Элементы биомеханики

Биологическая механика изучает закономерности движения и деформации биологических структур и тканей под действием факторов окружающей среды и мышечной системы.

Вопросы, которые рассматриваются в биомеханике:

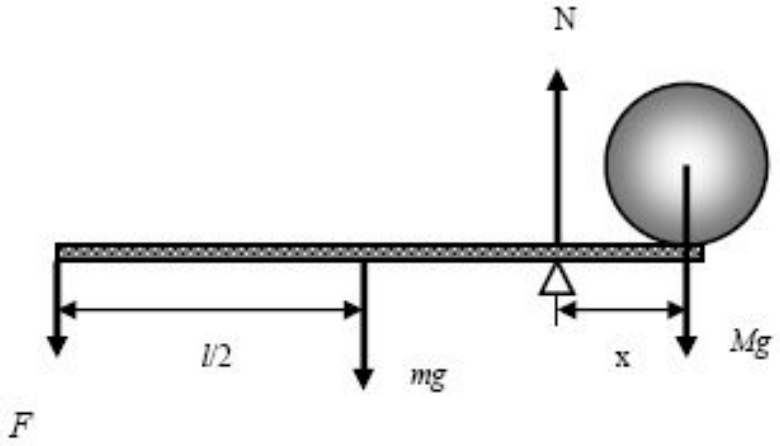
Кинематика и динамика движений человека

Виды деформаций и механические характеристики сред

Особенности механических свойств биологических тканей

Поступательное движение		*Вращательное движение*	
Масса	m	Момент инерции	J
Скорость	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$	Угловая скорость	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$
Ускорение	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	Угловое ускорение	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$
Сила	$\vec{F}$	Момент силы	M_z или $\vec{M}$
Импульс	$\vec{p} = m\vec{v}$	Момент импульса	$L_z = J_z\omega$
Основное уравнение динамики	$\vec{F} = m\vec{a}$ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	Основное уравнение динамики	$M_z = J_z\varepsilon$ $\vec{M} = \frac{dL}{dt}$
Работа	$dA = F_s\,ds$	Работа	$dA = M_z\,d\varphi$
Кинетическая энергия	$\frac{mv^2}{2}$	Кинетическая энергия	$\frac{J_z\omega^2}{2}$

Условие равновесия рычага
Виды костных рычагов



$$F \cdot a = R \cdot b$$

$a < b$ ***рычаг скорости***

$a > b$ ***рычаг силы***

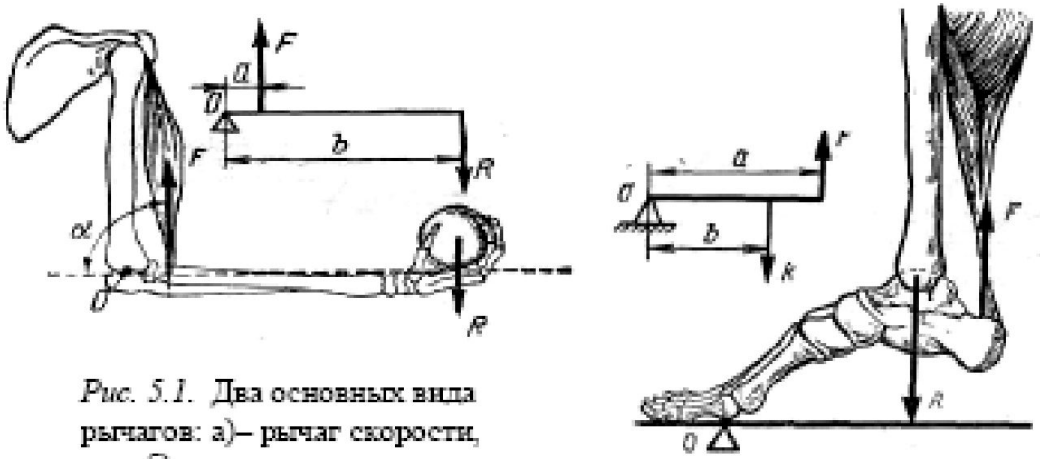
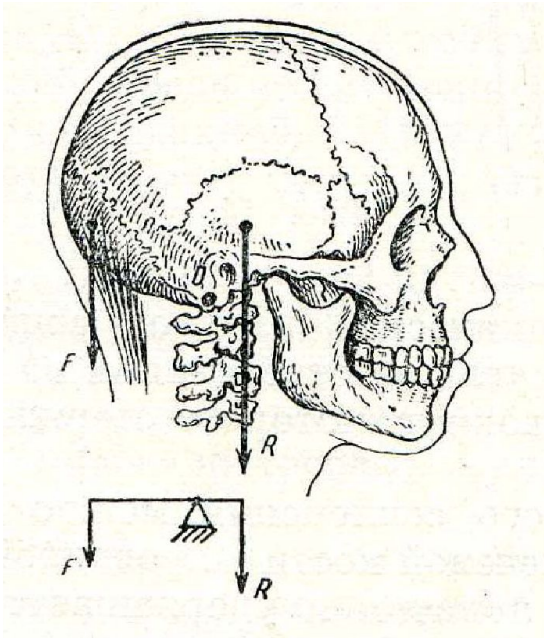


Рис. 5.1. Два основных вида рычагов: а)– рычаг скорости, б) – рычаг силы.



Виды деформаций и физические характеристики упругих тел

Деформация упругая
пластическая

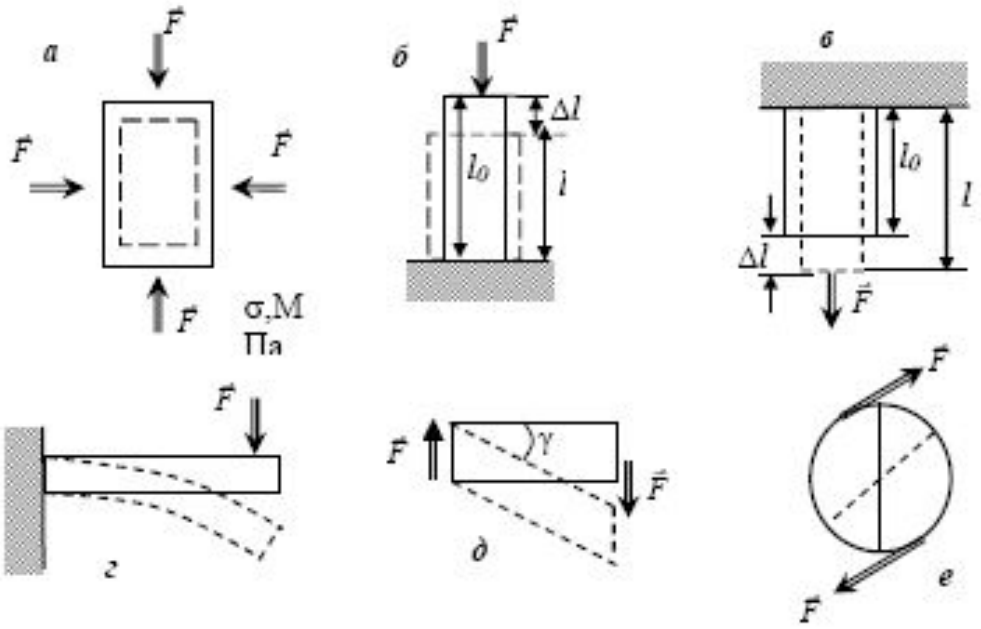


Рис. 5.4. Основные виды деформации твердых тел:
а – всестороннее сжатие; *б* – одноосное сжатие;
в – одноосное растяжение; *г* – изгиб; *д* – сдвиг; *е* – кручение;
направление внешних сил (нагрузок) указано стрелками.

В XVII веке английский физик Гук установил закон: ***упругая сила*** $F_{упр}$, ***возникающая в образце при упругих деформациях, прямо пропорциональна величине деформации.***

$$F = -kx$$

Коэффициент пропорциональности *k* называют *жесткостью*

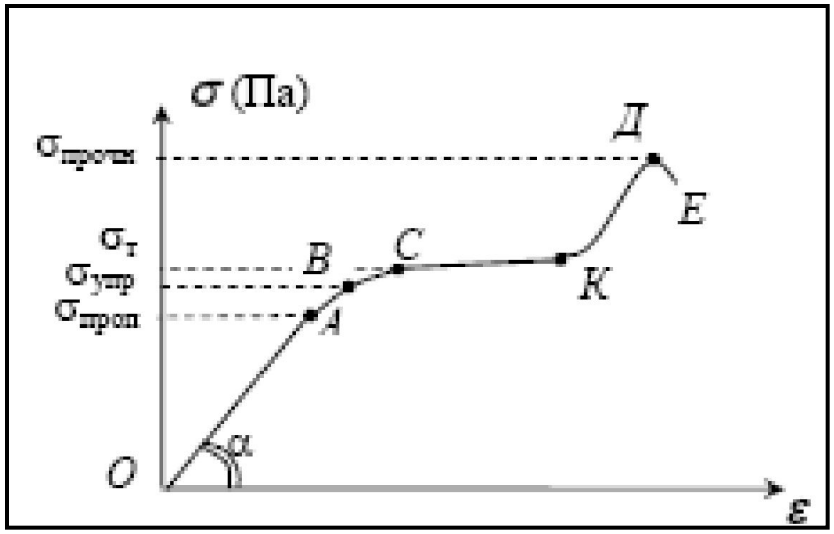
упругость
пластичность
прочность
твердость

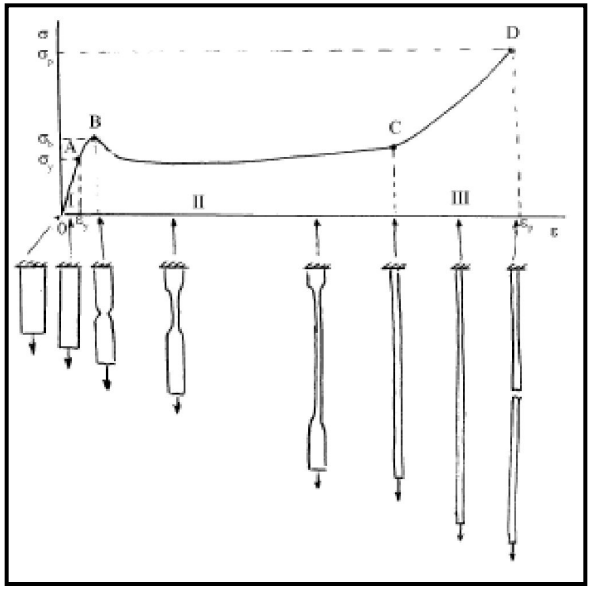
$F_{упр} \rightarrow$ **механическое напряжение** σ

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

E **– модуль упругости (модуль Юнга)**

Диаграмма растяжения





Вещество	Модуль упругости, МПа	Предел прочности на растяжение или сжатие, МПа
Компактное вещество кости	7000–18 000	120–200
Губчатое вещество кости	26–600	3,7–11,4
Суставной хрящ	23–50	10–25

Ткань	Модуль упругости, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, %
Сухожилие	> 100	53	9,7
Кожа	2–40	7,6	78
Аорта в продольном направлении	0,84–3,9	0,7–1	46
Мышца сердца	1	0,11	63,8

Вещество	Модуль упругости, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %
Эластиновые волокна	0,6	1	200
Коллаген	1000	50–100	50

Механические свойства биологических тканей

Значения модуля Юнга некоторых материалов

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Напряжение разрыва, ГПа	Предельное растяжение, %
Углеродное волокно	300	4.0	13
Сталь	200	1.5	8.0
Кевлар	130	3.6	2.7
Латунь	120	0.4	5.0
Резина	0.001	0.05	850
Натуральный шелк	10	1.1	27
Нейлон	5	0.95	18
Шерсть	0.5	0.2	50
Кость	20	0.16	3.0
Коллаген	1.5	0.15	12
Эластин	0.001	0.002	150

	Матрица	**Коллаген**	**Эластин**
Костная ткань	**Гидроксилапатит 50%**	**50%**	
Кожа	**21%**	**75%**	**4%**
Мышцы		**50%**	**50%**
Сосудистая ткань **Сонная артерия** **Бедренная артерия**	**Гладкие мышечные волокна**	 **1** **2**	 **2** **1**

Особенности механических свойств биотканей

1. **Большинство биологических тканей *анизотропно*, т.е. их физические, в том числе и механические свойства неодинаковы в разных направлениях, что обусловлено их неоднородным строением.**

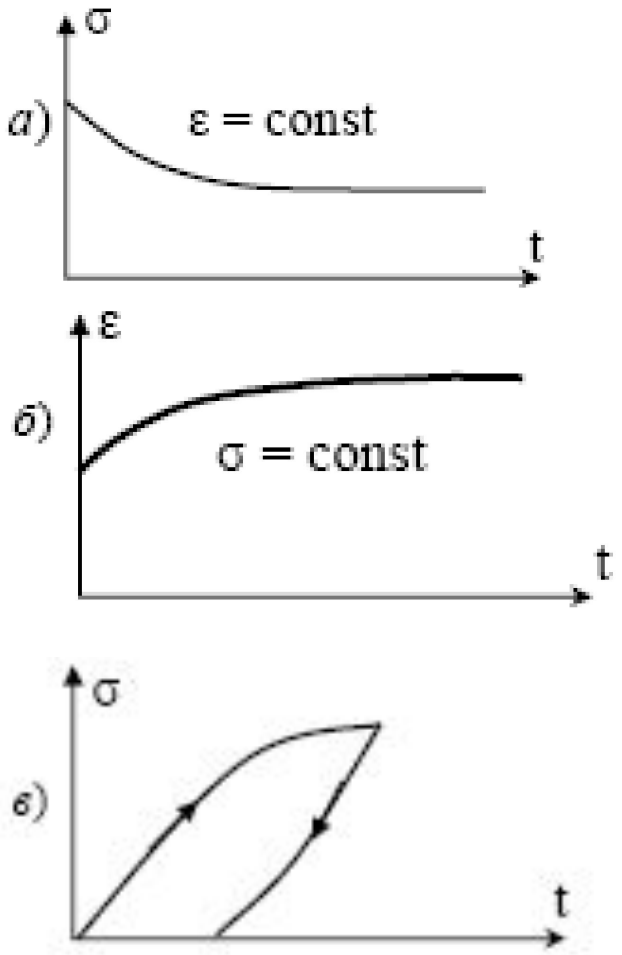
2. Почти для всех биотканей характерны следующие временны́е эффекты при деформировании:

а) при постоянной величине деформации в биотканях со временем происходит *релаксация механического напряжения*;

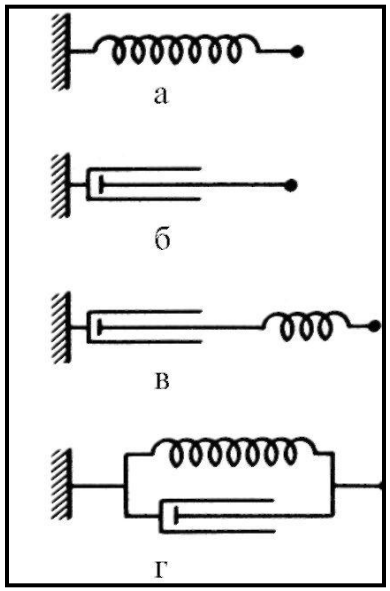
б) при постоянной нагрузке величина деформации со временем увеличивается – это явление называют *ползучестью*;

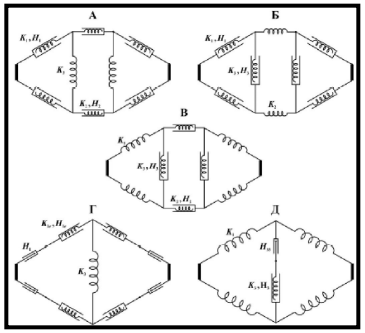
в) зависимостям механического напряжения от деформации при нагрузке и разгрузке соответствуют разные кривые, в результате образуется так называемая петля *гистерезиса*;

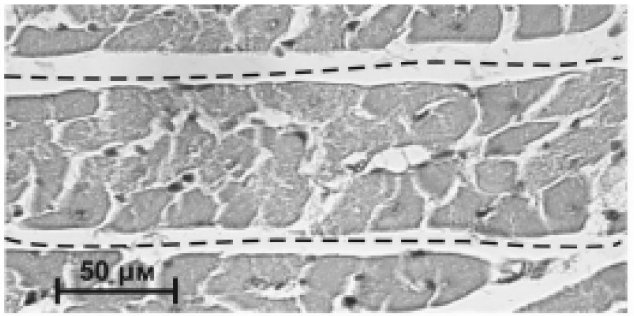
г) механические характеристики биотканей часто *зависят от скорости деформации.*



Моделирование механических свойств биологических тканей







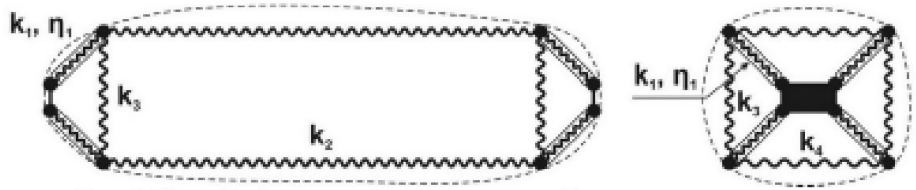
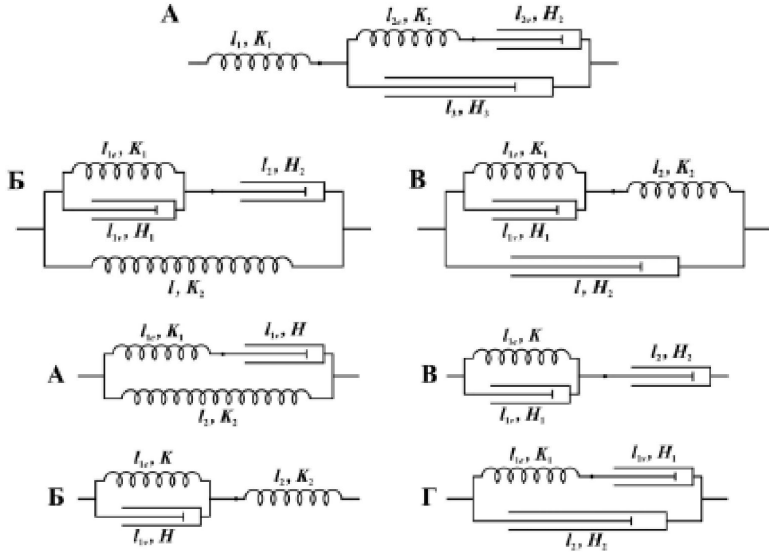


Рис. 4.44. Выбор геометрии модели. Вверху – гистологические срезы контрольного препарата папиллярных мышц крысы: слева продольный срез препарата,



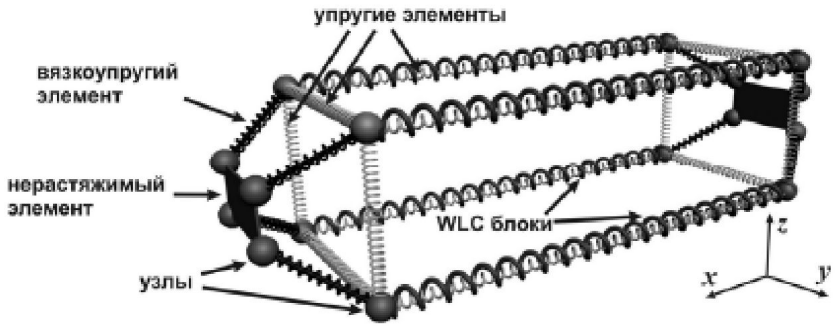


Рис. 4.47. Модель морфофункциональной единицы миокарда.

Разделы и направления медицины, для которых особо важно иметь представление о механических свойствах биологических тканей:

- **результативность спортивных достижений и ее возрастание побуждают спортивных медиков обращать внимание на физические возможности опорно-двигательного аппарата человека;**
- **механические свойства тканей необходимо учитывать гигиенистам при защите человека от действия вибраций;**
- **в протезировании при замене естественных органов и тканей искусственными также важно знать механические свойства и параметры биологических объектов;**
- **в судебной медицине следует знать устойчивость биологических структур по отношению к различным деформациям;**
- **в травматологии и ортопедии вопросы механического воздействия на организм являются определяющими.**