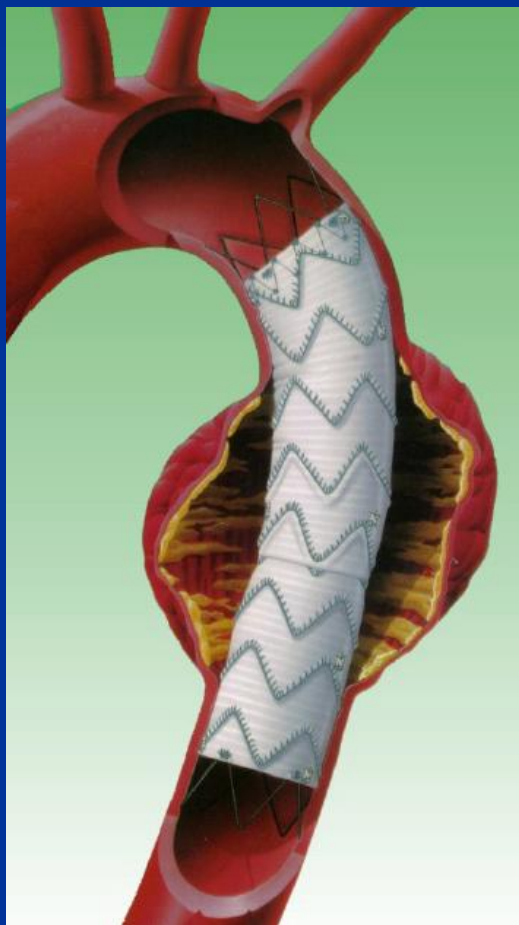




ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» МЗ РФ

Кафедра теоретической биохимии с курсом клинической биохимии

# Продольная и тангенциальная деформация стенок сосудов



# Характеристики сосудистой системы :

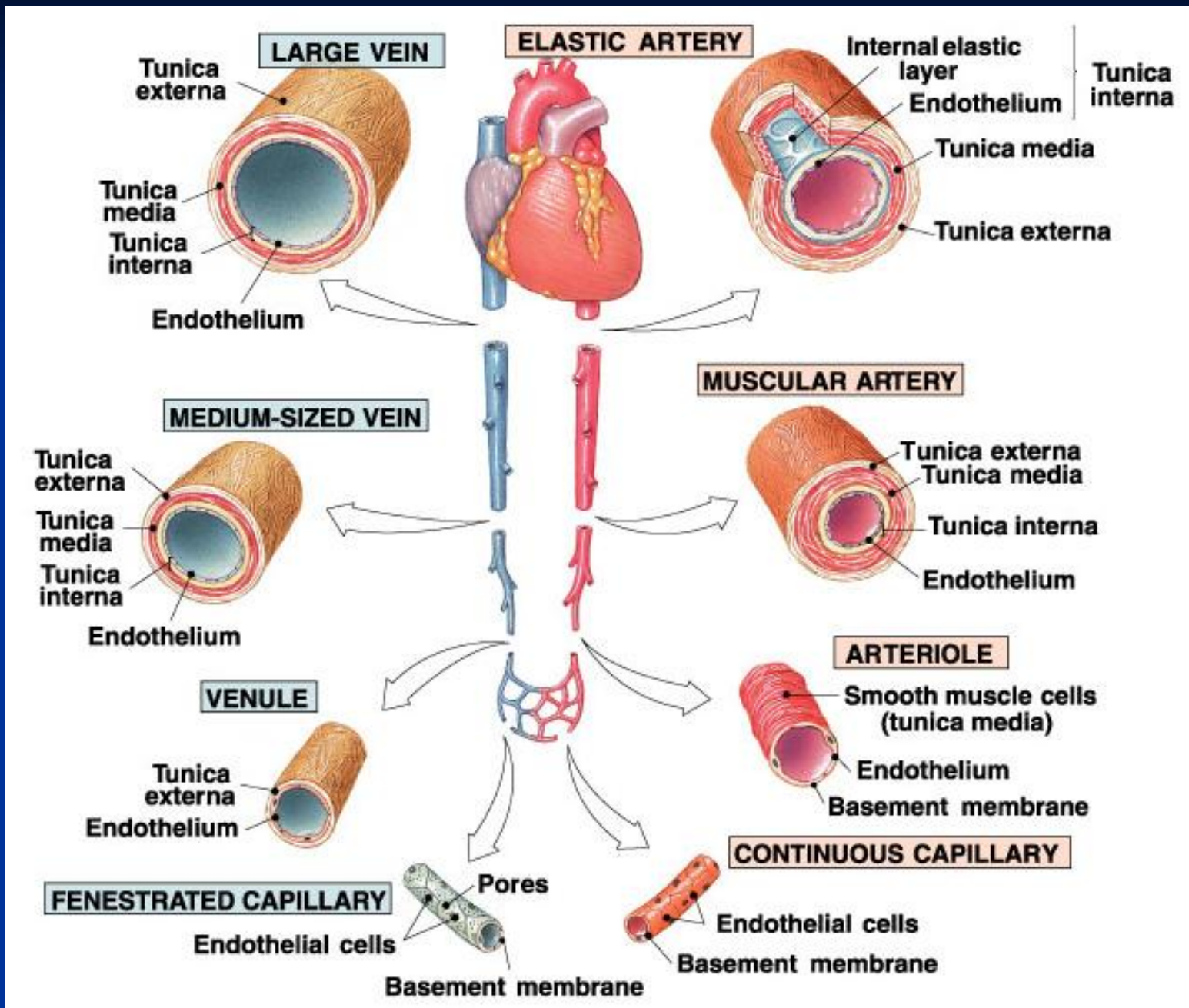
- 1. Сила, обеспечивающая движение крови по сосудам,** которая равна разности давления крови в начале и в конце кругов кровообращения (градиент кровообращения).. Давление крови создается сократительной деятельностью миокарда. Среднее давление в аорте у взрослого человека равно 200 мм рт.ст., а в полых венах – около 5 мм рт.ст. В легочной артерии среднее систолическое давление крови около 20 мм рт.ст. При остановке сердца движение крови по сосудам прекращается.
- 2. Сопротивление в сосудистой системе, препятствующее движению крови.** Различные отделы большого круга кровообращения оказывают разное сопротивление току крови. Общее сопротивление (принятое за 100%) складывается из следующих составляющих: сопротивление в аорте и крупных артериях равно 19%, в мелких артериях и артериолах – 50%, в капиллярах – 25%, в венах – 4%, в венах – 3%. С увеличением радиуса и длины сосуда и при увеличении вязкости крови сопротивление увеличивается

**3. Непрерывность кровообращения.** Важным условием непрерывности кровообращения является равенство объёмов кровотока – через суммарное поперечное сечение сосудов на любом участке малого и большого кругов кровообращения в норме протекает одинаковый объём крови. Объём крови, протекающий через поперечное сечение сосуда в единицу времени, называют *объёмной скоростью кровотока* (мл/мин). Объёмная скорость кровотока во всех отделах сосудистой системы одинаковая – 4-6 л/мин.

**4. Распределение крови по основным отделам кровеносной системы.** Содержащаяся в сердечно-сосудистой системе кровь распределяется следующим образом: в сердце – 7% во время диастолы, в большом круге кровообращения – 84% (из них в аорте и артериях – 14, в капиллярах – 6, в венах – 64), в малом круге кровообращения – 9%.

**5. Линейная скорость кровотока.** Линейная скорость кровотока измеряется тем расстоянием, которое проходит частица крови за единицу времени. При одинаковой скорости линейная скорость кровотока в различных отделах кровеносного русла изменяется в больших пределах: с 20-25 см/с в аорте она уменьшается до 0,03-0,05 см/с в капиллярах, что важно для осуществления транспорта веществ в тканях. О линейной скорости кровотока в целом в сосудистой системе судят по времени *полного кругооборота крови, которое в норме равно 21-23 секунды.*

# Гистологическая структура кровеносных сосудов





Сжатая артерия

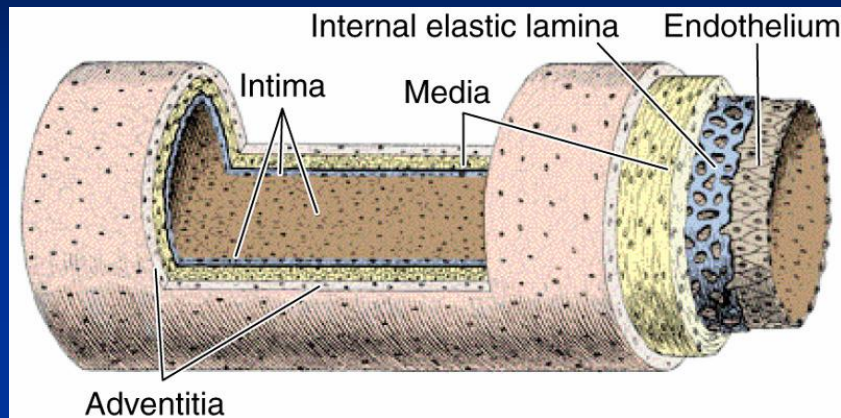


Расширенная артерия

## ПО СТРОЕНИЮ СТЕНКИ РАЗЛИЧАЮТ:

1. Артерии эластического типа (диаметр не меняют)
2. Артерии мышечного типа (диаметр меняют)

# Структура эластичных артерий



Сосуды	Артерия	Артериола	Капилляр	Венула	Вена
Диаметр, мм	25÷4	$30 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	5÷30
Толщина стенки, мм	2÷1	$20 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	0,5÷1,5
Оболочка	Эндотелий				
	Эластическая				
	Мышечная				
	Фиброзная				
Схема кровеносного сосуда					

## Intima:

Эндотелиальные клетки

Толщина ~80 nm

Субэндотелиальный слой

Коллаген

Небольшое количество эластина

## Media:

Клетки гладкой мускулатуры

Коллагеновые волокна, тип III

Отделена от adventia слоем эластина

Растяжение до 80%

## Adventia:

Фибробласты

Коллагеновые волокна, тип III

**Артерии** – сосуды, по которым кровь течет от сердца.

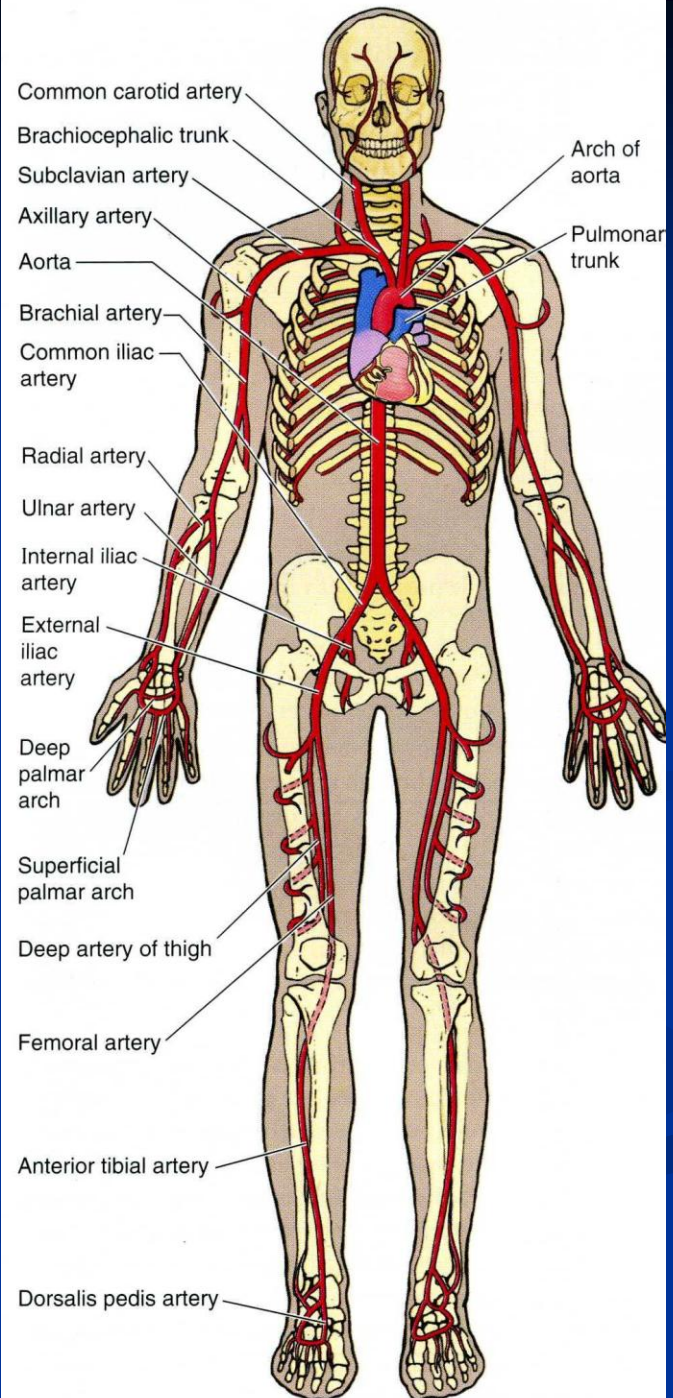
Чаще течет артериальная кровь.

*два исключения:*

- 1. Легочные артерии (течет венозная кровь к легким)*
- 2. Пупочная артерия (течет венозная кровь от сердца зародыша к плаценте)*

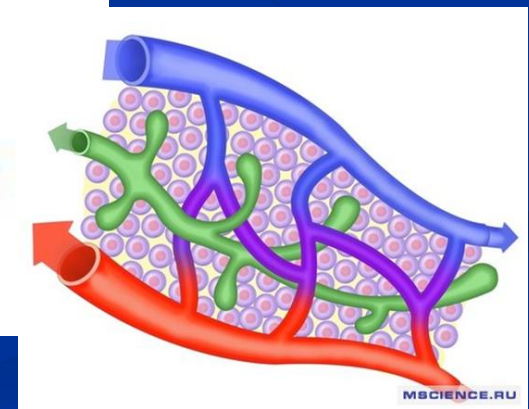
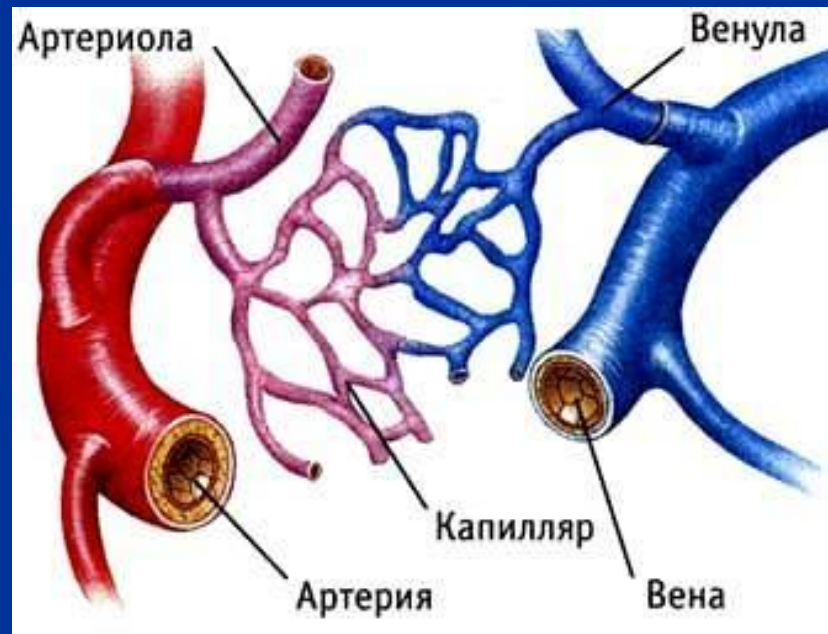
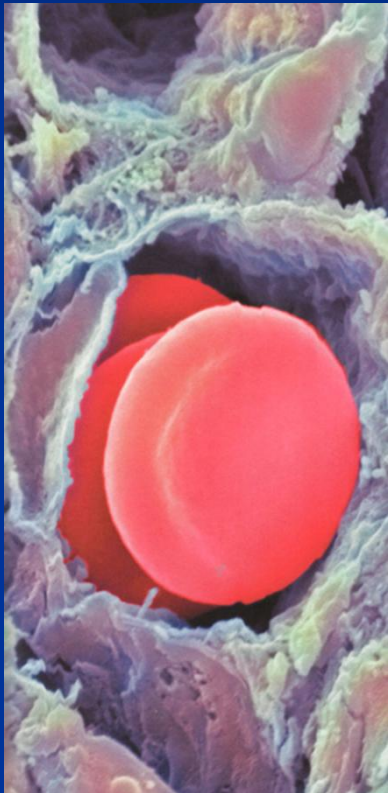
- 1) Артерии большого круга кровообращения**
- 2) Артерии малого круга кровообращения**
- 3) Артерии сердечного круга кровообращения**

Артерии идут к органам по кратчайшему пути, обычно вместе с нервами

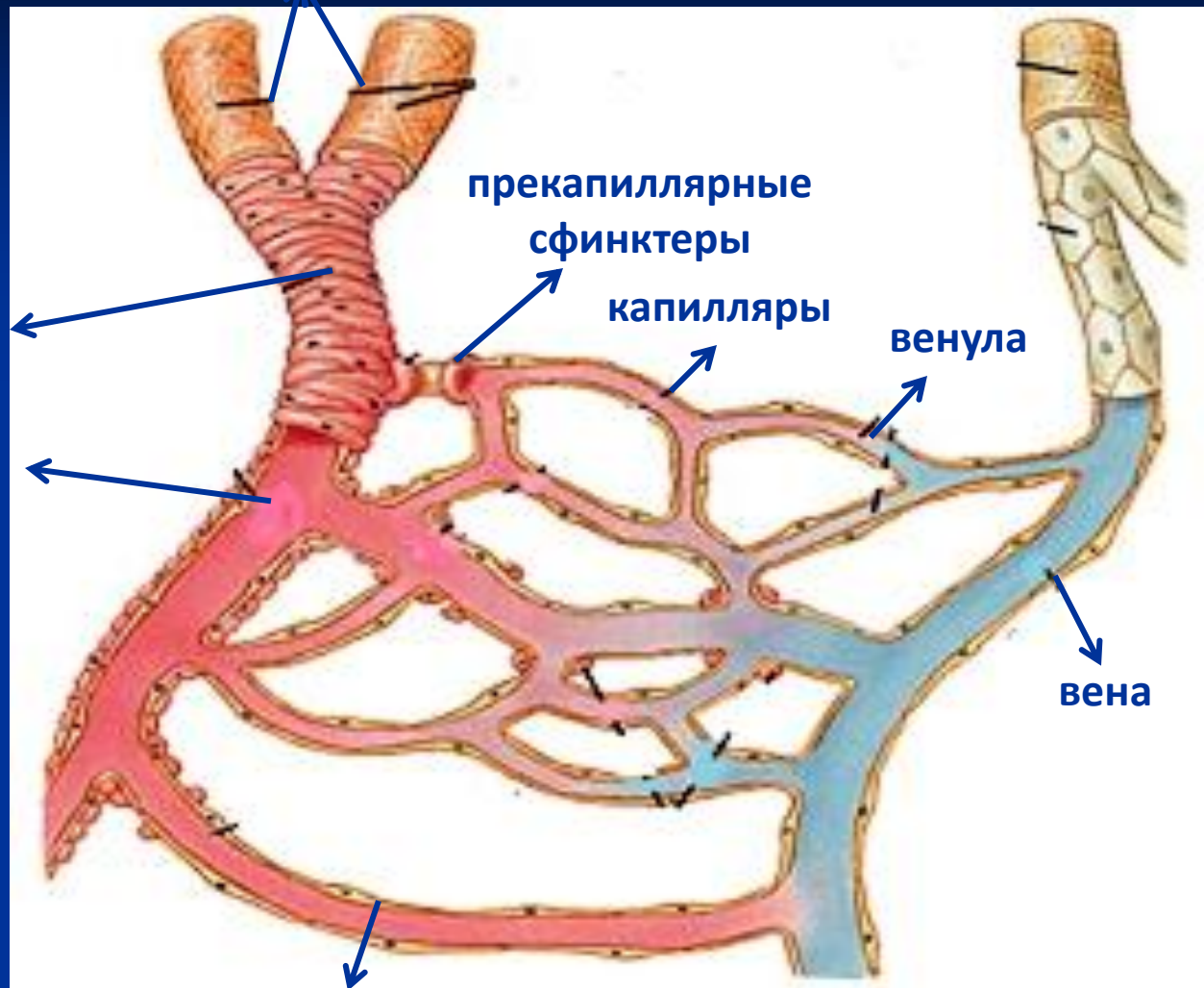




**Капилляры** — промежуточные звенья между артериальными и венозными сосудами. Имеют диаметр — 7-10 мкм.



артерия



прекапиллярные  
сфинктеры

капилляры

венула

вена

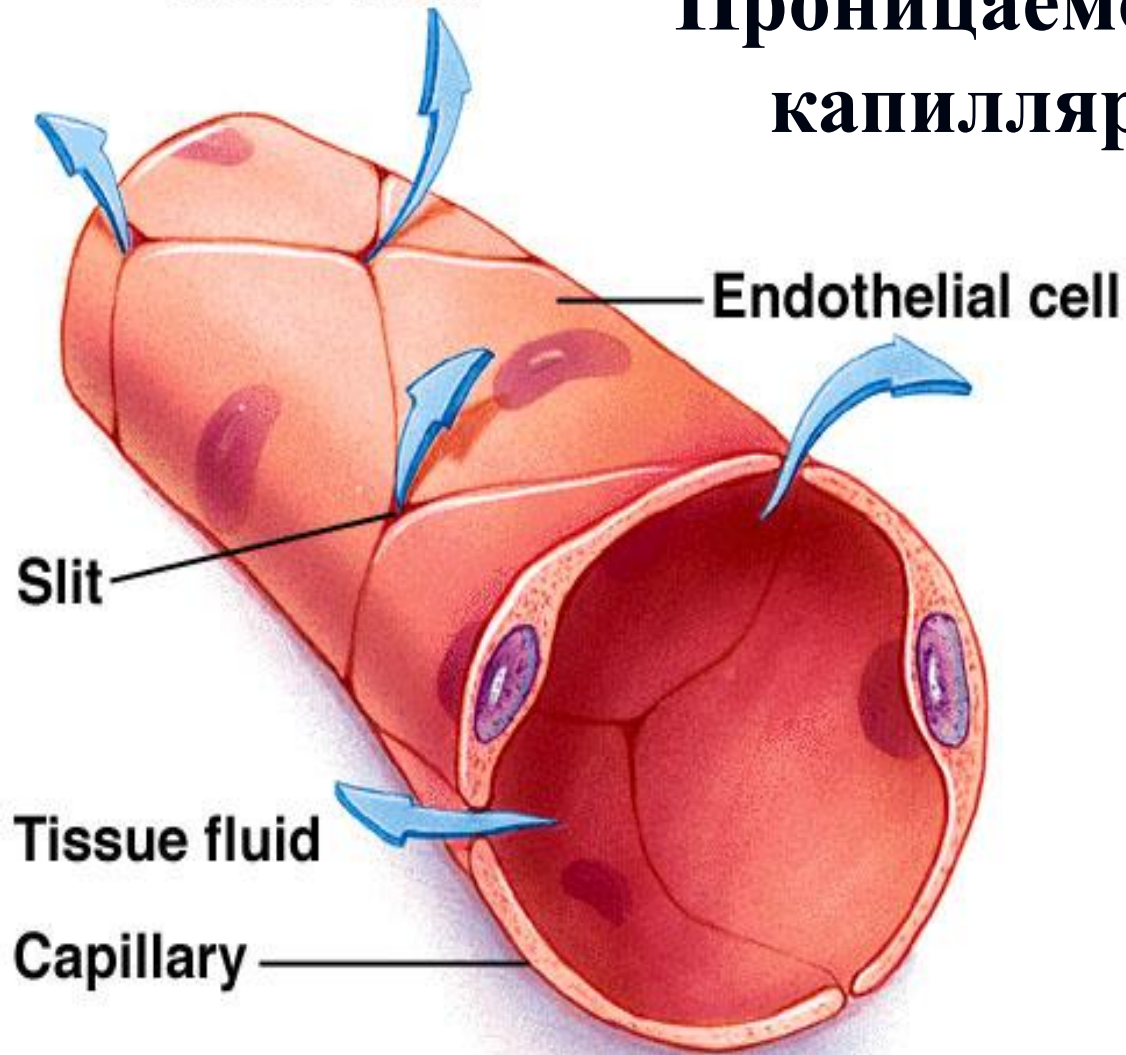
артериола

прекапилляр

артериоловенулярный  
анастомоз

**Tissue fluid**

# Проницаемость капилляра



# ЗНАЧЕНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА

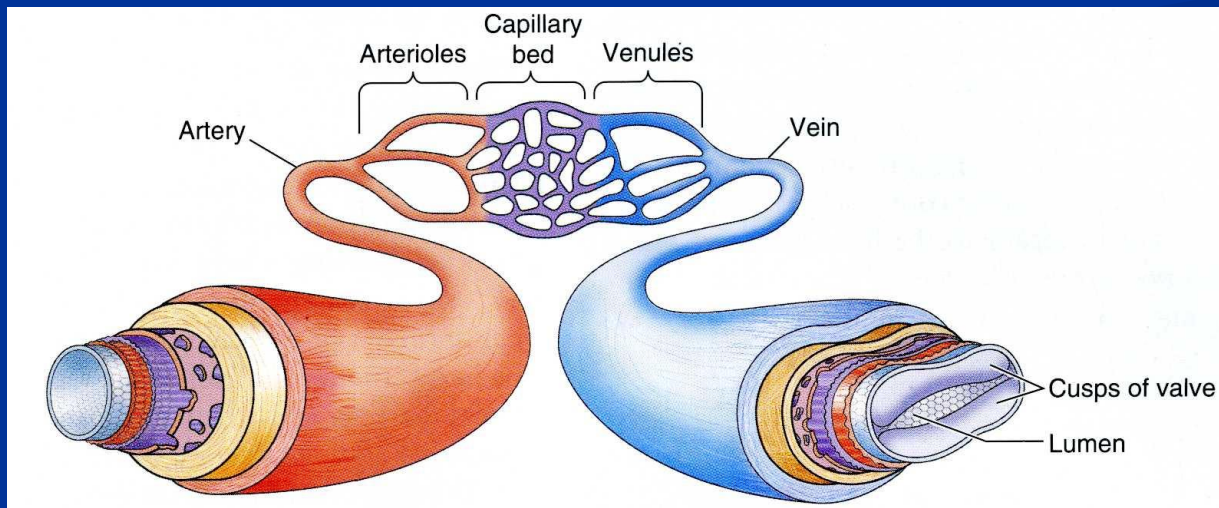
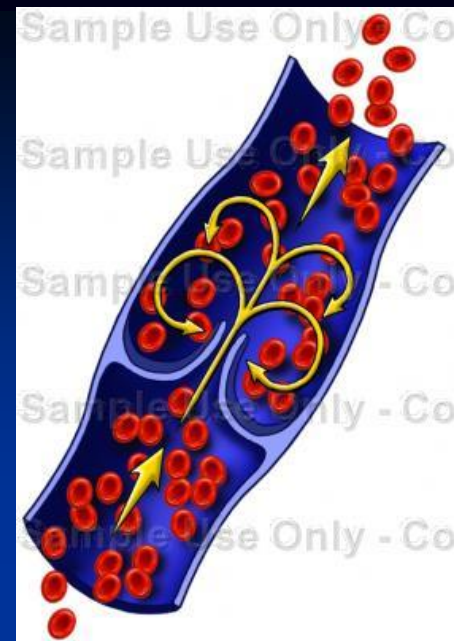
*Осуществляется функция кровеносной системы*

*– обмен веществ органов и тканей:*

- питание,*
- насыщение кислородом,*
- освобождение от вредных, «отработанных» элементов*

# Вены

- Несут кровь в сердце
- Являются резервуаром крови (до 80% всей крови)
- Имеют тонкую стенку (мало ГМК) с клапанами

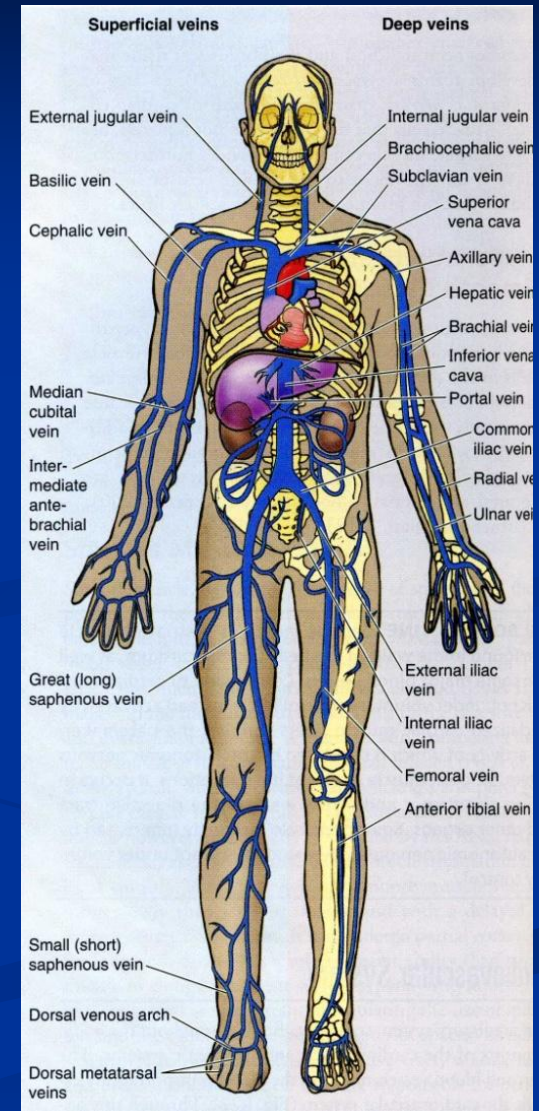
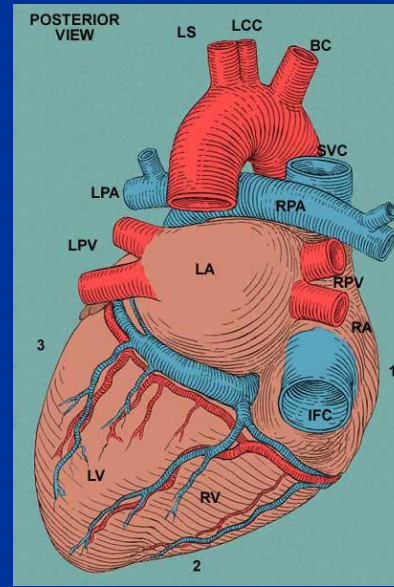
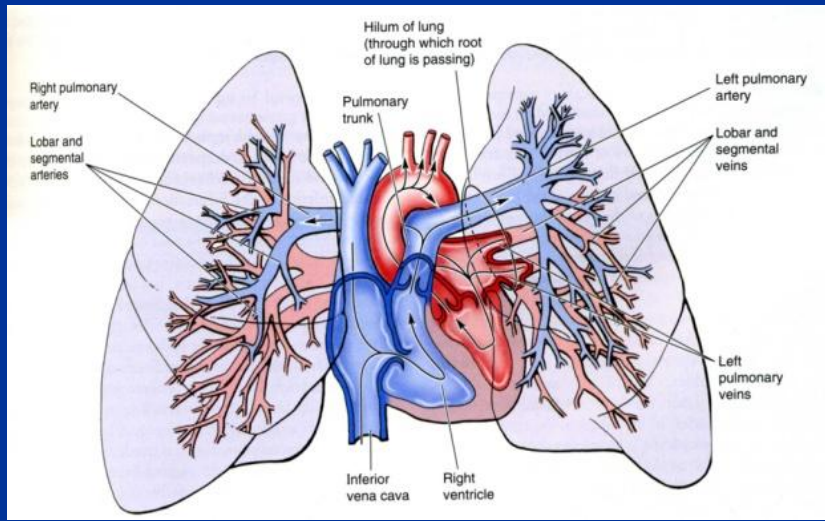


## Особенности строения стенки вен:

1. слабое развитие внутренней эластической мембраны, которая часто распадается на сеть волокон;
2. слабое развитие циркулярного мышечного слоя; более частое продольное расположение гладких миоцитов;
3. меньшая толщина стенки по сравнению со стенкой соответствующей артерии, более высокое содержание коллагеновых волокон;
4. неотчетливое разграничение отдельных оболочек;
5. более сильное развитие адвентиции и более слабое - интимы и средней оболочки (по сравнению с артериями);
6. В крупных венах мышечного типа в адвентиции формируется дополнительный продольный слой гладко-мышечных волокон
7. наличие клапанов.

# Отделы венозной системы

- Вены малого круга
- Вены сердца
- Вены большого круга



# Ткани, лишенные сосудов

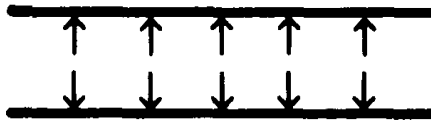
- ✓ Прозрачные среды глаза (роговица, стекловидное тело, хрусталик)
- ✓ Хрящи
- ✓ Эпителий
- ✓ Эндотелий
- ✓ Дентин и эмаль



## Состав крупных сосудов (%)

	Легочная артерия	Грудная аорта	Подошвенная артерия
<b>Средний слой</b>			
Гладкие мышцы	46,4 ± 7,7	33,5 ± 10,4	60,5 ± 6,5
Основное вещество	17,2 ± 8,6	5,6 ± 6,7	26,4 ± 6,4
Эластин	9,0 ± 3,2	24,3 ± 7,7	1,3 ± 1,1
Коллаген	27,4 ± 13,2	36,8 ± 10,2	11,9 ± 8,4
<b>Адвентиция</b>			
Коллаген	63,0 ± 8,5	77,7 ± 14,1	63,9 ± 9,7
Основное вещество	25,1 ± 8,3	10,6 ± 10,4	24,7 ± 9,3
Фибробласты	10,4 ± 6,1	9,4 ± 11,0	11,4 ± 2,6
Эластин	1,5 ± 1,5	2,4 ± 3,2	0

a Inflation



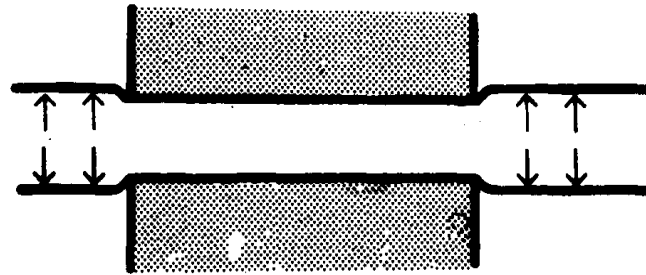
b Stretching



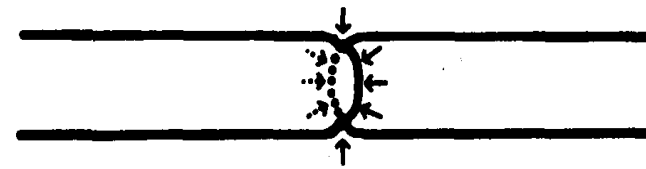
c Torsion



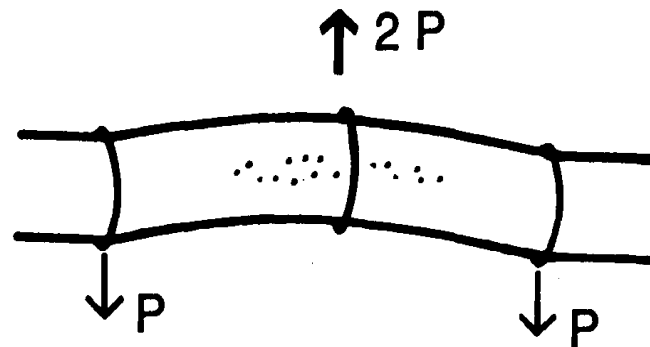
d Micropipet bending

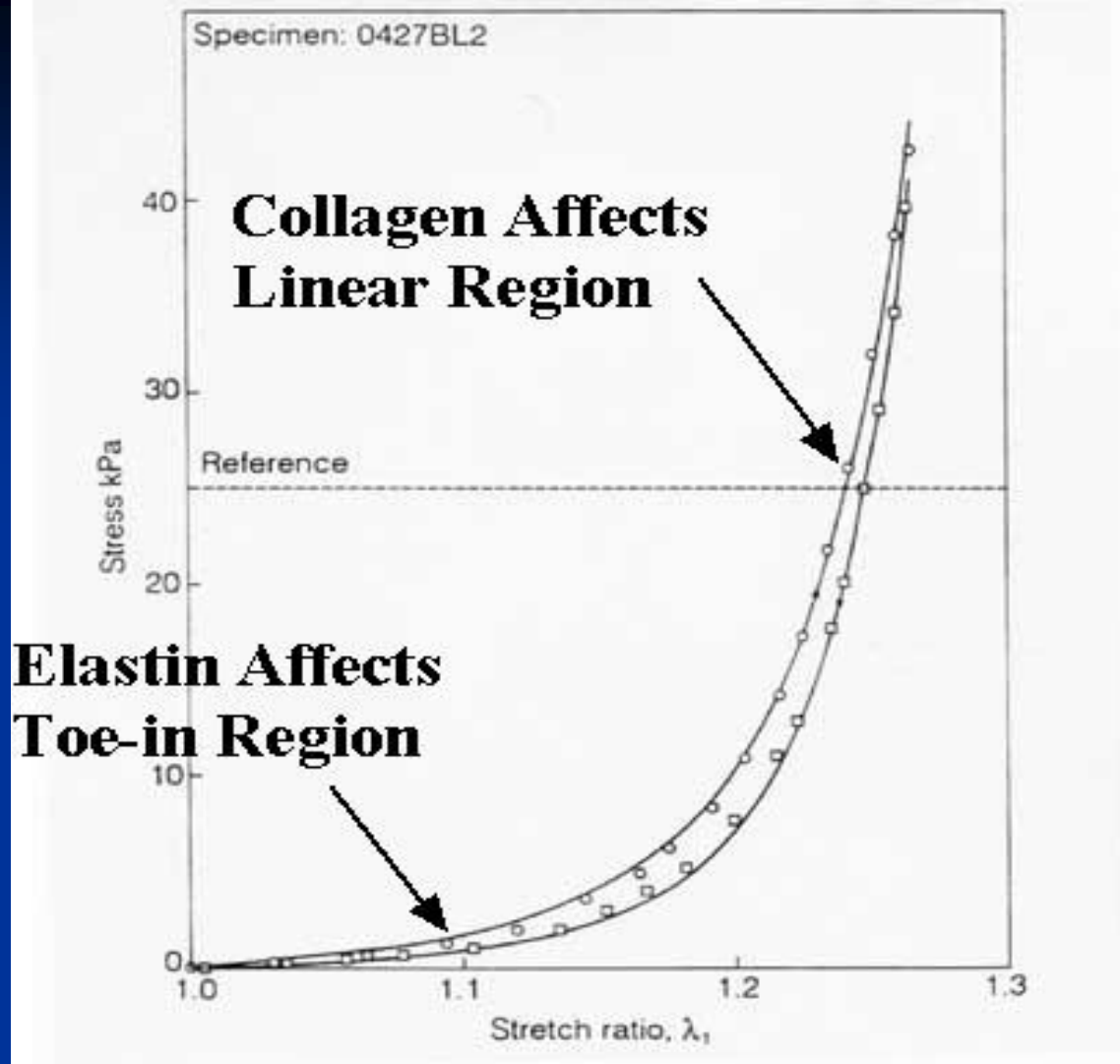


e Axial bending



f Shearing

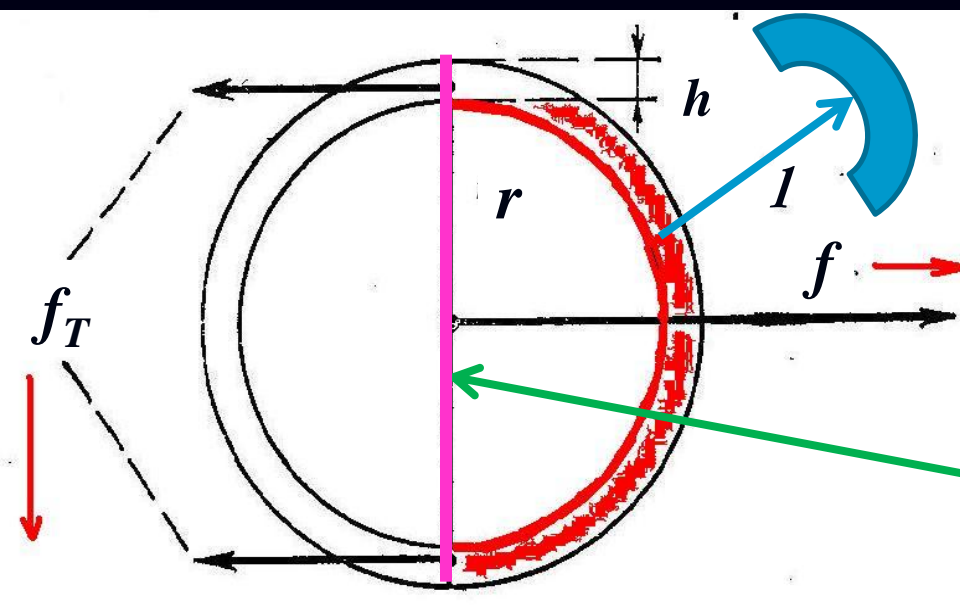




### Оценка вклада

- Эластина – расщепление коллагена трипсином
- Коллагена –экстракция эластина муравьиной кислотой

Допущение:  
сосуд – это цилиндр



$$f = p2rl$$

Условная плоскость,  
делит сосуд на 2 части

Сила  $f$  стремится разъединить 2 половины сосуда  $\Rightarrow$  появляются упругие силы которые направлены по касательной (**тангенциально**) к окружности поперечного сечения

$f_T = \sigma_T 2hl$  тангенциальная упругая сила  $2hl$  – сумма площадей продольных сечений стенки

$$f_T = f \Rightarrow$$

$$2prl = \sigma_T 2hl \quad \text{или}$$

$$\sigma_T = pr/h$$

Уравнение Ламе

При  $r \gg h$  и

$l = \text{const} \Rightarrow$

$$V_{\text{стенки}} = 2\pi hrl$$

$$\sigma_T = pr^2/a_0$$

( $a_0 = rh$  и не зависит от  $p$  и  $r$ )

$$\sigma_T + d\sigma_T = \frac{(p + dp)(r + dr)^2}{a_0}$$

$$p = (p + dp)$$

$$\sigma = (\sigma_T + d\sigma_T)$$

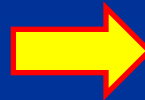
$$r = (r + dr)$$

$$\sigma_T + d\sigma_T = \frac{pr^2}{a_0} + \frac{r^2 dp}{a_0} + \frac{2pr dr}{a_0}$$

По уравнению Ламе

Тангенциальное напряжение при изменении длины стенки

на  $2\pi(r + dr) - 2\pi r.$



$$d\sigma_T = \frac{r^2 dp}{a_0} + \frac{2pr dr}{a_0}$$

$$d\sigma_T = E \frac{2\pi(r + dr) - 2\pi r}{2\pi r} = E \frac{dr}{r}$$

Если объединить

По закону Гука

Основные уравнения деформации стенки сосудов

$$dp = \left( \frac{Ea_0}{r^3} - \frac{2p}{r} \right) dr$$

Если преобразовать

$$dp = \left( \frac{Ea_0}{2r^2s} - \frac{p}{s} \right) ds$$

Изменение радиуса

$$dp = \left( \frac{Ea_0}{r^3} - \frac{2p}{r} \right) dr.$$

Изменение  
просвета

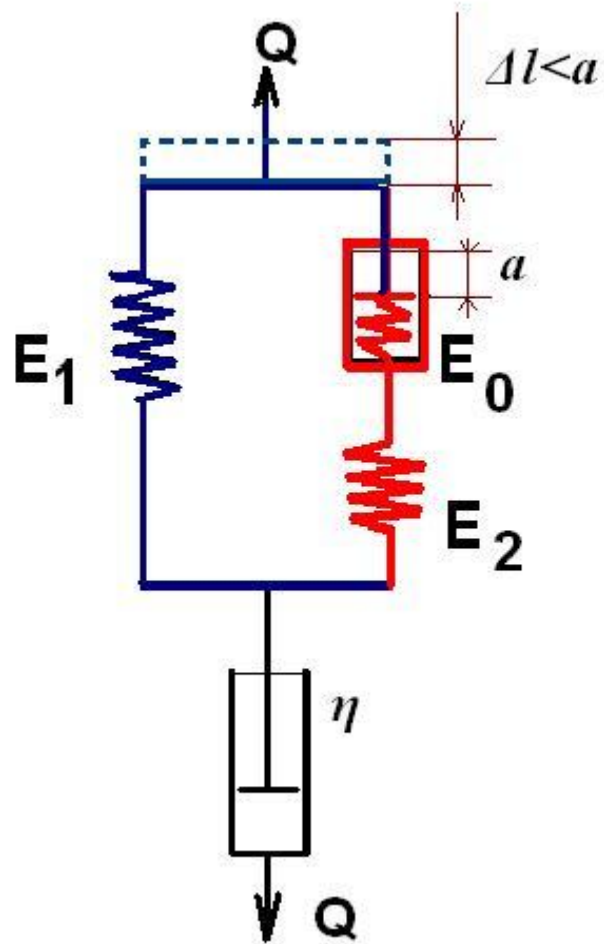
$$dp = \left( \frac{Ea_0}{2r^2s} - \frac{p}{s} \right) ds.$$

При высоких  
значениях модуля  
упругости

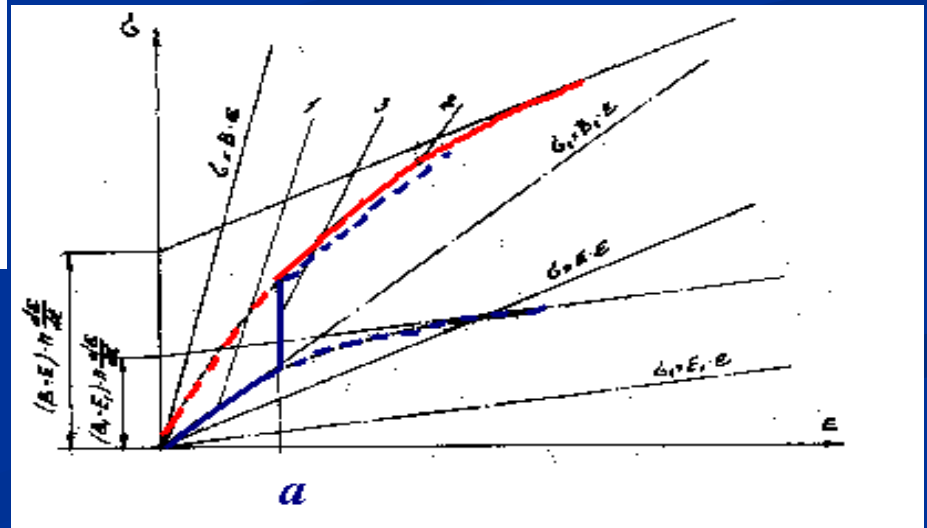
$$dp = \frac{Ea_0}{r^3} dr = \frac{Eh}{r^2} dr,$$

$$dp = \frac{Ea_0}{2r^2s} ds = \frac{Eh}{2rs} ds.$$

Эластин



Коллаген







# Литература

- *Биофизика под ред. Ю.А.Владимирова*— М., 1989, стр. 200-205 (Глава 10)

# Экзаменационные вопросы

1. Продольная и тангенциальная деформация стенок сосудов. Уравнение Ламе.
2. Зависимость просвета сосуда от давления. Уравнения деформации при высоком модуле упругости.
3. Динамический модуль упругости. Соотношение между динамическим и статическим модулем упругости (на основании вязко-упругих свойств коллагеново-эластиновых тканей).