

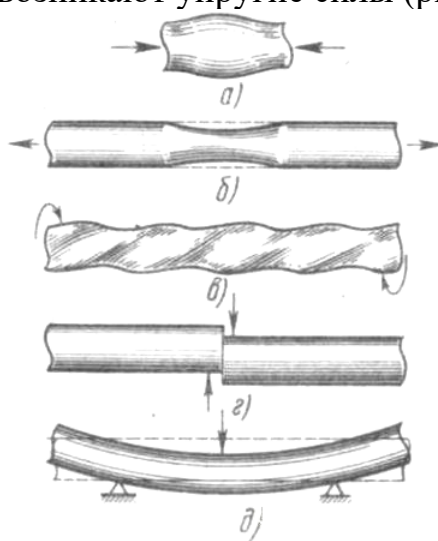
## ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТКАНЕЙ ОРГАНИЗМА.

Изучению механических свойств биологических тканей в биофизических исследованиях уделяют большое внимание. Исследования взаимосвязи структуры тканей и их механических свойств, особенностей поведения тканей при различных режимах нагрузки позволяют решать конкретные медицинские задачи: разработку материалов для замещения пораженных тканей; оценку механических параметров биологических тканей в норме и при патологии с целью диагностики и др.

Под *механическими свойствами биологических тканей* понимают две их разновидности. Одна связана с процессами биологической подвижности: сокращение мышц животных, рост клеток, движение хромосом в клетках при их делении и др. Эти процессы обусловлены химическими процессами и энергетически обеспечиваются АТФ, их природа рассматривается в курсе биохимии. Условно указанную группу называют *активными механическими свойствами* биологических систем. Другая разновидность - *пассивные механические свойства* биологических тел. Рассмотрим этот вопрос применительно к биологическим тканям.

Как технический объект биологическая ткань - композиционный материал, он образован объемным сочетанием химически разнородных компонентов. Механические свойства биологической ткани отличаются от механических свойств каждого компонента, взятого в отдельности. Методы определения механических свойств биологических тканей аналогичны методам определения этих свойств у технических материалов.

Механические свойства твердых тел проявляются при деформациях. **Деформация** - это изменение взаимного положения точек тела. Деформации могут возникать в твердых телах при воздействии внешних сил. При этом изменяются форма и размер тела, и в теле возникают упругие силы (рис.1).



**Рис. 1.** Виды деформаций: а - сжатие, б - растяжение, в - кручение, г - сдвиг, д - изгиб

**Относительная деформация (относительное удлинение)  $\varepsilon$**  равна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1)$$

где  $l_0$  - первоначальный размер тела;  $\Delta l$  - изменение этого размера.

**Механическое напряжение (предел прочности)  $\sigma$**  при деформации сжатия и растяжения равно:

$$\sigma = \frac{F_{\text{УПР}}}{S}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{УПР}}$  - упругая сила;

$S$  - площадь поперечного сечения тела.

Для упругих деформаций справедлив **закон Гука**:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

$$\text{или } \Delta l = Fl_0/ES$$

где  $E$ - модуль Юнга (модуль упругости, Па);

$F$ -сила растяжения, сжатия;

$S$ - площадь образца.

Произведение  $E S$ - называется **жесткостью** при растяжении или сжатии.

Относительное сужение (после разрыва)  $\varphi$  - это отношение разности начальной и минимальной площадей ( $F_0-F_k$ ) поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади  $F_0$  поперечного сечения, выраженное в процентах:

$$\varphi = [(F_0 - F_k) / F_0] 100\%.$$

Чем больше значения относительного удлинения  $\varepsilon$  и сужения  $\varphi$  для материала, тем он более пластичен. У хрупких материалов эти значения близки к нулю.

Хрупкость конструкционного материала является отрицательным свойством.

Ударная вязкость, т. е. способность материала сопротивляться динамическим нагрузкам, определяется как отношение затраченной на излом образца работы  $W$  (в МДж) к площади его поперечного сечения  $F$  (в м<sup>2</sup>) в месте надреза  $KC = W/F$ .

Определение ударной вязкости особенно важно для некоторых металлов, работающих при минусовых температурах и проявляющих склонность к хладноломкости. Чем ниже порог хладноломкости, т. е. температура, при которой вязкое разрушение материала переходит в хрупкое, и больше запас вязкости материала, тем больше ударная вязкость материала.

Хладноломкость - снижение ударной вязкости при низких температурах.

Циклическая вязкость - это способность материалов поглощать энергию при повторно переменных нагрузках. Материалы с высокой циклической вязкостью быстро гасят вибрации, которые часто являются причиной преждевременного разрушения. Например, чугун, имеющий высокую циклическую вязкость, в некоторых случаях (для станин и других корпусных деталей) является более ценным материалом, чем углеродистая сталь.

Вязкоупругой называется деформация, которая при действии постоянной силы с течением времени достигает значительной величины, а после снятия нагрузки постепенно исчезает полностью или частично. Для вязкоупругих объектов характерны явления ползучести и релаксации напряжения.

**Ползучесть** — явление изменения относительной деформации объекта с течением времени при постоянном напряжении:  $\varepsilon = f(t)$  при  $\sigma = \text{const}$ . Исследование ползучести проводят в изотоническом режиме деформации: в объекте создают постоянное механическое напряжение  $\sigma = \text{const}$  (действуют постоянной силой) и изучают зависимость  $\varepsilon = f(t)$ .

**Релаксация напряжения** — уменьшение механического напряжения с течением времени при постоянной величине относительной деформации:  $\sigma = f(t)$  при  $\varepsilon = \text{const}$ . Исследование релаксации напряжения проводят в изометрическом режиме деформации: в объекте создают ступенчатое удлинение и, сохраняя его постоянным ( $\varepsilon = \text{const}$ ), изучают зависимость  $\sigma = f(t)$ .

При изучении механических свойств любого материала исследуют, прежде всего, зависимость механического напряжения от относительной деформации  $\varepsilon$ :  $\sigma = f(\varepsilon)$  и временные зависимости напряжения  $\sigma = f(t)$  и относительной деформации  $\varepsilon = f(t)$ .

### Самостоятельная работа

1. Определите модуль упругости хрящевой ткани, поперечное сечение которой  $1 \text{ см}^2$ , если растяжение ткани силой  $100 \text{ Н}$  вызывает ее относительное удлинение  $4,2\%$ .
2. Сечение бедренной кости человека (в средней ее части) напоминает пустотелый цилиндр с внешним радиусом  $11 \text{ мм}$  и внутренним  $5 \text{ мм}$ . Предел прочности костной ткани на сжатие  $170 \text{ МПа}$ . Груз какой минимальной массы под действием силы тяжести, направленной вдоль кости, может ее сломать?
3. Нагрузка на бедренную кость, составляющая  $1800 \text{ Н}$  при сжатии, вызывает относительную деформацию, равную  $5 \cdot 10^{-4}$ . Определить эффективную площадь поперечного сечения кости, если модуль упругости её равен  $22,5 \cdot 10^9 \text{ Па}$ .
4. Какие силы надо приложить к концам ортопедической проволоки длиной  $4 \text{ м}$  и сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  для удлинения ее на  $2 \text{ мм}$ ? Модуль упругости  $E = 200 \text{ ГПа}$ . ( $1 \text{ ГПа} = 10^9 \text{ Па}$ ).
5. Определить абсолютное удлинение сухожилия длиной  $4 \text{ см}$  и диаметром  $6 \text{ мм}$  под действием силы  $31,4 \text{ Н}$ . Модуль упругости сухожилия принять равным  $10^9 \text{ Па}$ .
6. Мышца длиной  $10 \text{ см}$  и диаметром  $1 \text{ см}$  под действием груза  $49 \text{ Н}$  удлинилась на  $7 \text{ мм}$ . Определить модуль упругости мышечной ткани.

7. Определите эффективный модуль упругости портняжной мышцы лягушки, если при возрастании приложенного к мышце напряжения от 10 КПа до 40 КПа длина её увеличивалась от 0,032 м до 0,034 м.
8. При экспериментальном исследовании зависимости напряжения от удлинения для изолированной покоящейся мышцы было установлено, что при  $l/l_0=1,4$  напряжение составило  $7 \cdot 10^5$  Па. Определите модуль Юнга.
9. Определите силу, необходимую для удлинения сухожилий сечением 4 мм<sup>2</sup> на 0,02 от его первоначальной длины. Модуль Юнга считать равным  $10^9$  Па.
10. Определите толщину стенки сосуда длиной 50 см если известно, что силы, действующие на стенки сосуда 10 Н создают механическое напряжение в нём  $5 \cdot 10^3$  Па.