

## Тема 15. Механические свойства живых тканей

При механическом воздействии на тело человека его живые ткани деформируются. При этом для человека учитывается только упругая и остаточная деформации.

Биологическая ткань является анизотропным композиционным материалом, который состоит из объёмного сочетания химически разнородных компонентов. При этом механические свойства ткани отличаются от свойств отдельно взятого компонента.

1) **Сосудистая ткань** – это ткань стенки кровеносного сосуда. Механические свойства такой ткани определяются свойствами гладких мышечных волокон, коллагена и эластина, соотношение которых меняется по ходу кровеносной системы.

Сосудистая ткань практически не сжимается и её механические свойства изменяются в зависимости от направления рассмотрения.

Сосуд рассматривается как упругий тонкостенный цилиндр, который может деформироваться под напором давления крови (рисунок 15.1).

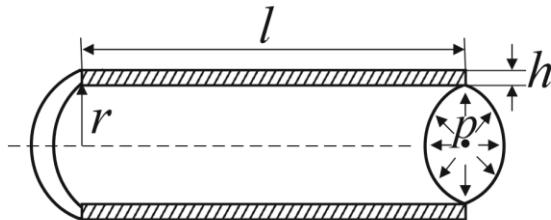


Рисунок 15.1 – Модель сосуда

Напряжение растяжения сосуда:

$$\sigma = \frac{F}{S}; S = 2hl \Rightarrow F = 2hl\sigma,$$

где  $l$  – длина сосуда,

$h$  – толщина стенки сосуда,

Эта сила  $F$  уравновешивается избыточным давлением внутри сосуда. Избыточное давление создаёт силу:

$$F' = 2rlp,$$

где  $r$  – это внутренний радиус сосуда,

$p$  – избыточное давление внутри сосуда.

$$F = F' \Rightarrow 2hl\sigma = 2rlp \Rightarrow \sigma = \frac{p \cdot r}{h}$$

Это уравнение Ламе: напряжение, которое возникает в стенках кровеносных сосудов, зависит от величины давления крови, внутреннего радиуса и толщины стенок сосуда.

**2) Мышечная ткань** – это одна из основных тканей организма. Она образована клетками, которые могут сокращаться. Механические свойства мышечной ткани подобны механическим свойствам полимеров.

Виды мышц:

- поперечно-полосатая скелетная (обеспечивает сокращение скелетных мышц);
- поперечно-полосатая сердечная (обеспечивает сокращение сердечной мышцы);
  - гладкая (обеспечивает сокращение, например, желудка, кишечника, мочевого пузыря, просвета кровеносных сосудов).

К биомеханическим свойствам мышц относятся:

- сократимость;
- жёсткость;
- вязкость;
- прочность;
- релаксация.

**Сократимость** – способность мышцы уменьшаться при возбуждении. В результате сокращения мышцы возникает сила тяги.

**Жёсткость** – это способность тела сопротивляться изменению формы при деформации. Сила упругости, возникающая в мышце, не пропорциональна удлинению, как законе Гука. Вначале мышца растягивается легко, а затем даже для небольшого её растяжения необходимо прикладывать большую силу. То есть мышца имеет не постоянную, как в механике жёсткость, а переменную.

**Вязкость** – это свойство оказывать сопротивление перемещению одной части тела относительно другой. Это свойство мышцы вызывает потери энергии во время мышечного сокращения, которые идут на преодоление вязкого трения.

**Прочность** – это способность тела сопротивляться внешнему воздействию, не разрушаясь и не деформируясь необратимо. Предел прочности мышцы – это значение растягивающей силы, при котором происходит разрыв мышцы (таблица 5).

Таблица 5. Предел прочности некоторых тел

<b>Предел прочности</b>	
Скелетные мышцы	20 – 40 Н/см <sup>2</sup>
Сухожилия	4000 – 6000 Н/см <sup>2</sup>
Костная ткань	9000 – 12500 Н/см <sup>2</sup>

Релаксация – это свойство мышцы уменьшать с течением времени силу тяги мышцы при постоянной длине. Характеризуется временем релаксации – это время, в течении которого натяжение мышцы уменьшается в  $e$  раз.

3) **Кожа** – это самый большой орган человека. Он участвует в процессах терморегуляции, обмене веществ, защиты от механических, физических и химических воздействий и др.

Кожа обладает анизотропными и нелинейными свойствами, она постоянно изменяется за счёт процессов роста, старения и протекающих в организме патологических процессов. Она может растягиваться и удлиняться, испытывая большие деформации.

Механические свойства кожи изменяются с возрастом, они различаются у мужчин и женщин, зависят от места нахождения.

4) **Костная ткань** – это основной материал опорно-двигательного аппарата. 2/3 массы костной ткани – это неорганический материал, 1/3 – органический материал, в основном коллаген.

Механические свойства костной ткани: твёрдость, прочность, упругость. Механические свойства кости зависят от возраста, индивидуальных условий роста организма, части организма, питания и др. Плотность костной ткани составляет ~2400 кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости (Юнга) изменяется от 1600 кГ/мм<sup>2</sup> до 2000 кГ/мм<sup>2</sup> в зависимости от участка тела и условий жизни человека (для стали, например, модуль Юнга  $E = 20000$  кГ/мм<sup>2</sup>).