

БИОМЕХАНИКА

Хрупкость – свойство материала разрушаться без образования остаточных деформаций. Противоположно пластичности:

Пластичность – способность материала без разрушения получать большие остаточные деформации.

Текучесть-свойство пластичных металлов и тел при постепенном увеличении давления уступать действию сдвигающих сил и течь подобно вязким жидкостям.

Ползучесть — медленная деформация твёрдого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения.

Вязкость - свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

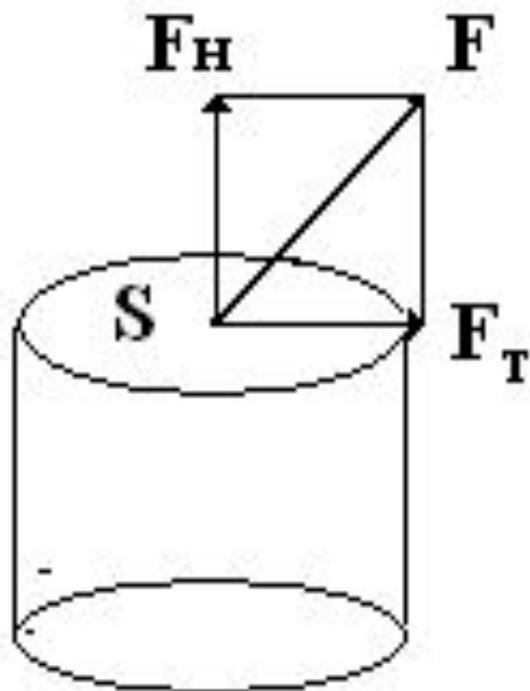
Прочность — свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих под воздействием внешних сил.



При действии на тело внешней деформирующей силы межатомные расстояния меняются, что приводит к возникновению внутренних сил.

МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ-мера внутренних сил, возникающих при изменении формы и размеров материала

МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

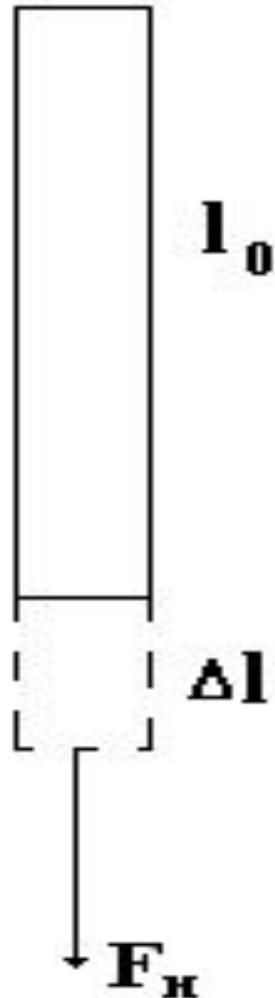


Нормальное
напряжение $\sigma = \frac{F_H}{S}$

Тангенциальное
(касательное)
напряжение $\tau = \frac{F_T}{S}$

Размерность
напряжения $\frac{H}{M^2}$

ДЕФОРМАЦИЯ УДЛИНЕНИЯ-СЖАТИЯ.



- Абсолютное удлинение – Δl
- Относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

- Закон Гука

$$\sigma = E \varepsilon$$

- E – модуль Юнга

$$F = -kx$$

$$\frac{F}{S} = \frac{k}{S} \Delta l$$

$$\sigma = \frac{kl_0}{S} \frac{\Delta l}{l_0}$$

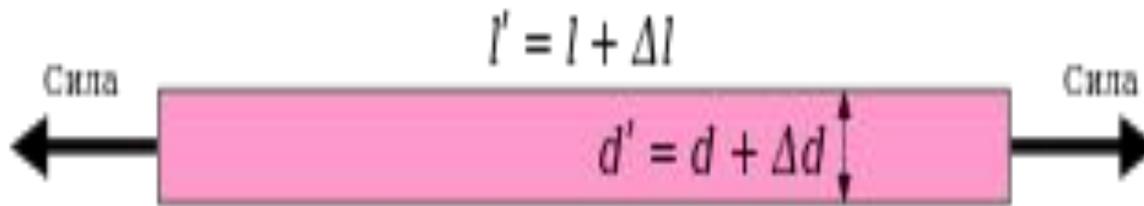
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\frac{H}{M^2}$$

Коэффициент Пуассона



$$\mu = -\frac{\Delta d}{d} \frac{l}{\Delta l}$$



$$\Delta d < 0$$

$\frac{\Delta d}{d}$ – относительное поперечное сжатие

$\frac{\Delta l}{l}$ – относительное продольное удлинение

Этот коэффициент не зависит от размеров тела, а только от природы материала, из которого изготовлен образец.

Коэффициент Пуассона и модуль Юнга полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала

ДЕФОРМАЦИЯ СДВИГА



ЗАКОН ГУКА

$$\tau = G\gamma$$

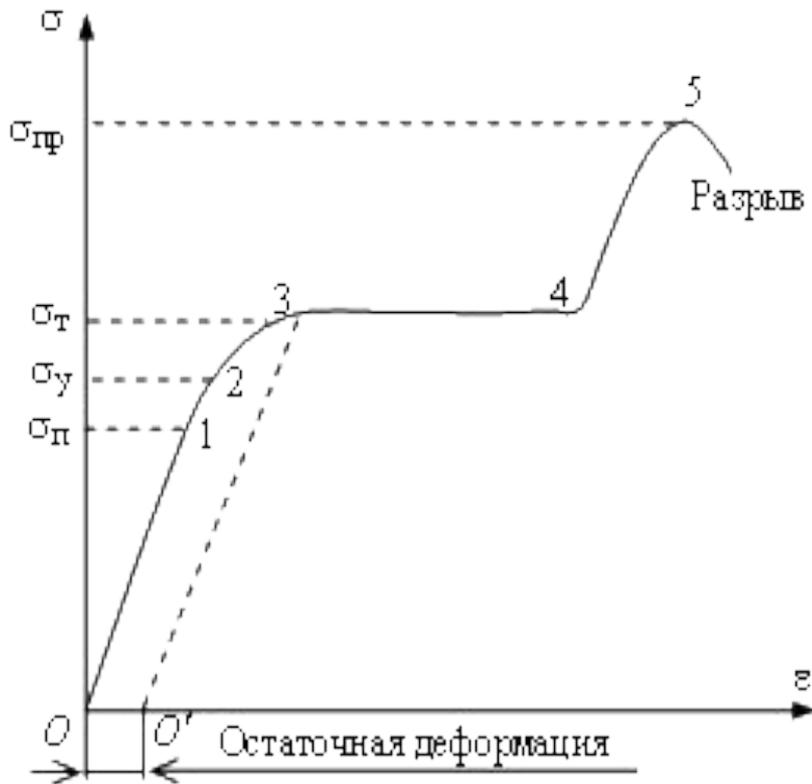
γ – угол сдвига

$\text{tg}\gamma$ – относительный сдвиг

$$\text{tg}\gamma \approx \gamma$$

G - модуль сдвига

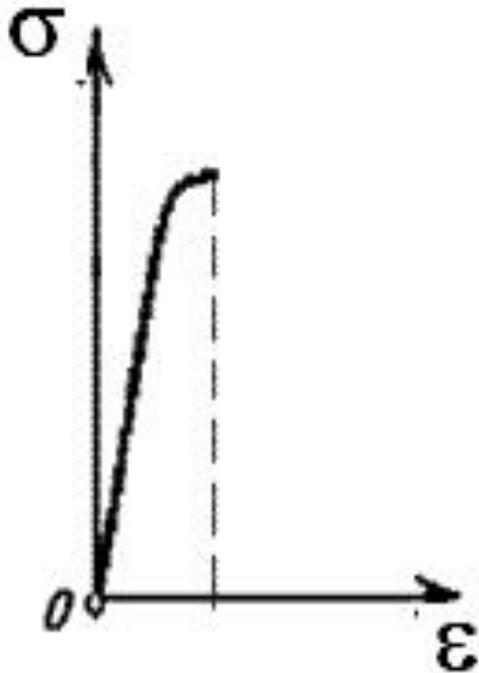
ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ пластичных материалов



- $\sigma_{п}$ - предел пропорциональности
- $\sigma_{у}$ - предел упругости
- $\sigma_{Т}$ - предел текучести
- $\sigma_{пр}$ - предел прочности

Прочность материала характеризуется напряжением (в Н/м^2), разрушающим сам материал.

ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ хрупких материалов



- **Хрупкие материалы** плохо сопротивляются растяжению; Их предел прочности на разрыв оказывается малым по сравнению с пределом прочности пластичных материалов.

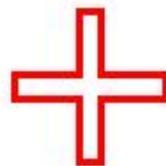
Особенности деформации биологических тканей

- Жидкости
 - Неограниченная деформация
 - Малая прочность
- Твердые тела:
 - Малая обратимая деформация
 - Высокая прочность
- Биологические ткани
 - биополимеры (альбумин, коллаген, эластин, полисахариды, гликопротеиды):
 - Большая обратимая деформация (вязкоупругая)
 - Ползучесть
 - Высокая прочность

Реологические модели

- Упругие и вязкие свойства материалов (в том числе и биологических тканей) можно моделировать сочетанием

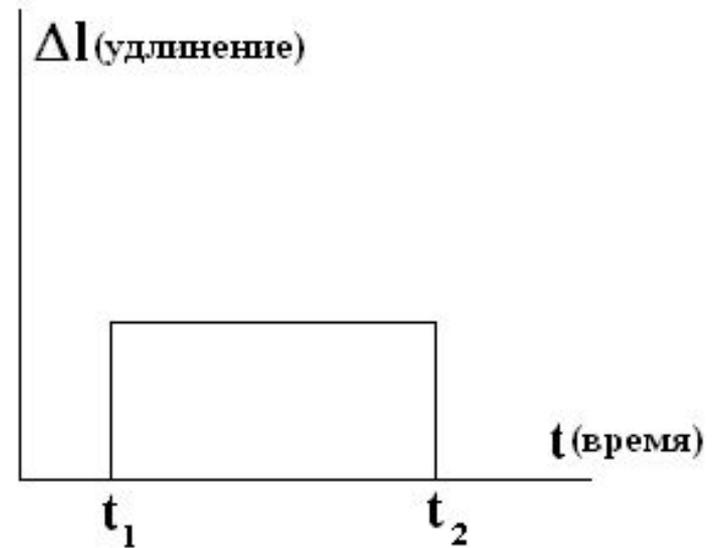
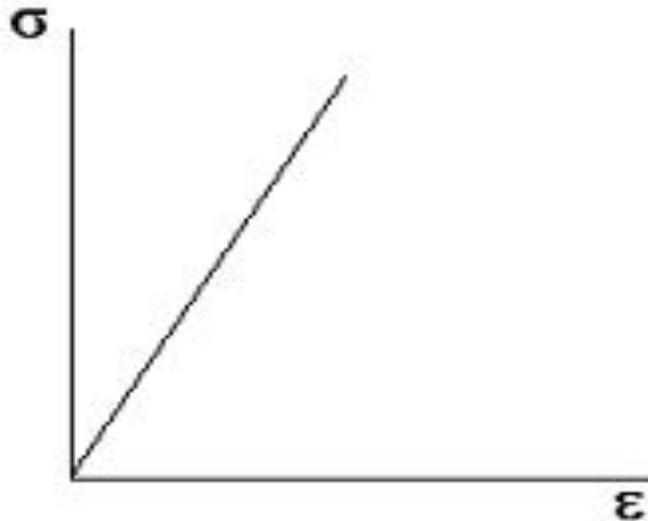
Идеально
упругие
элементы



Вязкие
элементы

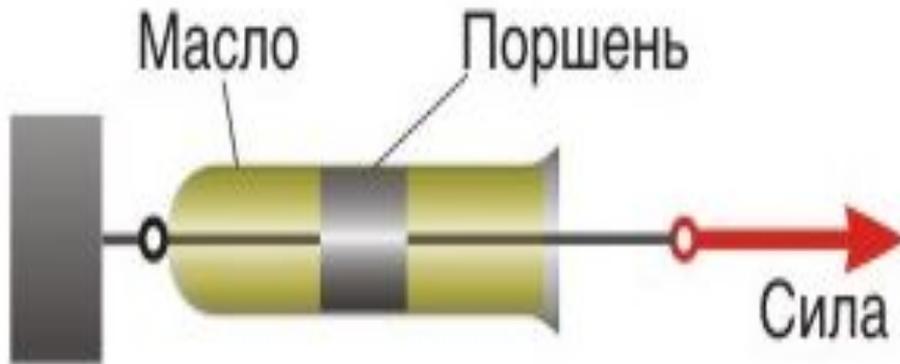
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

- Идеально упругий элемент – пружина



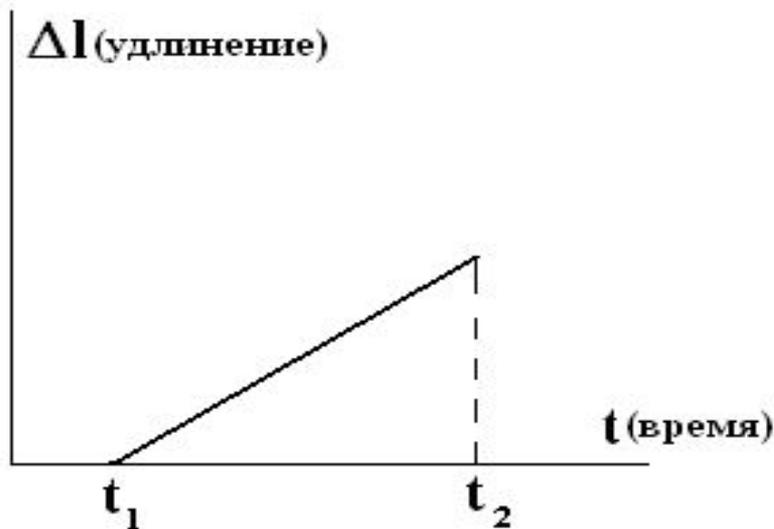
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Идеально вязкий элемент



Поршень имеет отверстия, через которые вязкая жидкость может перетекать.

В момент t_1 под действием приложенной силы поршень перемещается, в момент t_2 действие силы прекращается, но модель **не возвращается** в исходное состояние.



РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Механические характеристики моделей.

описывающие вязкоупругие свойства различных тканей, изучают либо в

изотоническом режиме,

создавая определенное напряжение под действием постоянной силы, и измеряя изменение со временем длины образца исследуемого материала, либо в

изометрическом режиме,

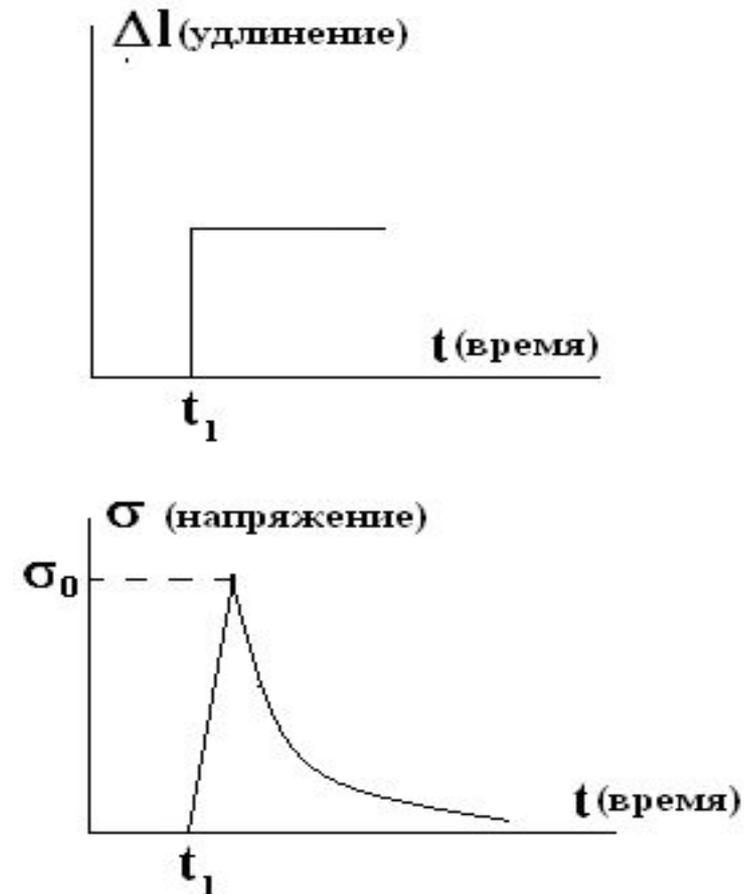
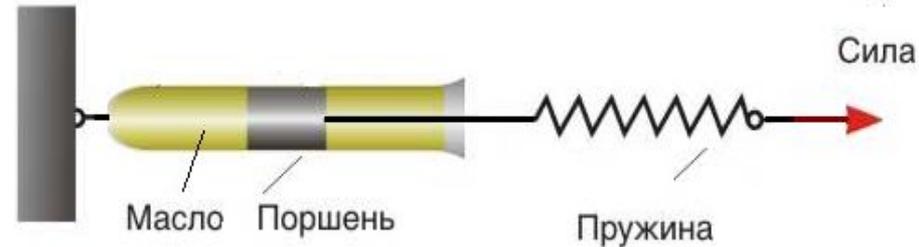
проводя ступенчатое изменение длины образца и измерение в новом состоянии изменения напряжения со временем

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Модель Максвелла

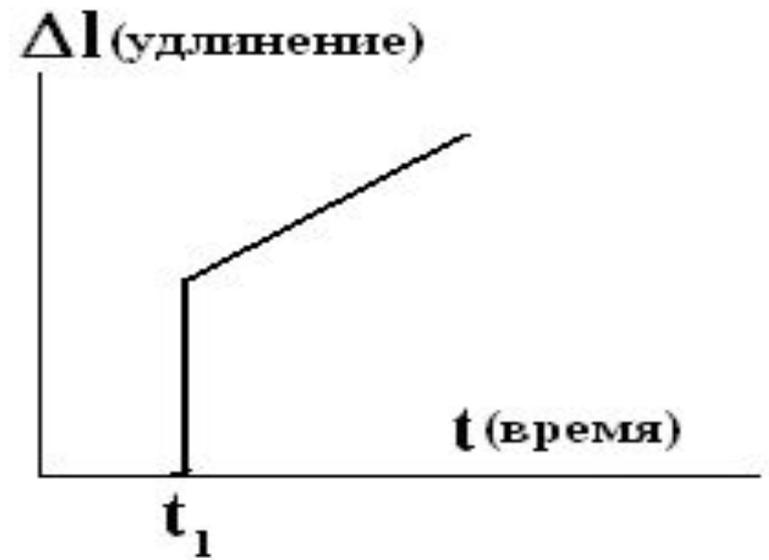
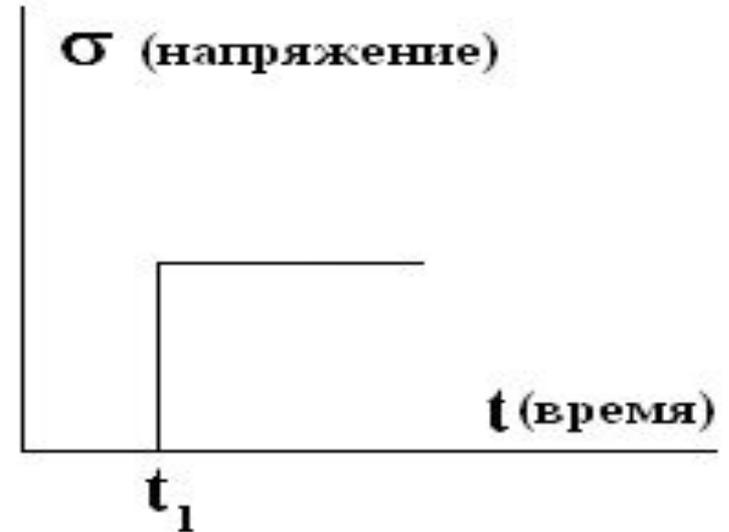
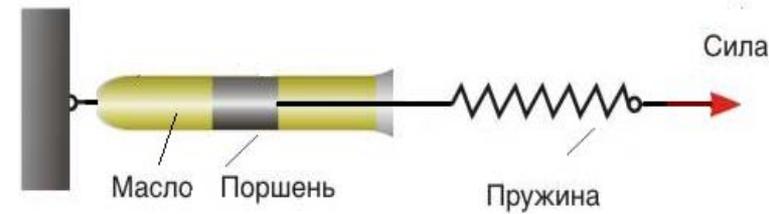
Изометрический режим

При изменении длины на определенную величину в системе возникает максимальное для заданной длины напряжение σ_0 , которое постепенно уменьшается по мере перемещения поршня (релаксация напряжения)



Модель Максвелла.

- Изотонический режим
- При возникновении напряжения под действием постоянной силы происходит практически мгновенное удлинение пружины и медленное перемещение поршня
- Так на этой модели реализуют **свойство ползучести**



Модель Максвелла подходит для стенок полых органов

1. Длительное воздействие постепенно нарастающих растягивающих усилий
2. Напрягаются, проявляя свои слабые упругие свойства гладкие мышцы и другие компоненты стенок полых органов
3. Напряжение их постепенно ослабевает благодаря деформации компонентов, обладающих вязкостными свойствами

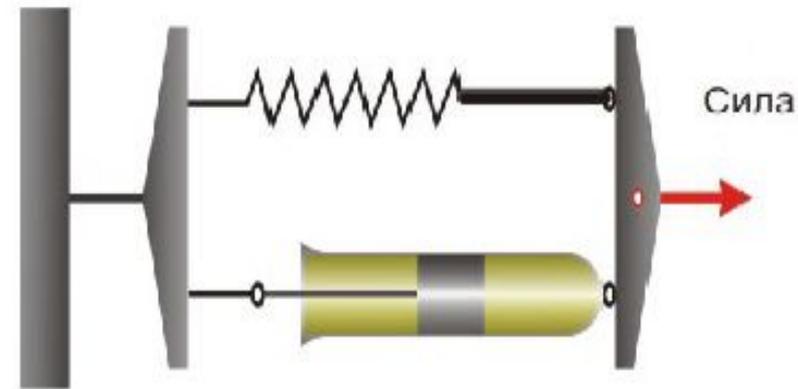
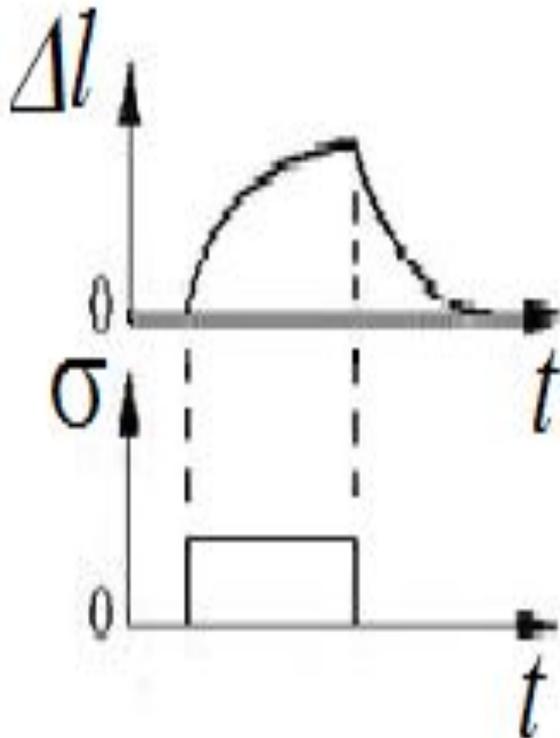


Полые органы способны сильно растягиваться без развития напряжения

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

- Модель Кельвина – Фойгта

Изотонический режим

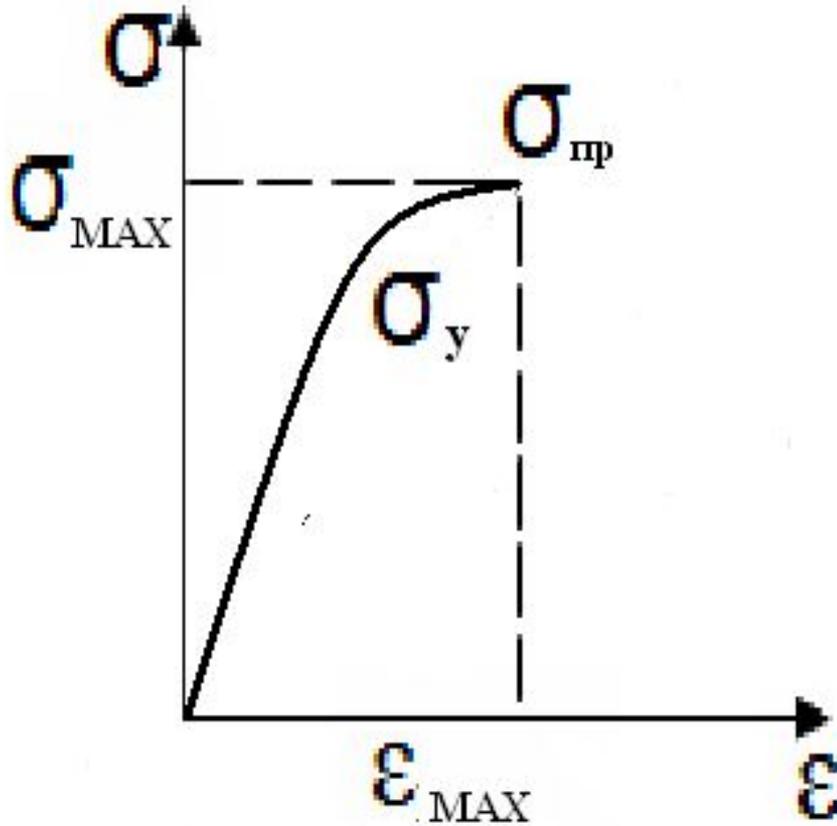


При действии постоянной силы (т.е. создания постоянного напряжения) удлинение модели соответствует экспоненциальному закону.

Изометрический режим

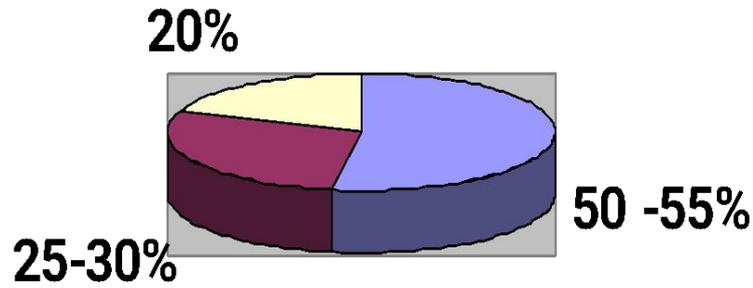
Если удлинить модель на определенную величину, возникнет соответствующее напряжение, не меняющееся со временем.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТНОЙ ТКАНИ

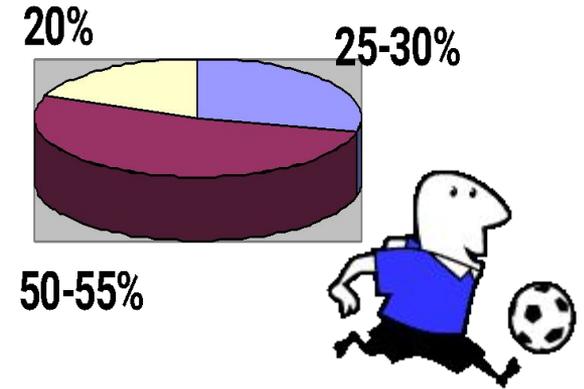


- При небольших напряжениях (до 10 МПа) для компактной костной ткани справедлив закон Гука. При достижении предела прочности кость подвергается разрушению (10-150 МПа)

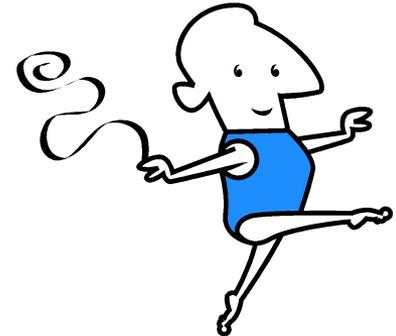
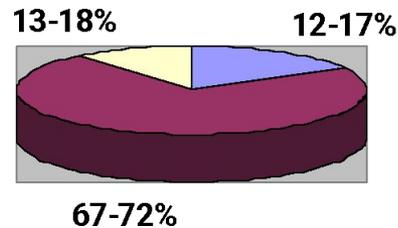
**Диаграмма 1.
Младенческий возраст
(упругие кости)**



**Диаграмма 2.
Зрелый возраст**



**Диаграмма 3.
Пожилый возраст
(хрупкие кости)**

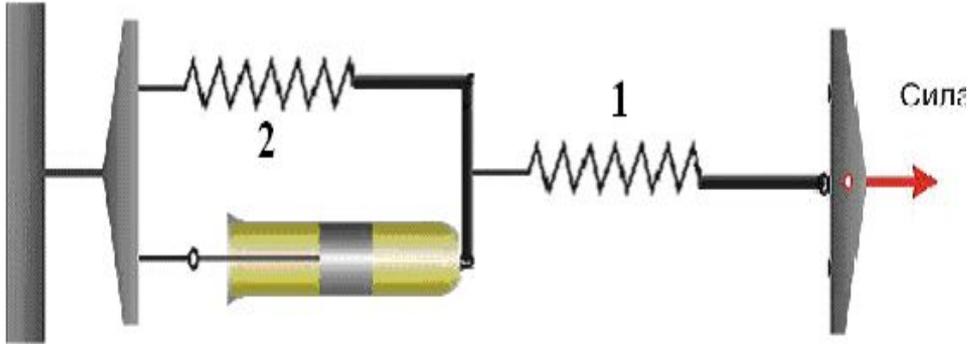


■ - органические вещества; ■ - неорганические вещества; ■ - вода

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТНОЙ ТКАНИ

Модель Зинера

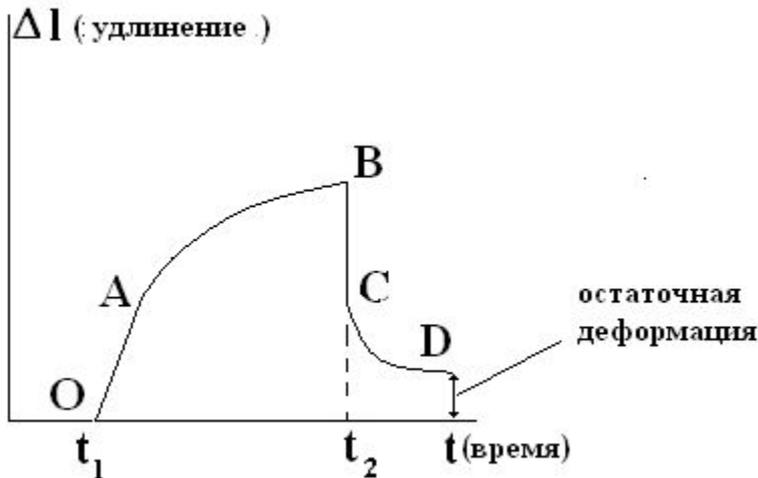
КОСТНОЙ ТКАНИ



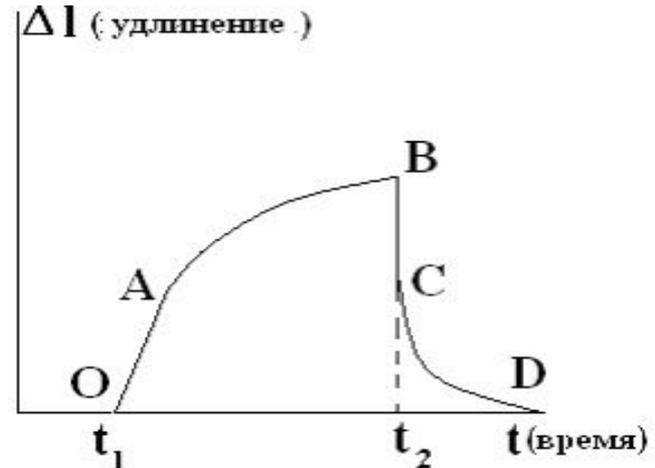
Изотонический режим



При нагружении модели прежде всего происходит удлинение пружины 1, к которой непосредственно приложена сила (участок OA). АВ – область ползучести – удлинение пружины 2 и одновременное перемещение поршня. В момент t_2 снимаем действующую силу ВС – деформация сжатия за счет сокращения пружины 1 при снятии нагрузки



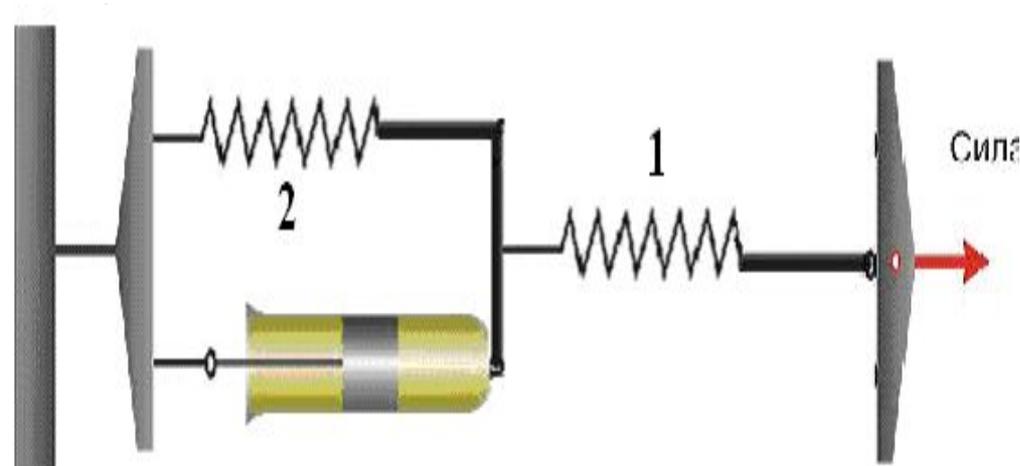
Реальная кривая



модель

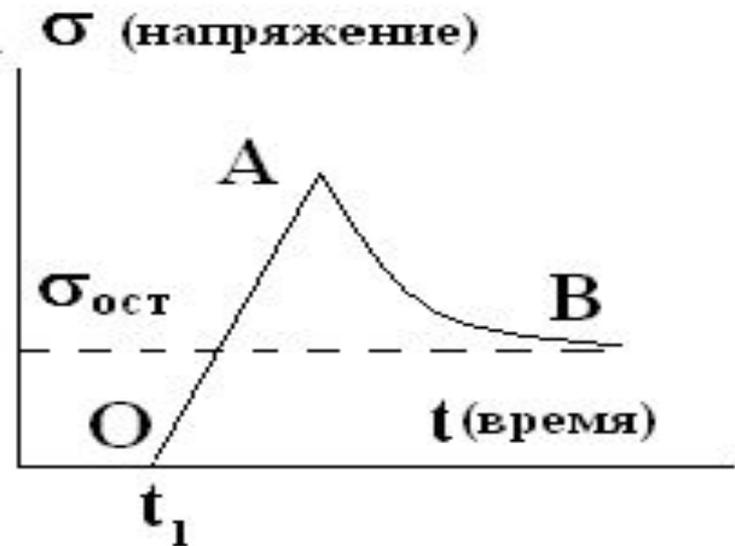
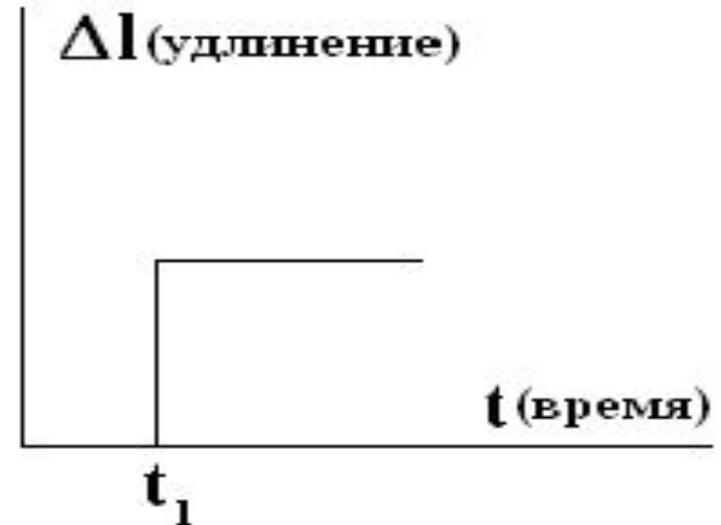
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТНОЙ ТКАНИ

Изометрический режим



ОА - увеличение напряжения в модели при удлинении модели за счет растяжения пружины 1

АВ – сокращение пружины 1 с одновременным вытягиванием поршня и растяжением пружины 2.-релаксация напряжения

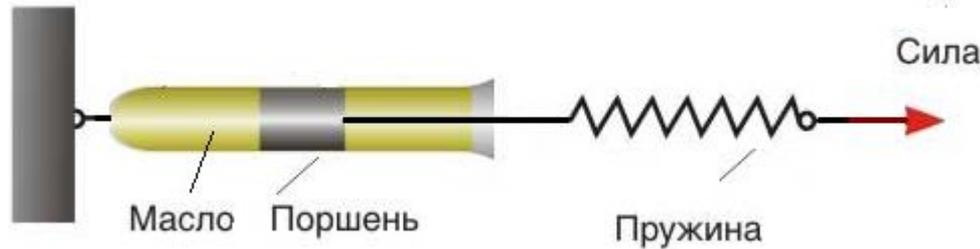


МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

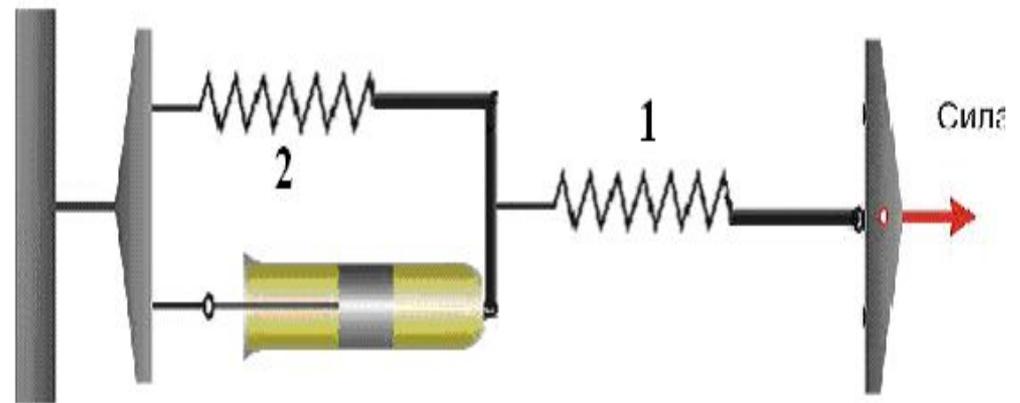
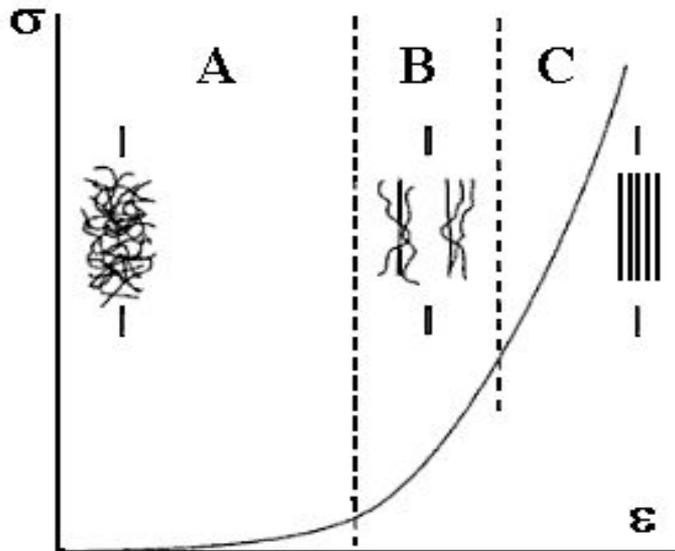
Вещество	Модуль упругости	Предел прочности
Коллаген	$(10 - 100) \cdot 10^6 \text{ Па}$	$100 \cdot 10^6 \text{ Па}$
Эластин	$(0,1 - 0,6) \cdot 10^6 \text{ Па}$	$5 \cdot 10^6 \text{ Па}$

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

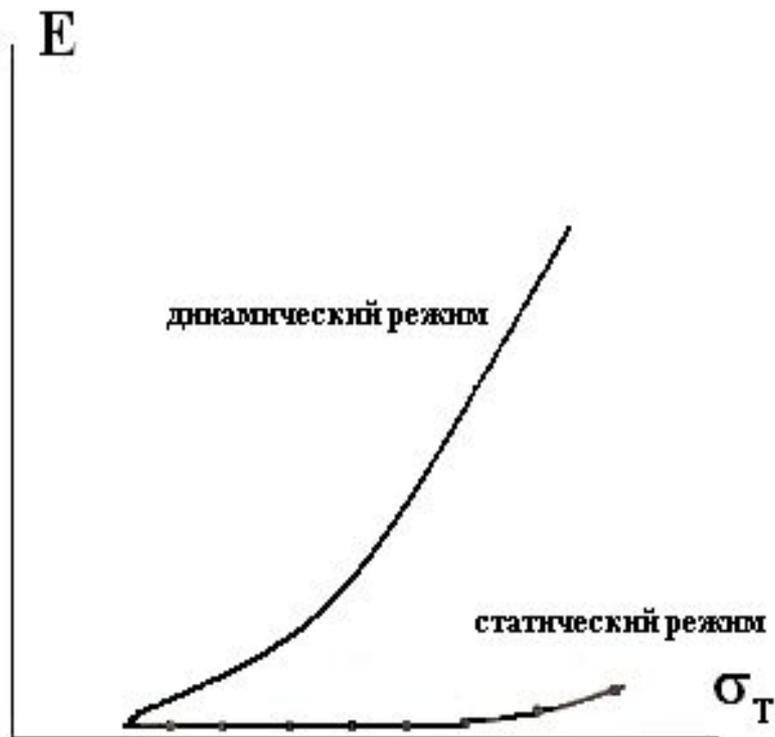
- Гладкие мышцы – модель Максвелла

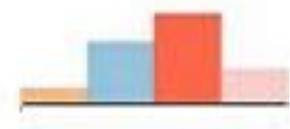
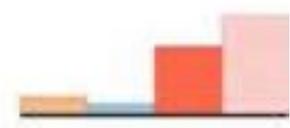


- Скелетная мышца- хорошо описываются моделью Зинера



МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОСУДИСТОЙ СТЕНКИ



Тип сосуда	диаметр толщина	Состав стенки
 Артерия	D: 1.5 cm T: 1.0 mm	
 Вена	D: 5.0 mm T: 0.5 mm	

-  эндотелиальная ткань
-  эластин
-  гладкие мышцы
-  коллаген

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

- **пульсовая волна**-распространяющаяся вдоль артерии волна деформации ее стенок
- Методика, позволяющая по записи колебаний артериальной стенки определить скорость пульсовой волны и оценить механические свойства сосудистой стенки называется **сфигмография**



скорость пульсовой волны

$$v = \sqrt{\frac{E \cdot h}{\rho \cdot d}}$$

E – модуль упругости
сосудистой стенки
 h – толщина стенки сосуда
 d – диаметр сосуда
 ρ – плотность крови

Контрольные вопросы

- 1. Основные понятия биомеханики: деформация, напряжение, их виды
- 2. Закон Гука для деформации удлинения-сжатия и деформации сдвига. Диаграмма растяжения.
- 3. Механические (реологические) модели упруговязких свойств материалов (идеально упругий элемент, идеально вязкий элемент). Модель Максвелла. Модель Кельвина-Фойгта.
- 4. Механические свойства костной ткани. Модель Зинера
- 5. Механические свойства мышечной ткани
- 6. Механические свойства тканей кровеносных сосудов. 7. Пульсовая волна (механизм возникновения и скорость распространения)