

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).

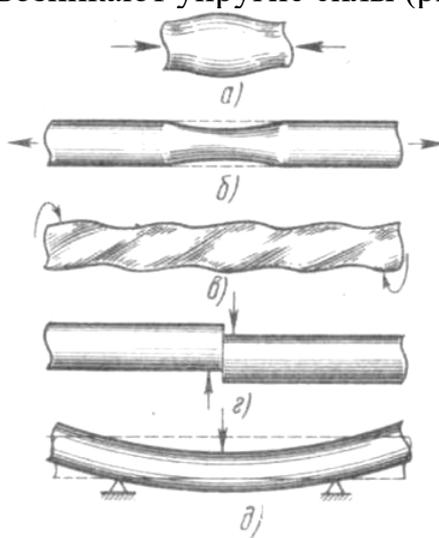


Рис. 1. Виды деформаций: а - сжатие, б - растяжение, в - кручение, г - сдвиг, д - изгиб

Относительная деформация (относительное удлинение) ε равна:

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

где l_0 - первоначальный размер тела; Δl - изменение этого размера.

Механическое напряжение (предел прочности) σ 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) φ - 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 ε и сужения φ 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 м²) 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 ε : $\sigma = f(\varepsilon)$ 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 см^2 , если растяжение ткани силой 100 Н вызывает ее относительное удлинение $4,2\%$.
2. Сечение бедренной кости человека (в средней ее части) напоминает пустотелый цилиндр с внешним радиусом 11 мм и внутренним 5 мм . Предел прочности костной ткани на сжатие 170 МПа . Груз какой минимальной массы под действием силы тяжести, направленной вдоль кости, может ее сломать?
3. Нагрузка на бедренную кость, составляющая 1800 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 м и сечением $0,5 \text{ мм}^2$ для удлинения ее на 2 мм ? Модуль упругости $E = 200 \text{ ГПа}$. ($1 \text{ ГПа} = 10^9 \text{ Па}$).
5. Определить абсолютное удлинение сухожилия длиной 4 см и диаметром 6 мм под действием силы $31,4 \text{ Н}$. Модуль упругости сухожилия принять равным 10^9 Па .
6. Мышца длиной 10 см и диаметром 1 см под действием груза 49 Н удлинилась на 7 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 мм² 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.