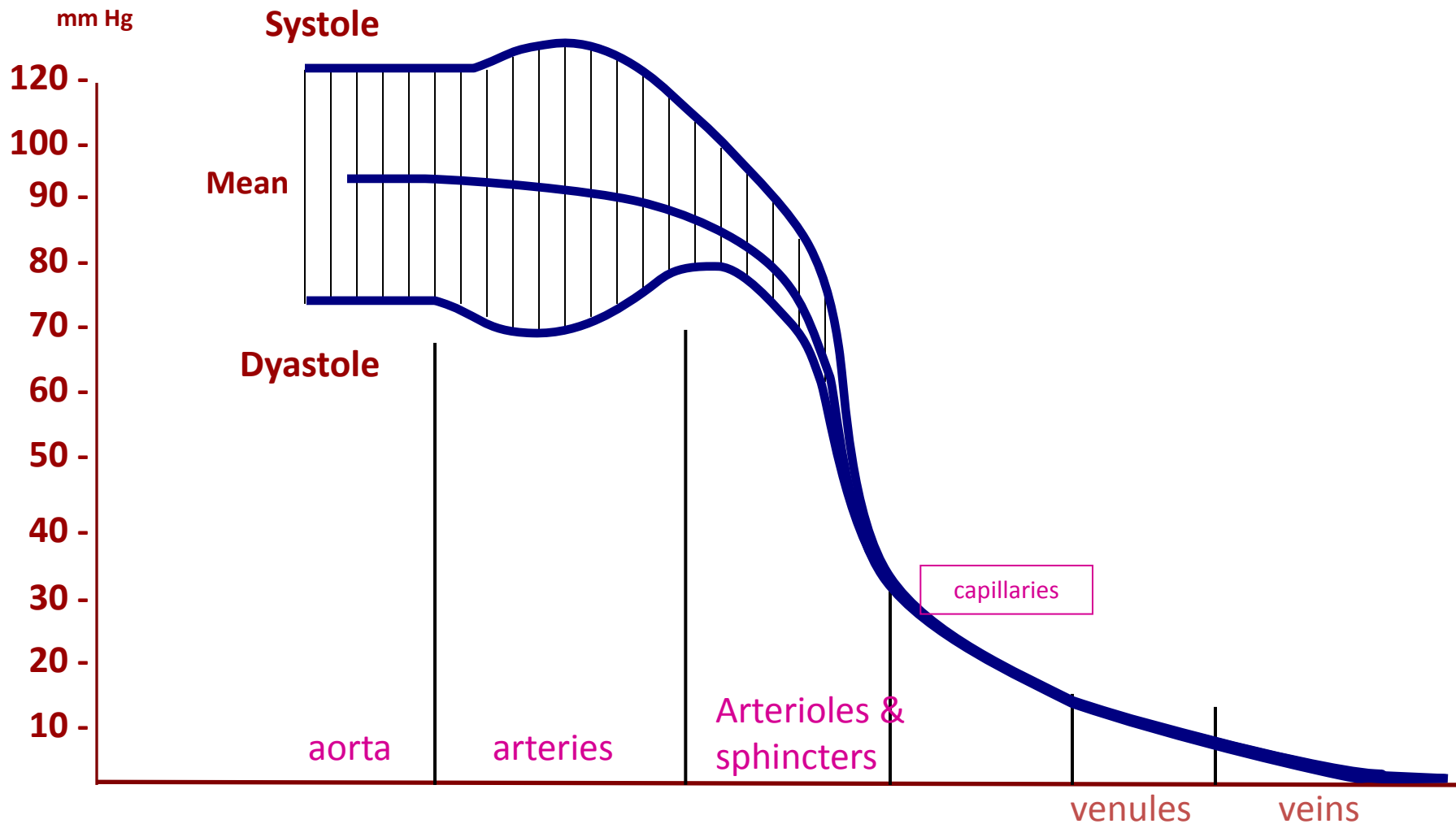
Распределение давления, суммарной площади поперечного сечения и средней скорости потока в сердечно-сосудистой системе.

Среднее артериальное давление

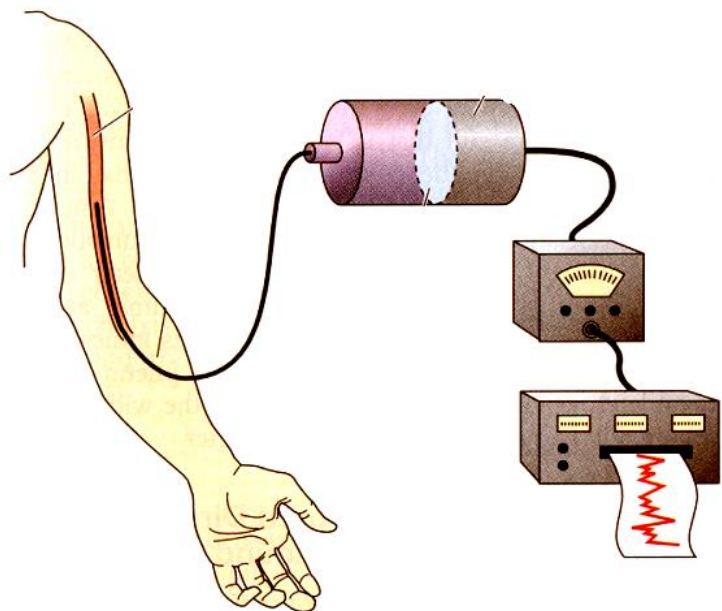
- **Среднее артериальное давление** – представляет усредненную величину артериального давления во время сердечного цикла. Его величина ближе к величине диастолического давления, т.к. длительность диастолы больше длительности систолы.

$$P_{\text{среднее}} = P_d + \frac{1}{3} P_s$$

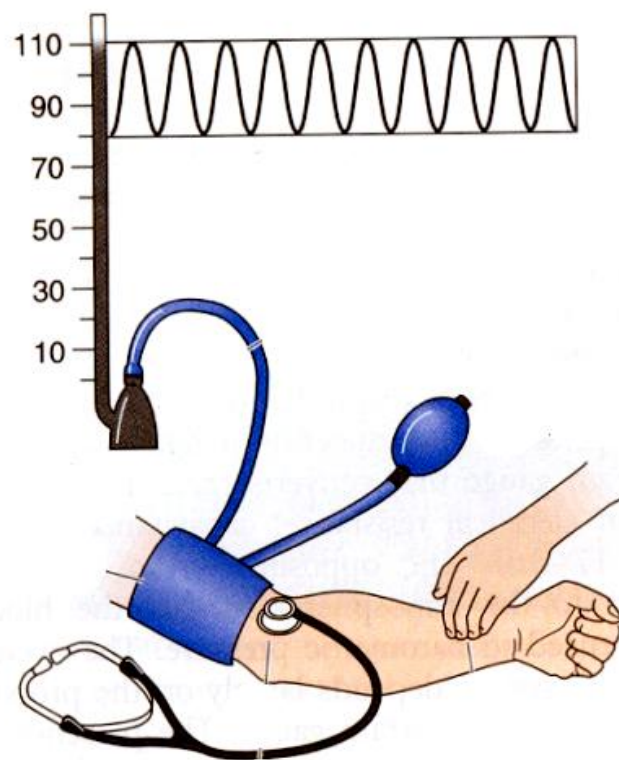
- *Среднее артериальное давление и венозное давление создают градиент давления, который является движущей силой для кровотока в капиллярах.*

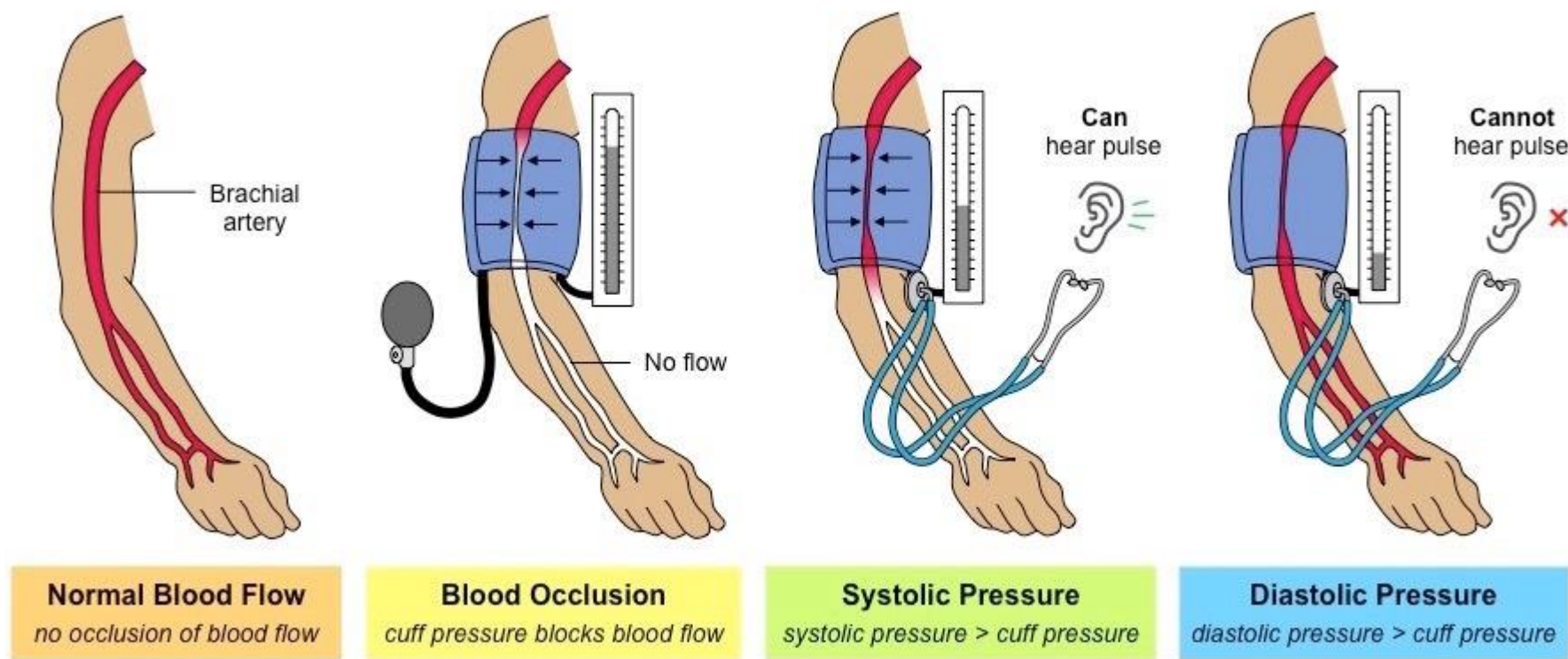


Прямой (кровоавый) метод измерения АД



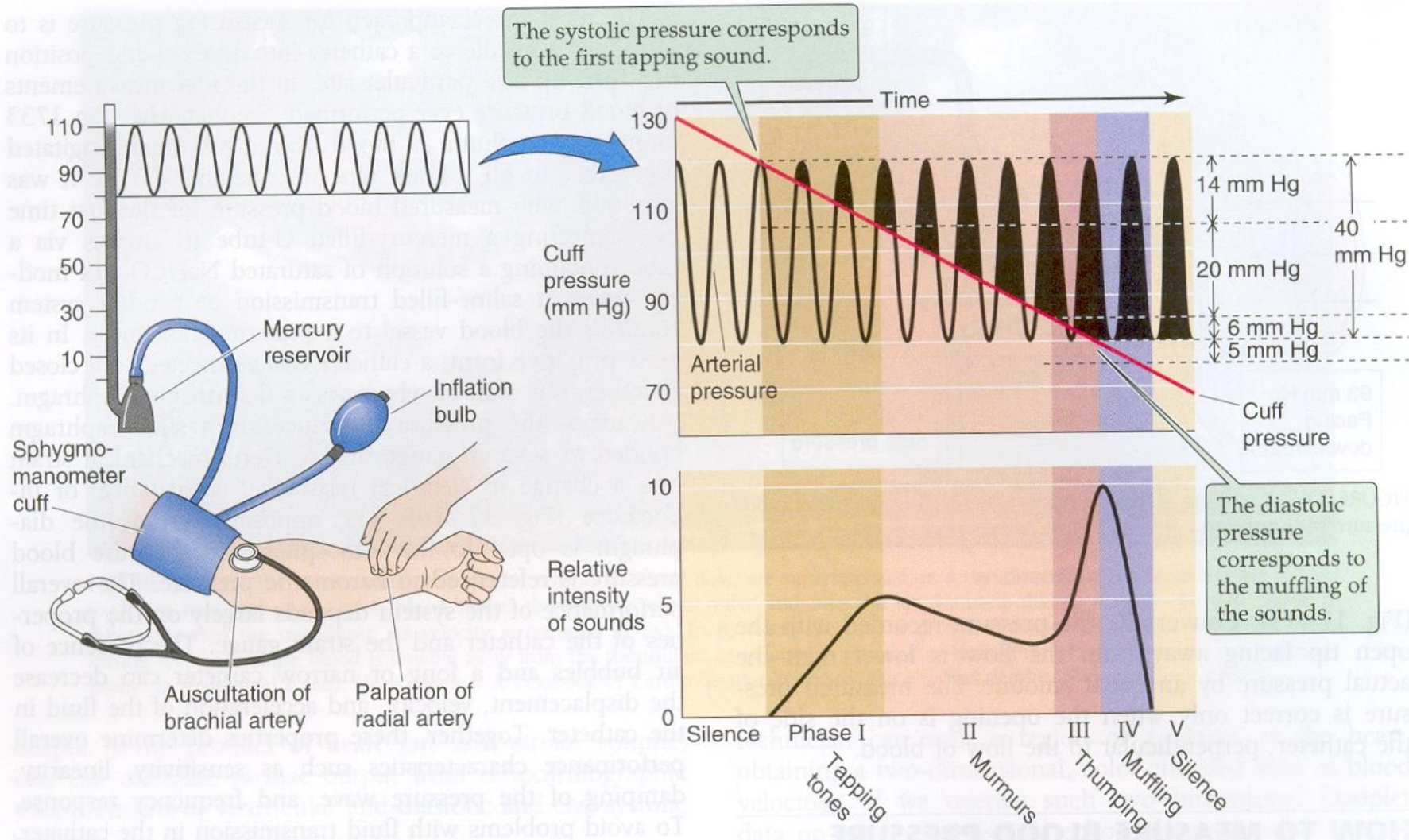
Непрямой (аускультативный) метод измерения АД



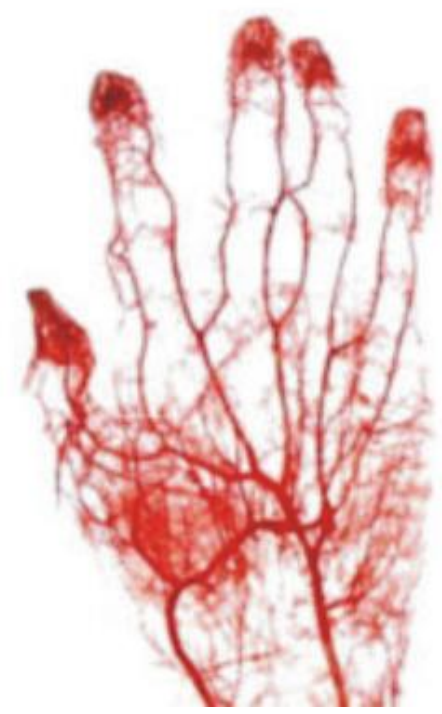
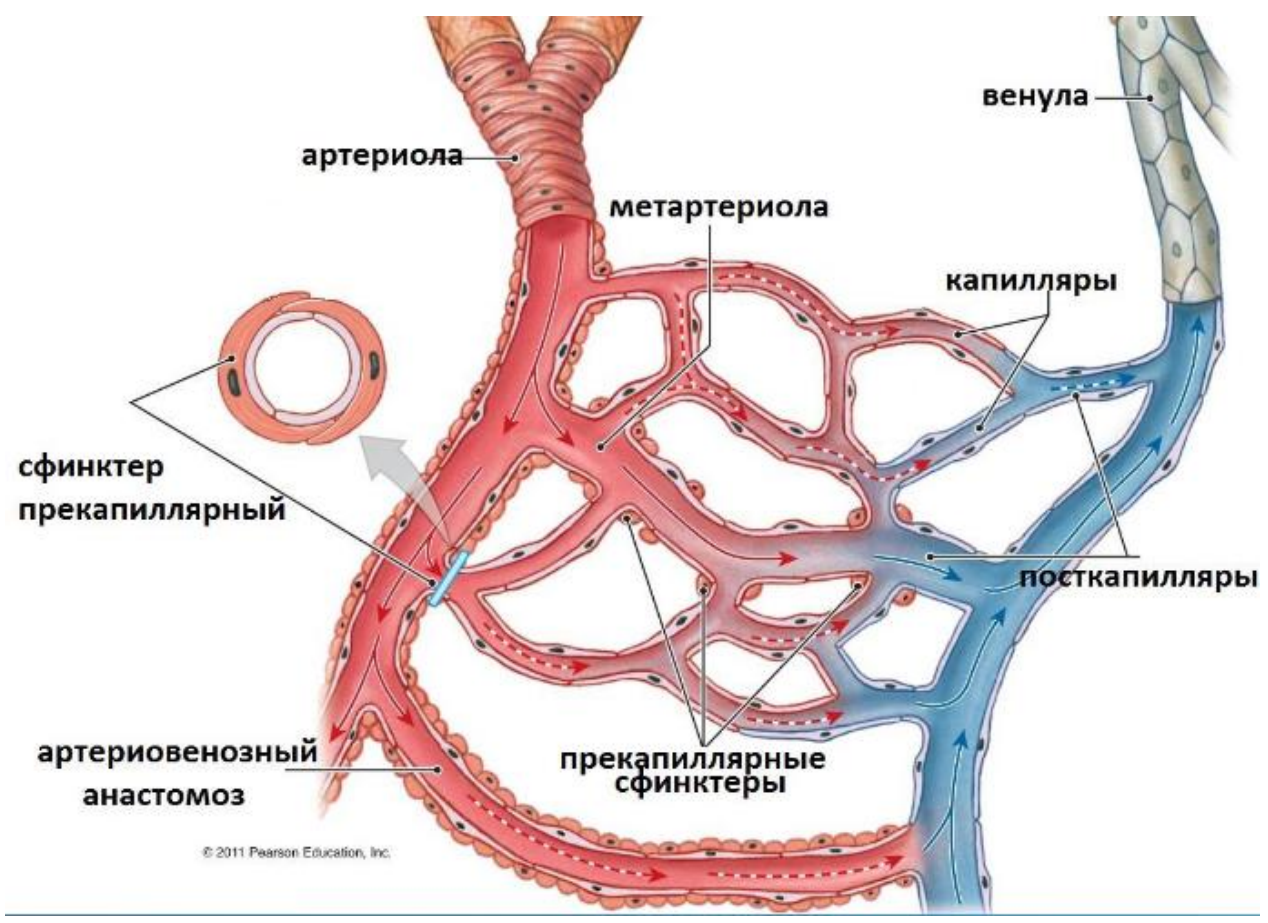


Первый тон Короткова слышен, когда давление в манжете равно систолическому давлению, последний тон – когда давление в манжете равно диастолическому давлению крови.

$$P_{\text{п}} = P_{\text{с}} - P_{\text{д}}$$

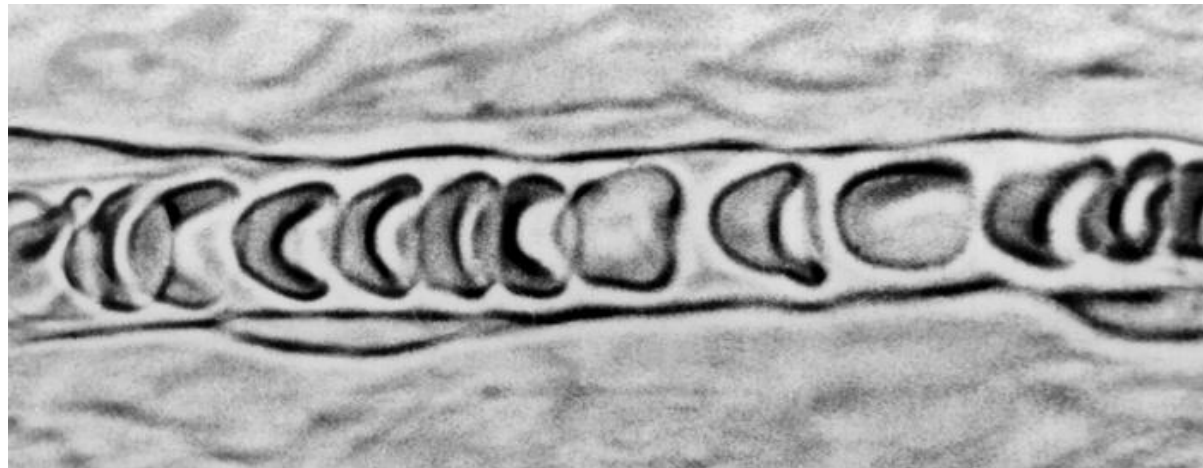


Микроциркуляторное русло - движение крови в тканях по сосудам, диаметром менее 200 мкм.



ОБЩИЕ СВОЙСТВА КАПИЛЛЯРОВ

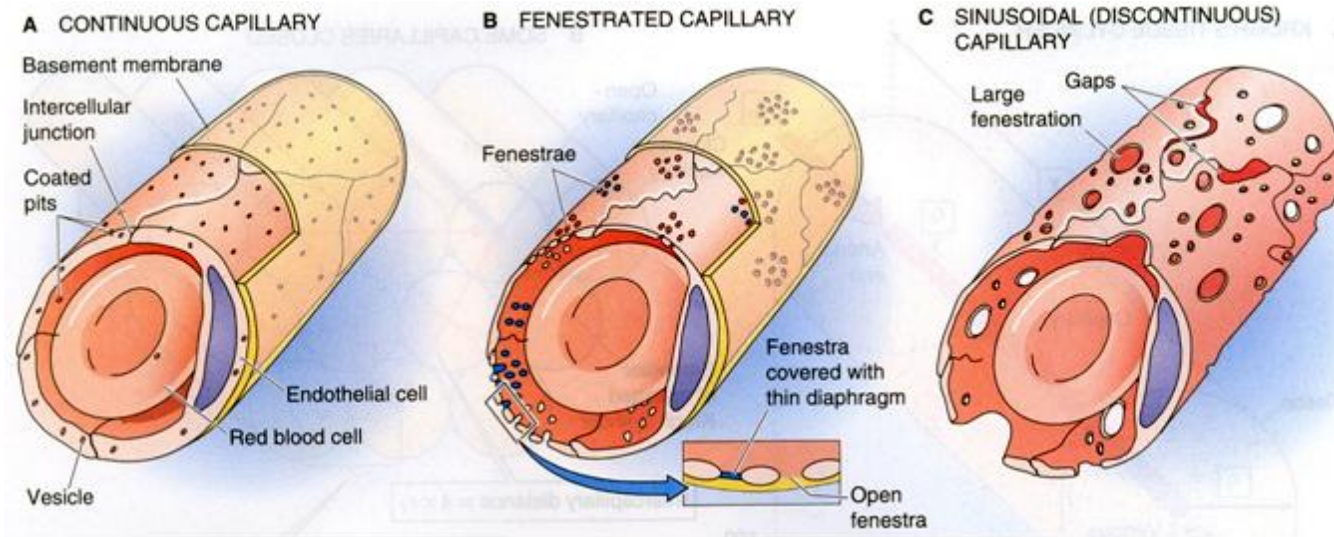
- Общее количество - примерно 40 миллиардов.
- Диаметр - 3-8 мкм, длина 0,5 - 1,1 мм.
- Суммарная длина всех капилляров - 100000км.
- Наименьшая линейная скорость крови - $<1\text{мм/с}$.
- Наибольшая площадь поверхности на единицу массы ткани - $>50\text{ см}^2/\text{г}$.
- Очень малое диффузионное расстояние между кровью и клетками ткани - $<50\text{ мкм}$.



с непрерывным эндотелием
/ соматические

Капилляры
фенестрированные

с прерывистым
эндотелием/
синусоидальные



Не больше 10мкм в диаметре
(поры – 4-5 нм)

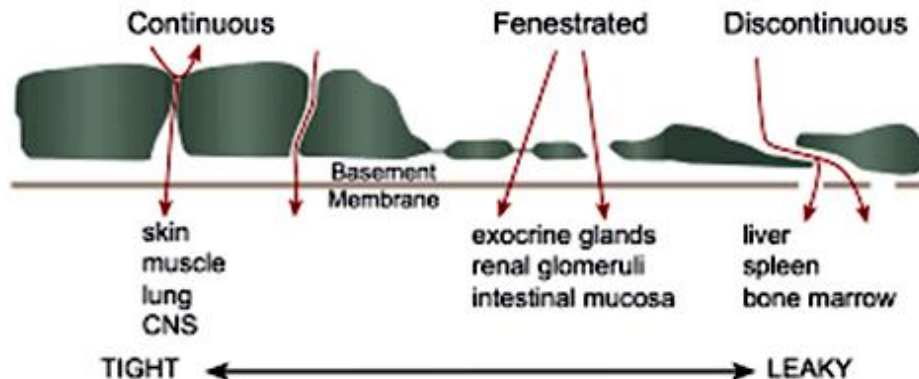
Характеризуются тонким
эндотелием (поры до 80 нм)

Отличаются большим
диаметром (до 30-40 мкм), крупными
межклеточными и трансцеллюлярными
порами диаметром 0,5-3 мкм.

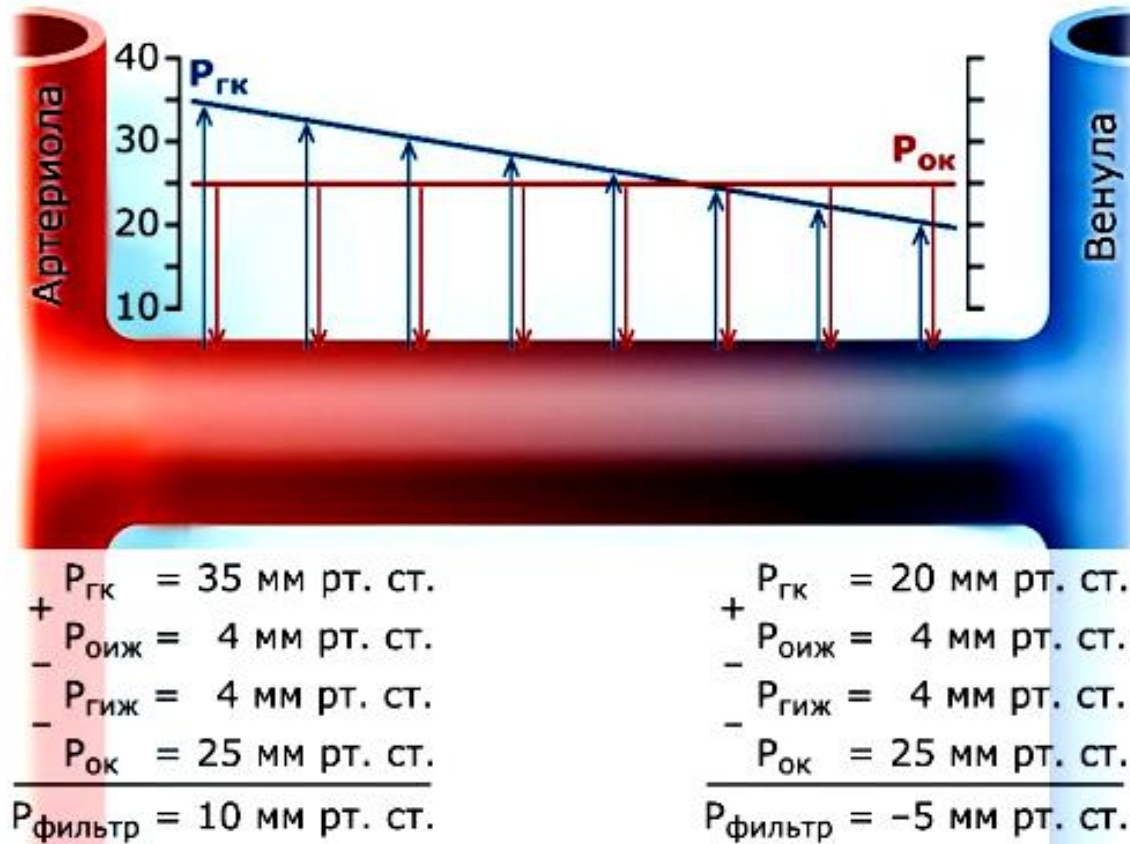
кожа, мышцы, мозг

почки, ЖКТ, железы

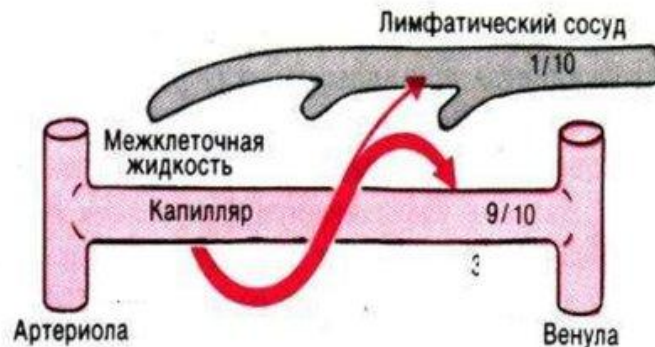
селезенка,
печень,
костный мозг



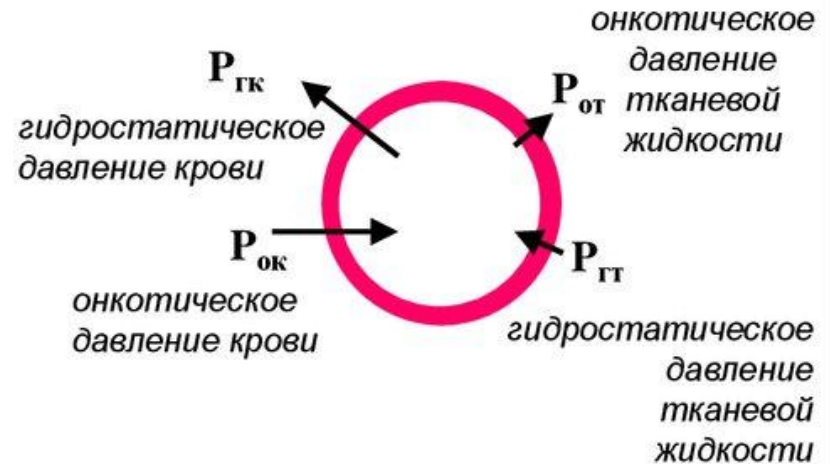
Фильтрация и реабсорбция на артериальном и венозном конце капилляра (величины давлений зависят от условий в конкретной ткани).



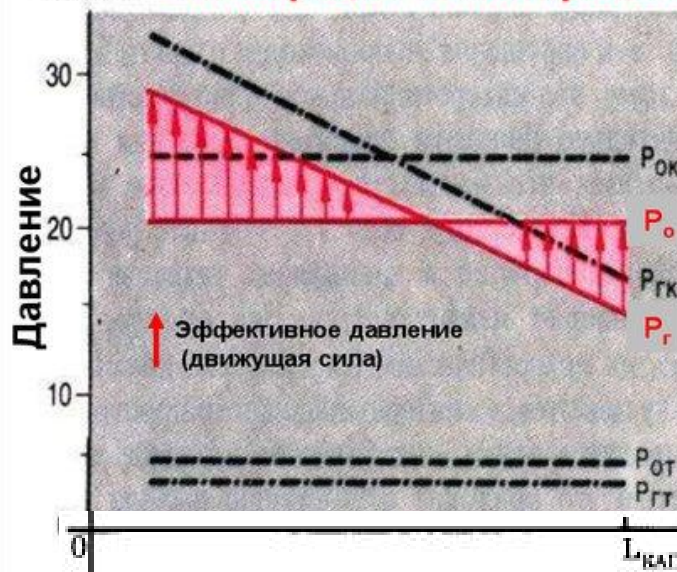
На артериальном конце капилляра преобладает фильтрация, на венозном - реабсорбция



Уравнение Старлинга-Лэндиса



Фiltrация Реабсорбция



онкотическое давление крови

резльтирующее онкотическое давление

гидростатическое давление крови

резльтирующее гидростатическое давление

онкотическое давление тканевой жидкости

гидростатическое давление тканевой жидкости

$$V = K \cdot [(P_{гк} + P_{от}) - (P_{гт} + P_{ок})]$$

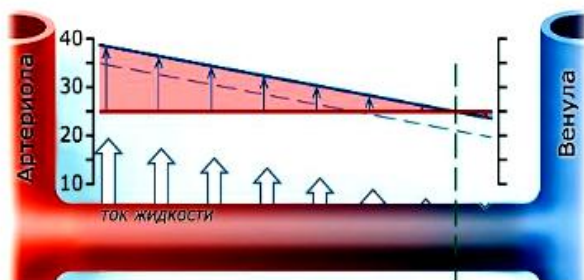
V – объем жидкости (филтрация-реабсорбция) за 1 мин;

K – коэффициент филтрации

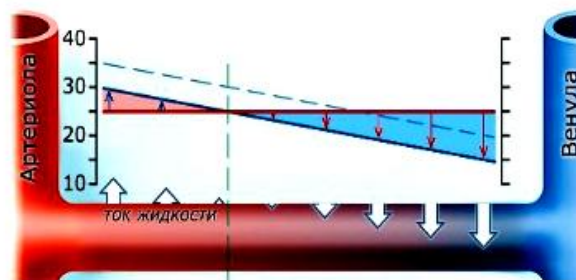
(характеризует проницаемость капилляров)

Филтрируется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости
 Реабсорбируется в кровь через стенку капилляров из тканей: 18 л/сут
 По лимфатическим сосудам оттекает из тканей в кровь: 2 л/сут

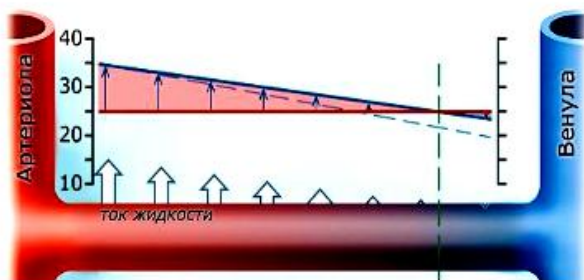
Схема фильтрации и реабсорбции в капиллярах в различных физиологических и патологических состояниях



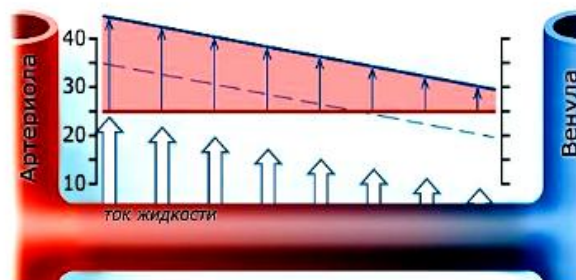
Б. Снижение прекапиллярного сопротивления (вазодилатация)



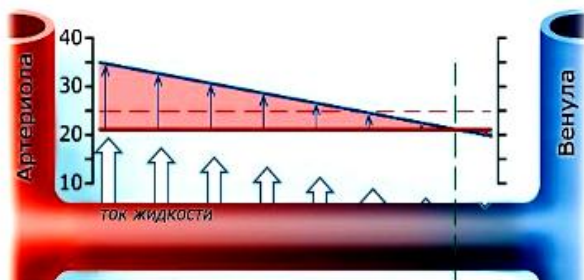
В. Повышение прекапиллярного сопротивления (вазоконстрикция)



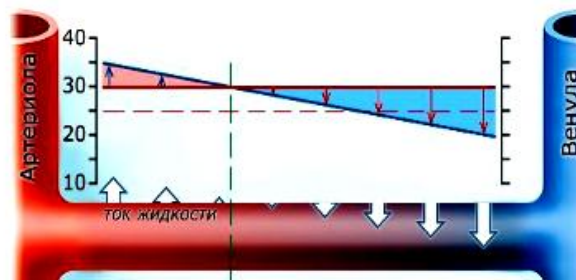
Г. Повышение венозного давления



Д. Повышение гидростатического давления



Е. Гипопротеинемия



Ж. Гиперпротеинемия (концентрирование белка при дегидратации)

