

## Лекция 3

# БИОМЕХАНИКА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА



## ПЛАН ЛЕКЦИИ



1. Строение, свойства и функции костей, суставов, связок и мышц
2. Биомеханическая модель тела человека: звено, пара, цепь
3. Рычаги и маятники в теле человека





СЖАТИЕ



ИЗГИБ

1

**Нагрузки, действующие на опорно-двигательный аппарат человека:  
статические и динамические**

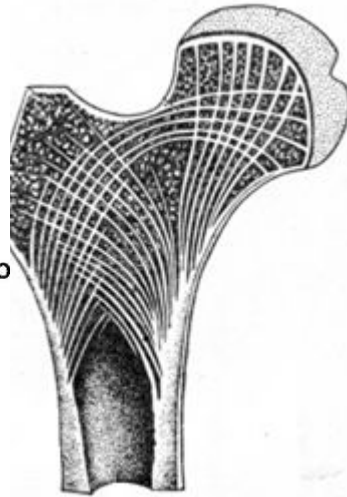
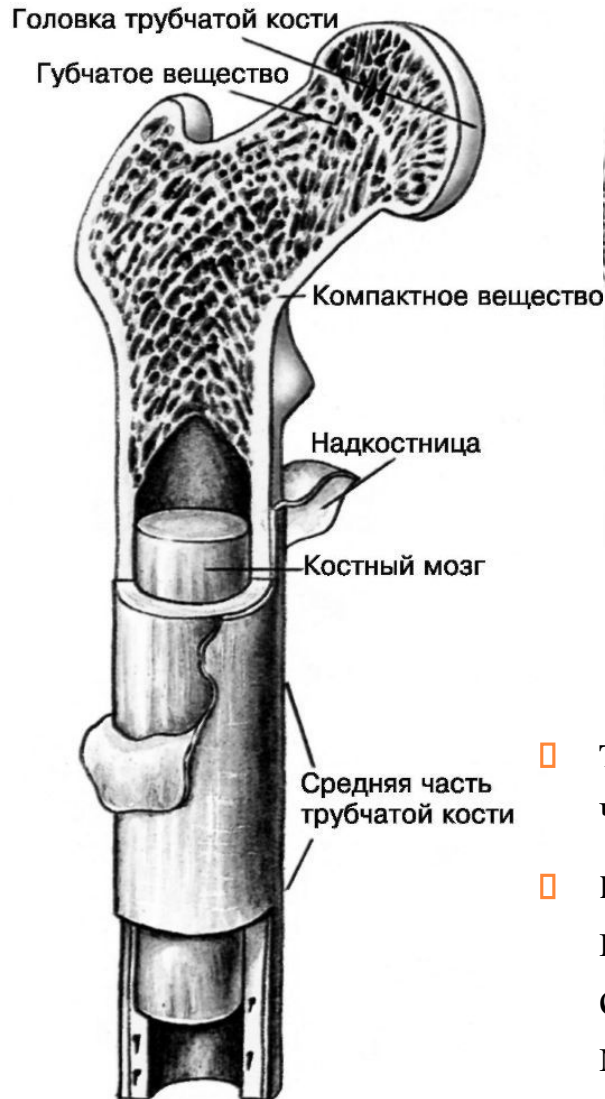


РАСТЯЖЕНИЕ



КРУЧЕНИЕ

# СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСТЕЙ



## □ прочность

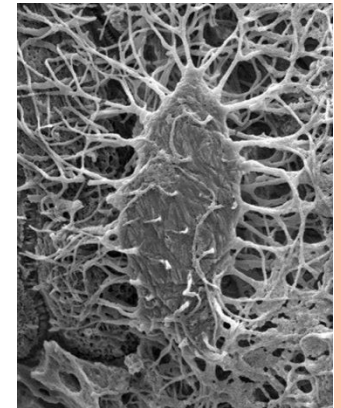
- на сжатие -  $1260-1680 \text{ кг/см}^2$
- растяжение -  $1240 \text{ кг/см}^2$
- кручение –  $700-930 \text{ кг/см}^2$
- изгиб –  $500 \text{ кг/см}^2$

□ хрупкость проявляется при деформации более 2% от исходной длины

□ плотность увеличивается до 25-30 лет, с 35 до 45 не изменяется, после 45 происходит разрежения костной ткани на 1% в год

□ твердость у мужчин на 10-12% выше, чем у женщин

□ пьезоэлектрические свойства компактного вещества проявляются в создании электромагнитного поля при механическом нагружении



## СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОДВИЖНЫХ (СИНОВИАЛЬНЫХ) СОЕДИНЕНИЙ КОСТЕЙ



**Коэффициент трения** между суставными хрящами – 0,01-0,02, в присутствии синовиальной жидкости - 0,005-0,012

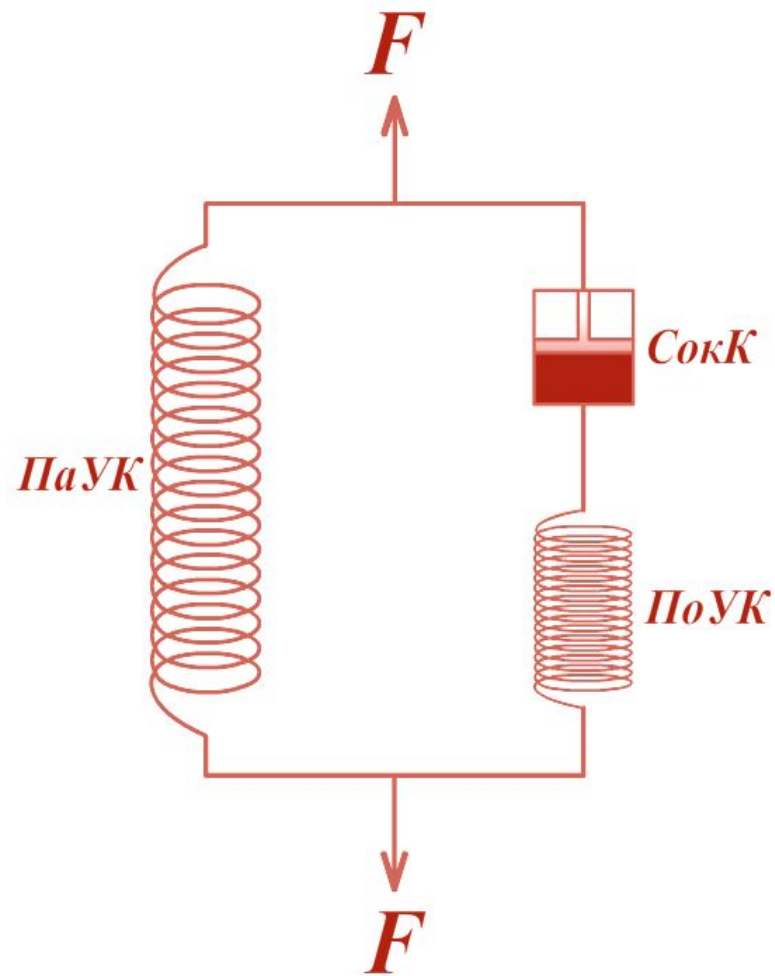
**Удельный вес** синовиальной жидкости -  $1,07 \times 10^4$  Н/м<sup>3</sup>, относительная вязкость колеблется от 5,7 до 1160.

Суставной хрящ выдерживает **нагрузку на растяжение** - 151,0 кг/см<sup>2</sup>, **сжатие** - 272,0 кг/см<sup>2</sup>.


**Упругость** суставного хряща меняется от 2,3 до 50 МПа, а **модуль сдвига** – от 0,4 до 4,1 МПа



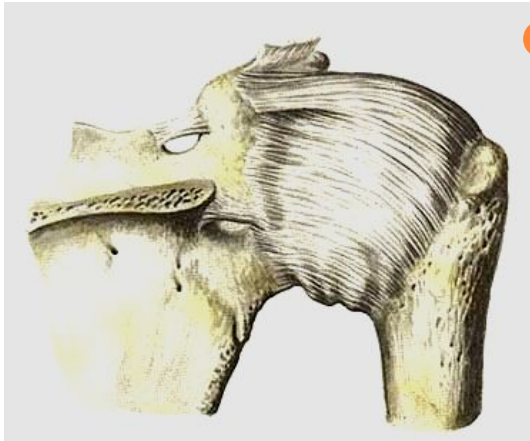
# МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЫШЦЫ



# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОКРАТИТЕЛЬНОГО КОМПОНЕНТА (СоК)

- биологические: возбудимость, сократимость, релаксация;
  - собственно механические и квазимеханические (*квази...* - почти):
    - **упругость**. Коэффициент упругости от 10 до 120 кг/см<sup>2</sup>;
    - **пластичность** – проявляется в большой растяжимости и малой потере энергии при растяжении;
    - **жесткость**. Коэффициент жесткости от 5 до 38 кг/см;
    - **прочность**. Разрыв мышцы происходит при силе 1-4 кг/см<sup>2</sup>
    - **податливость**;
    - **ползучесть** – при неизменном напряжении мышца со временем удлиняется;
    - **вязкость** – запаздывание деформации;
    - **демпфирование**;
    - **релаксация** – уменьшение напряжения при неизменной длине
- 

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО (ПоУК) И ПАРАЛЛЕЛЬНО УПРУГИХ (ПаУК) КОМПОНЕНТОВ



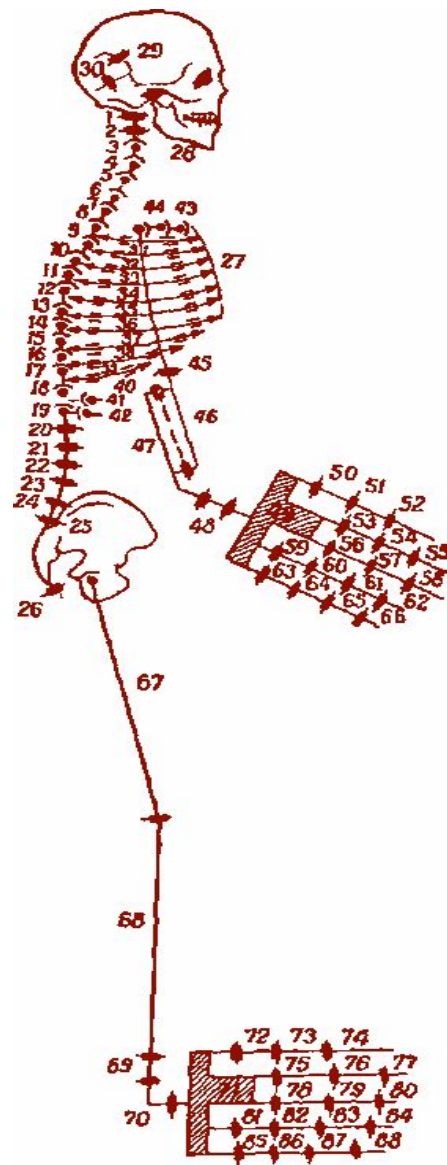
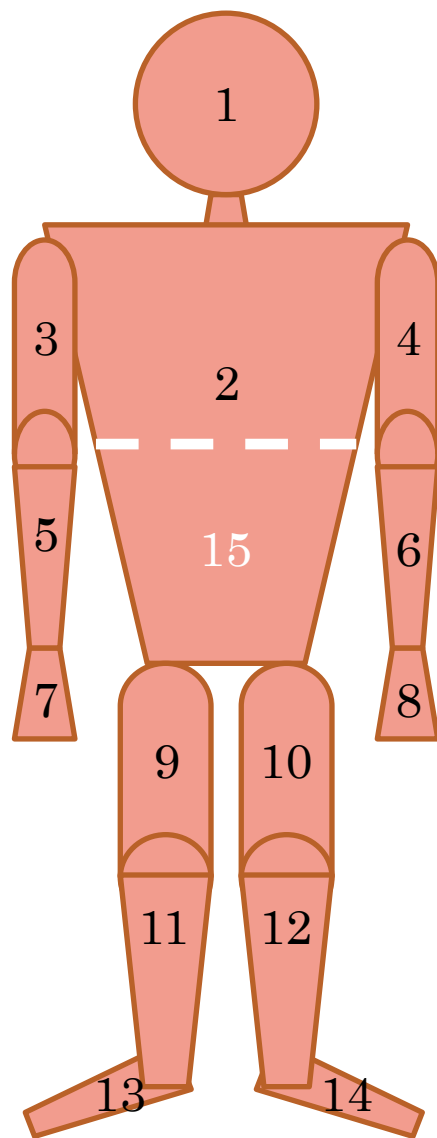
- **предельная прочность.** Предел прочности сухожилий составляет 40-60 кг/см<sup>2</sup>, а фасций – 14 кг/см<sup>2</sup>

- **предельное удлинение.** При изменении длины от 2 до 5% от исходного значения приводит к микрповреждениям





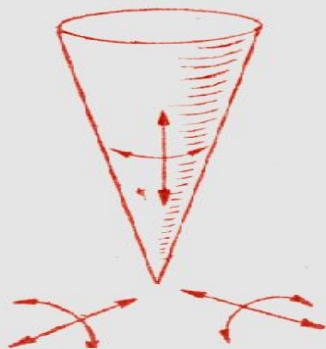
# БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА



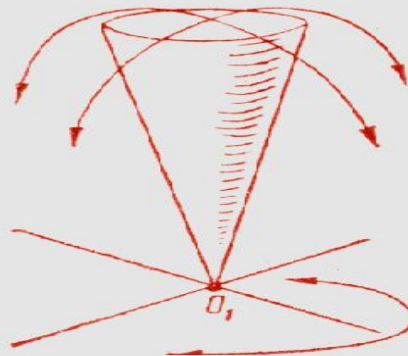
# ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ В СУСТАВАХ

## степени свободы

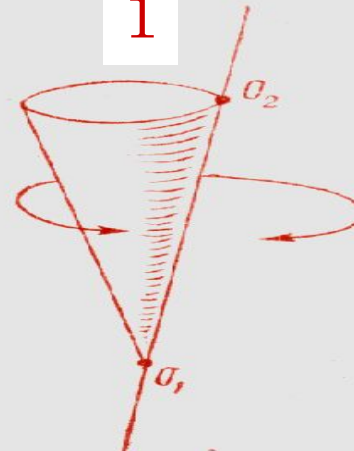
6



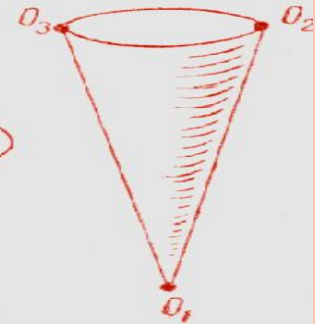
3



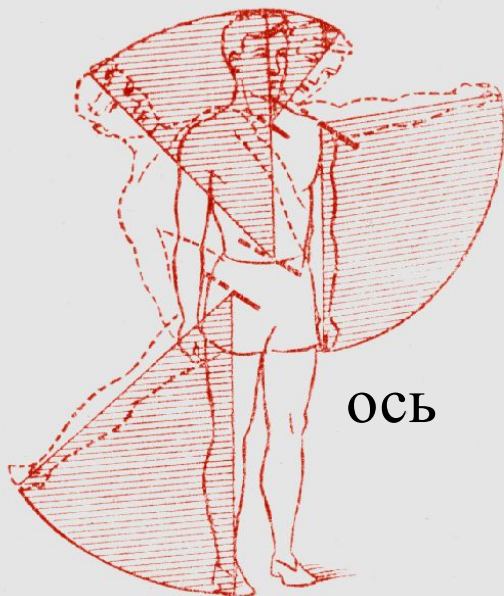
1



0

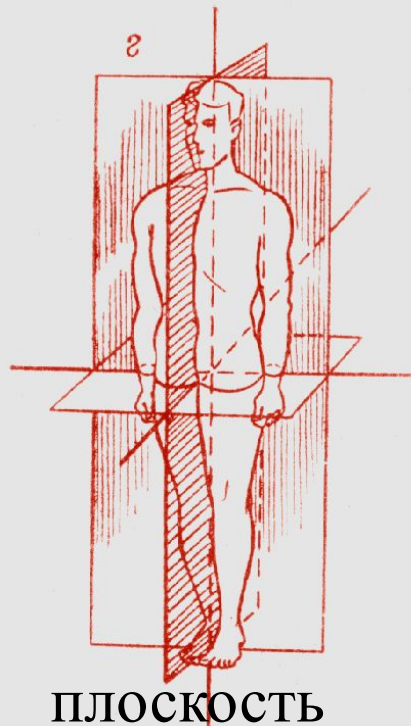


8

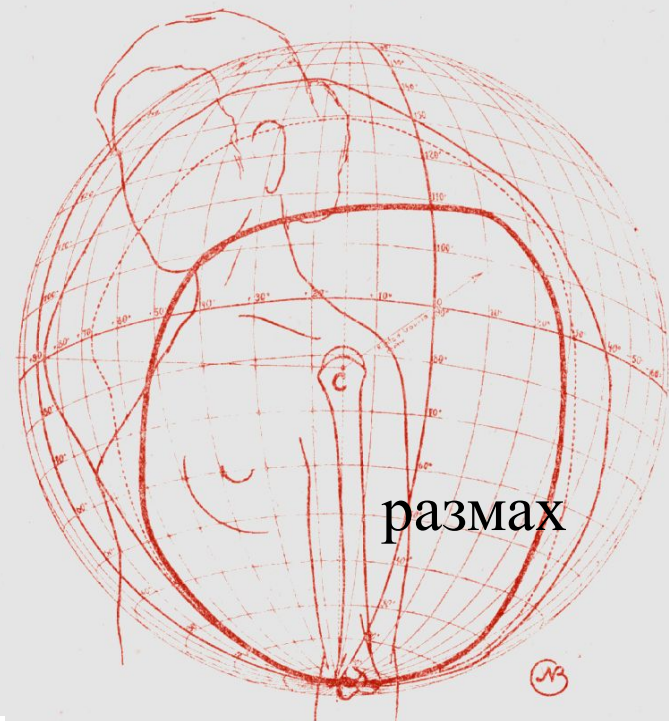


ось

8



ПЛОСКОСТЬ



размах

## ФОРМУЛА РАСЧЕТА СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ В БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

$$N = 6n \times \sum_{i=3}^5 ik_i$$

где:

$N$  – количество степеней свободы,

$n$  – число подвижных звеньев (костей),

$k_i$  – суставы, принадлежащие к определенным классам,

$i$  – число ограничений (связей) степеней свободы:

$i=3$  (для сустава с 3-мя наложенными связями и 3-мя степенями свободы),

$i=4$  (для сустава с 4-мя наложенными связями и с 2-мя степенями свободы),

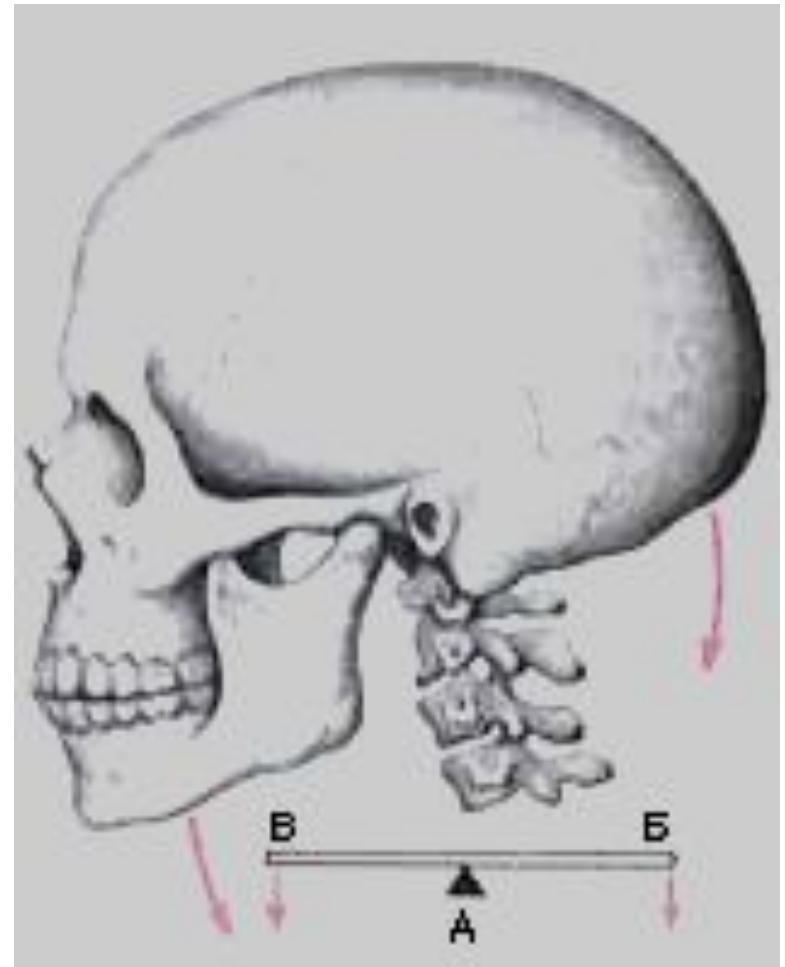
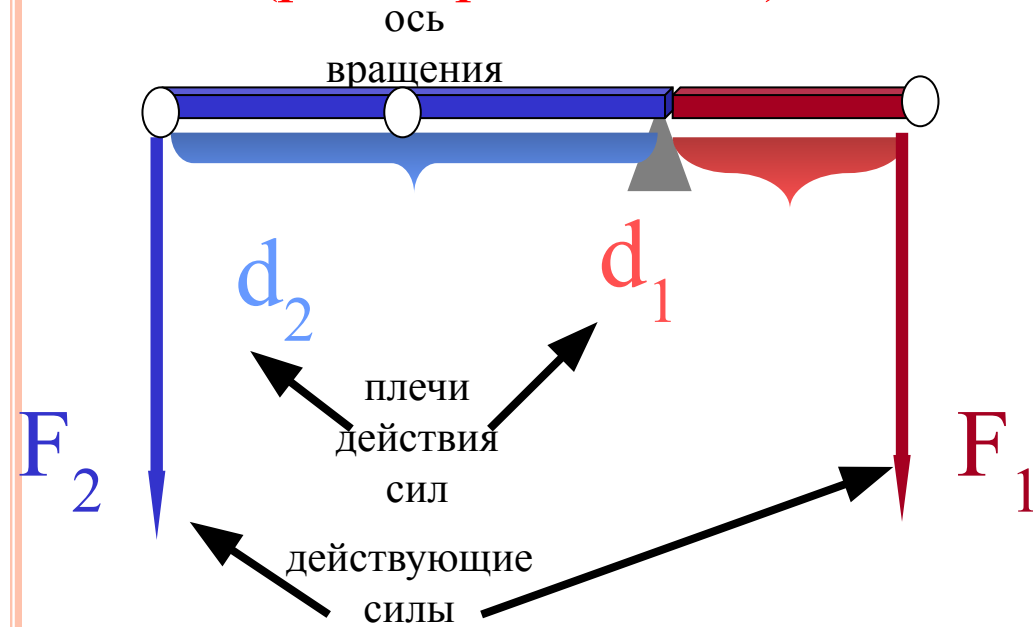
$i=5$  (для сустава с 5-ю связями и 1-ой степенью свободы)



# РЫЧАГИ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

## Рычаг первого рода

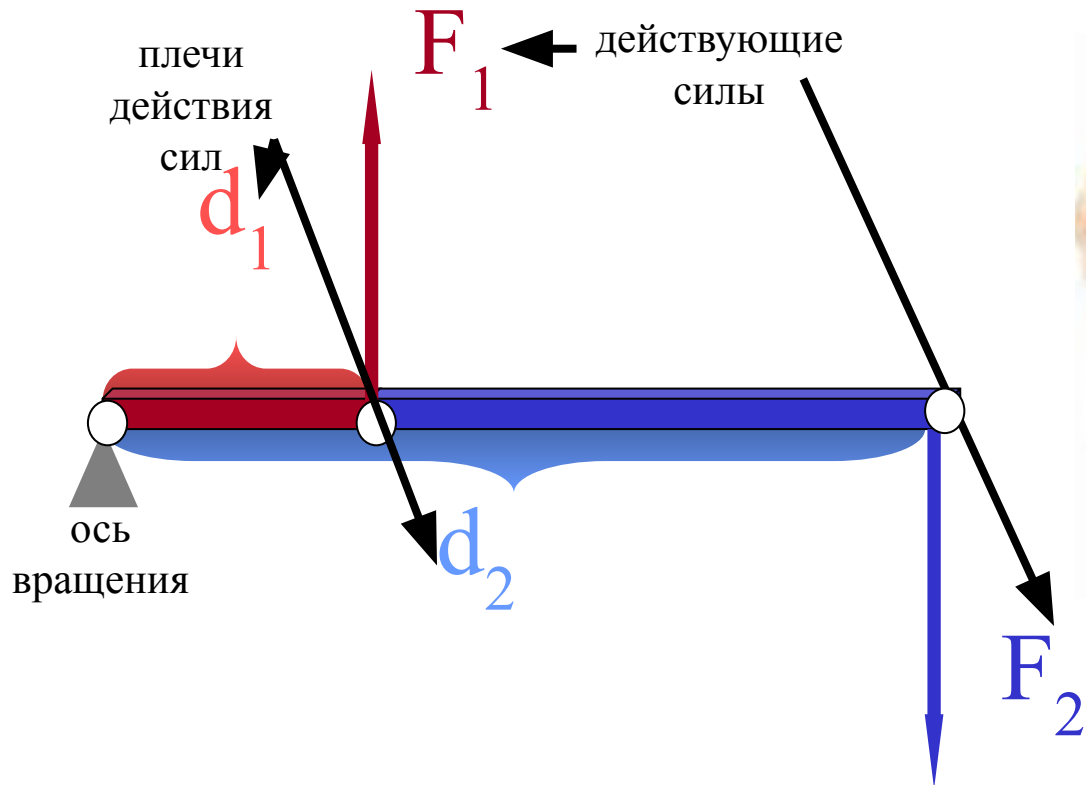
(рычаг равновесия)



# РЫЧАГИ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

## Рычаг второго рода

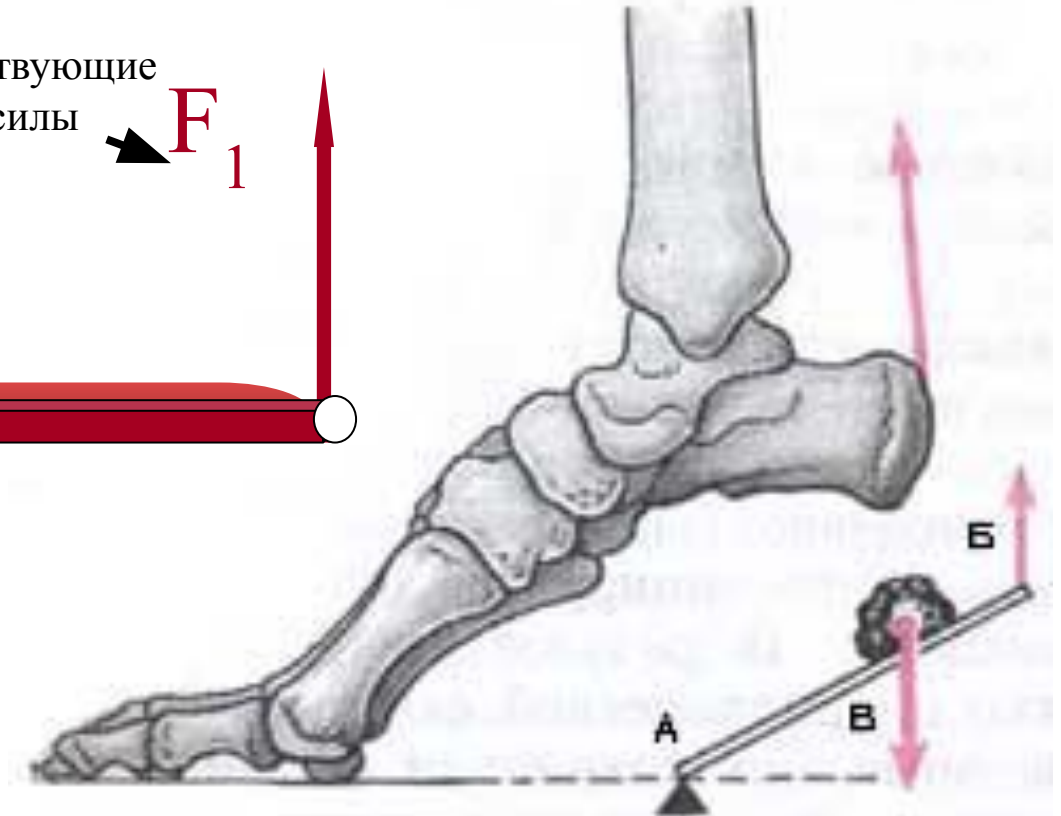
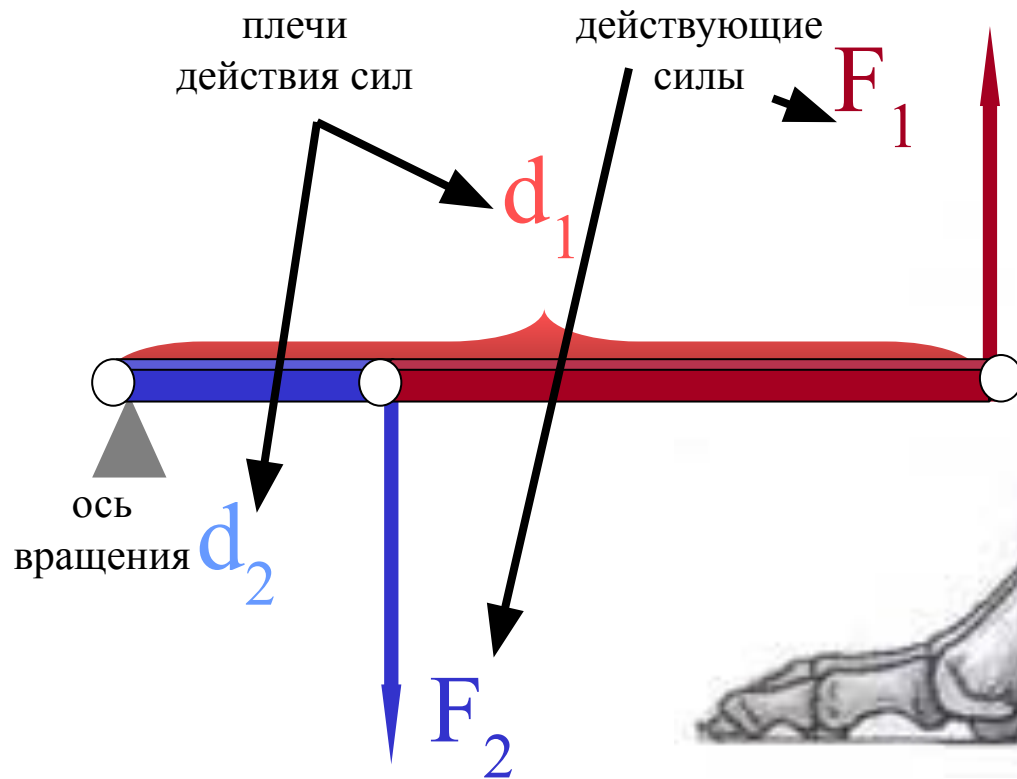
(рычаг скорости)



# РЫЧАГИ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

## Рычаг третьего рода

(рычаг силы)

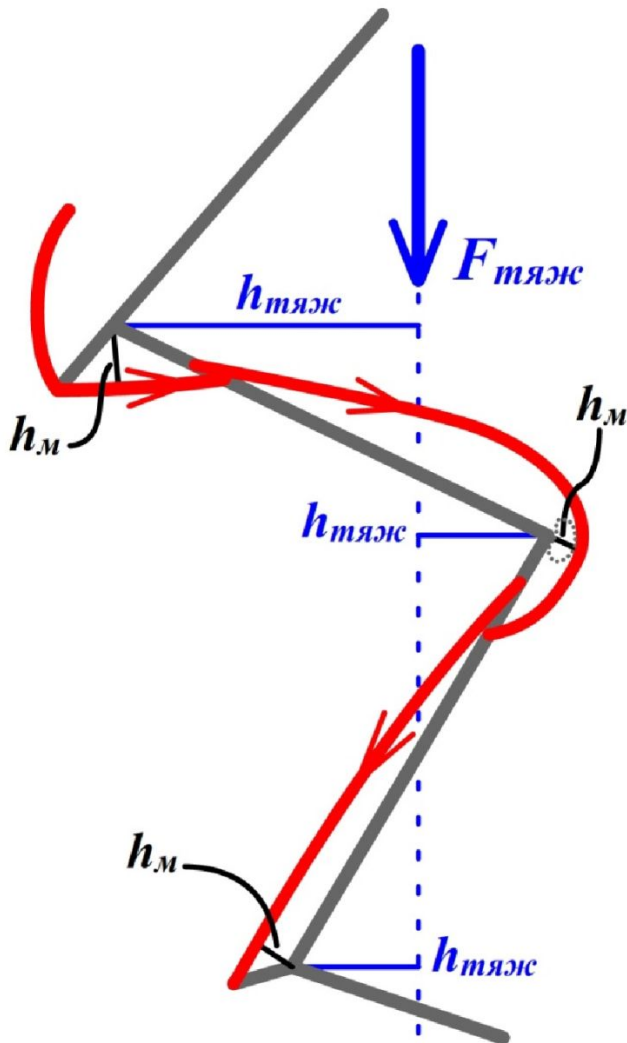


# СОСТАВНЫЕ РЫЧАГИ

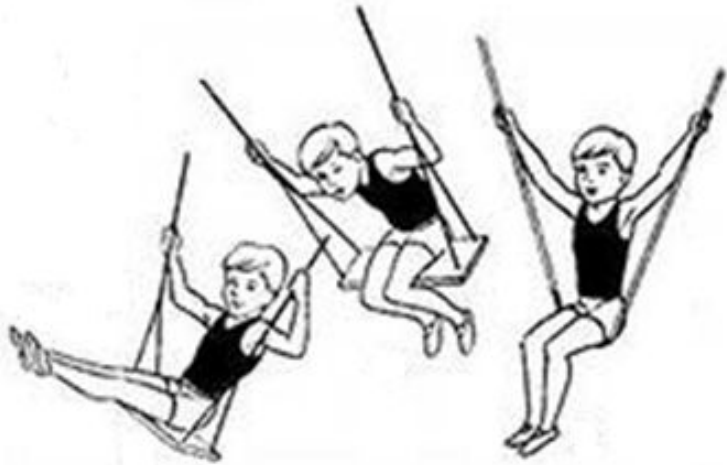
Составной рычаг состоит из нескольких рычагов. При совместной работе этих рычагов развивается совместная сила  $F$ . Для ее вычисления используют формулу:

$$F = \frac{sF_1}{l}$$

где  $s$  – удлинение сложного рычага,  
 $l$  – общая длина составного рычага,  
 $\alpha$  – угол между звеньями составного рычага



# МАЯТНИКИ



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgr}} = 2\pi \sqrt{\frac{\cancel{mr^2}}{\cancel{m}rg}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$$

где:

$I$  – момент инерции маятника относительно оси вращения,

$m$  - масса маятника,

$g$  - ускорение свободного падения,

$r$  - радиус от оси вращения до центра масс маятника





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

