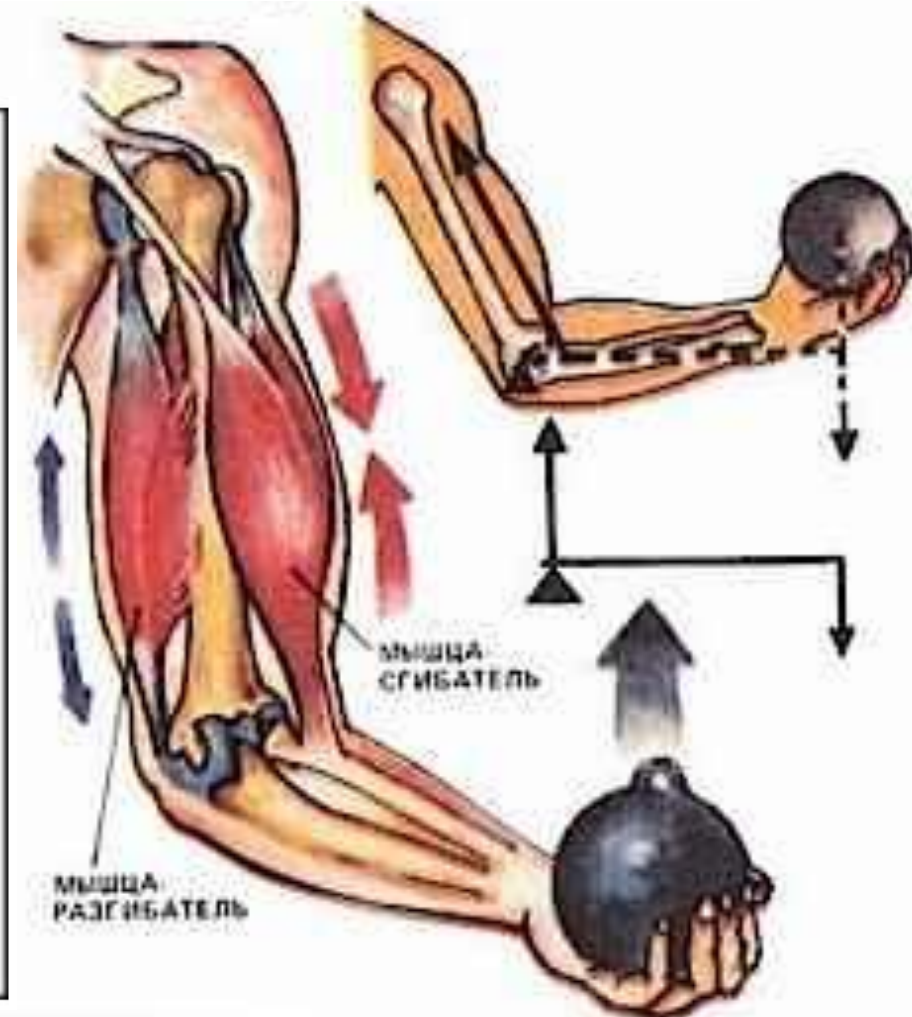
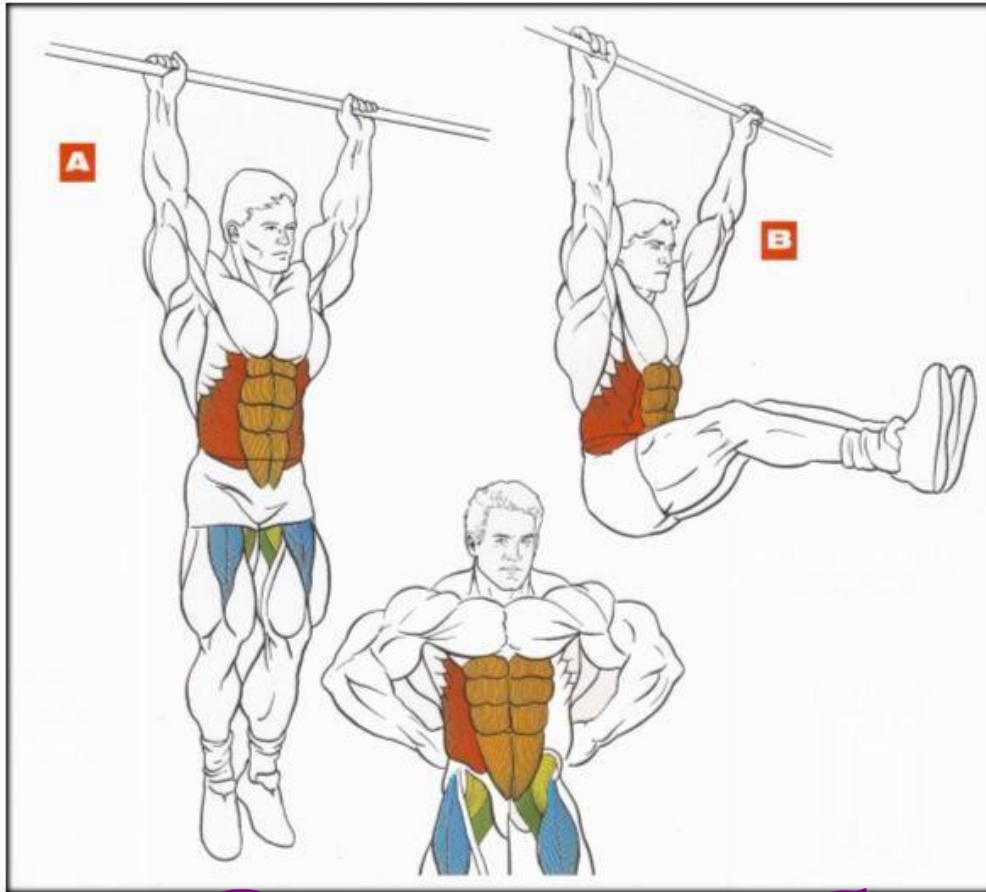


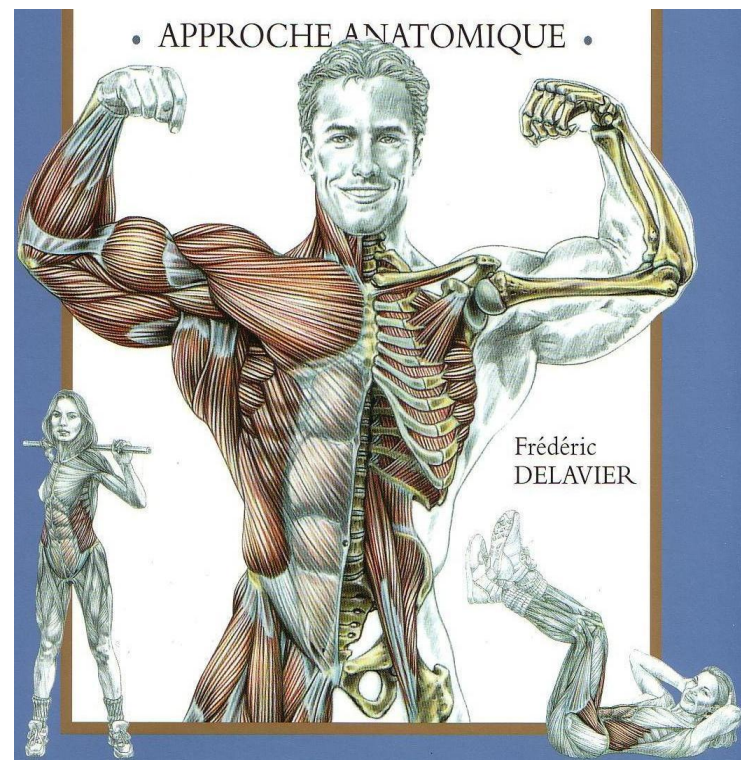


# Основы биомеханики

Лектор: Елясин Павел Александрович

# План лекции

1. Введение
2. Основные принципы биомеханики
3. Рычажный принцип работы ОДА
4. От чего зависит реальный эффект действия мышц
5. Мышечная координация движений
6. Виды работы мышц
7. Кинематические цепи
8. Центр тяжести человека
9. Понятие об осанке



# Литература

## Основная литература:

1. **Привес М.Г.** Анатомия человека. 2009. – 720 с.
2. **Анатомия человека.** Под ред. **М.Р. Сапина.** 2001. Том. 1. – 632 с.

## Дополнительная литература

1. **Зациорский В. М. Аруин А. С. Селуянов В. Н.** Биомеханика двигательного аппарата человека. 1981. – 143 с.
2. **Дубровский В.И., Федорова В.А.** Биомеханика: Учебник для ВУЗов. 2008. - 669 с.
3. **Уткин В. Л.** Биомеханика физических упражнений. М.: «Просвещение» 1989. – 210 с.
4. **Васильева Л.Ф.** Мануальная диагностика и терапия. Клиническая биомеханика и патобиомеханика. 1999. - 400 с.
5. **Кашуба В.А.** Биомеханика осанки. 2003. - 279 с.

# Цель лекции

Изучить механизмы движения человека, а также механические явления в тканях, органах и системах.

Данные медицинской биомеханики служат основой для:

1. лечебной физкультуры;
2. ортопедии и травматологии;
3. валеологии;
4. конструирования протезов и т.д.





**“...Пусть книга о началах механики предшествует твоим исследованиям тела, дабы ты мог каждое положение анатомии объяснить с геометрической ясностью”**

**Леонардо да Винчи**



Джованни Альфонсо Борелли  
(Borelli Giovanni Alfonso, 1608—1679)  
итальянский анатом, физиолог,  
физик и математик, ученик Галилея.

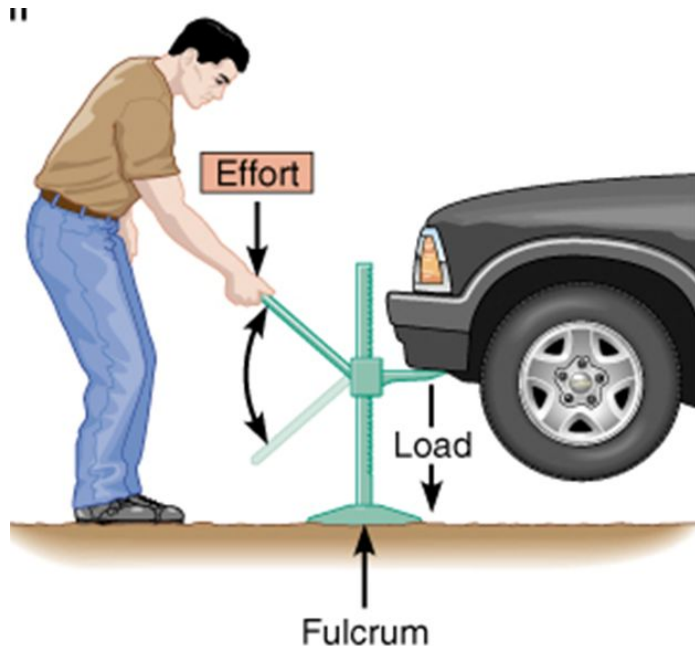
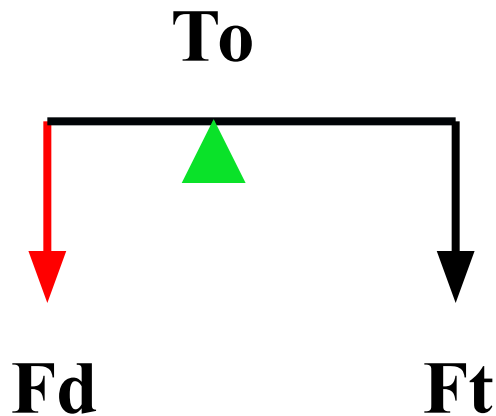
Разрабатывал вопросы  
анатомии и физиологии  
человека и животных с  
позиций математики и  
механики.

Свои взгляды  
Д. Борелли изложил в  
книге «**О движении  
животных**» (1679)  
(*De motu animalium*).

# Основные принципы биомеханики

1. Движение в суставах определены их формой
2. Усилие мышечного сокращения направлено:
  - а) вдоль мышцы
  - б) перпендикулярно к оси сустава
  - в) к неподвижной точке на кости (**punctum fixum**)
3. Кости, суставы и мышцы образуют рычаги двигательного аппарата. **Весь суставной аппарат рассматривается как система рычагов.**

# РЫЧАГ

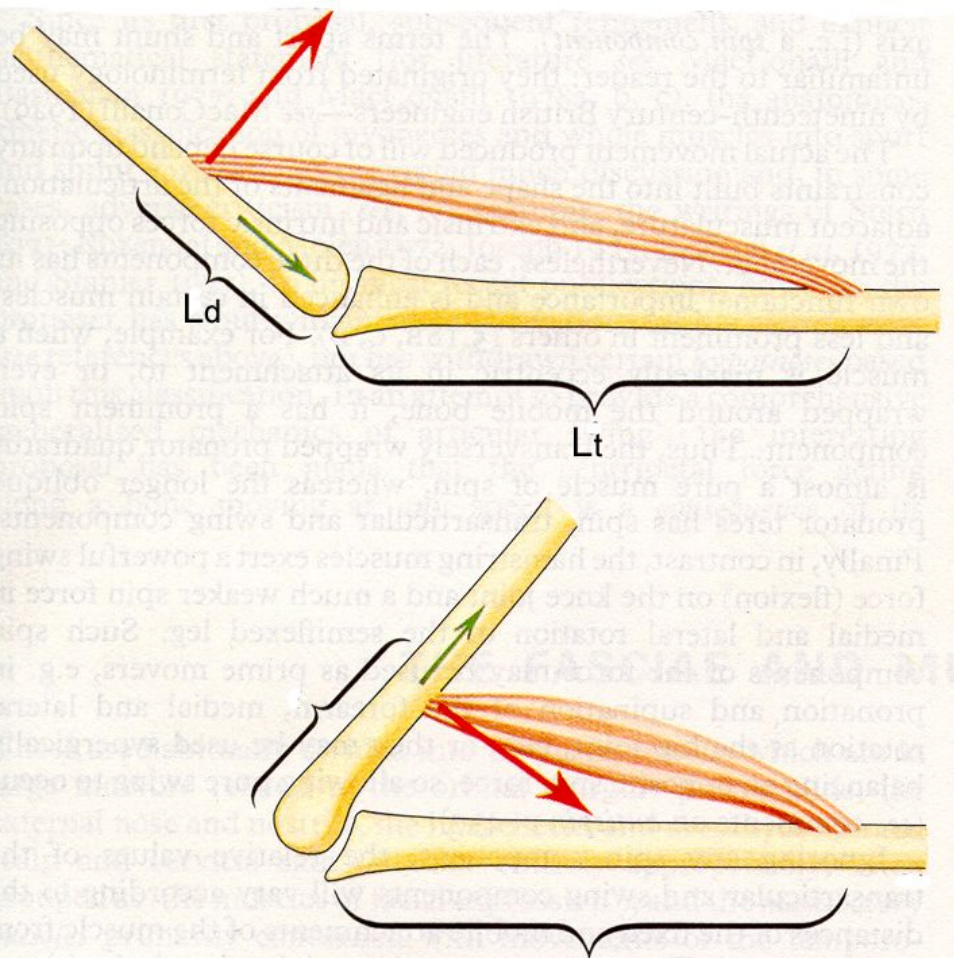


$To$  – точка опоры или  
точка вращения

$Fd$  - сила мышечного  
сокращения

$Ft$  - точка приложения  
противодействующей  
силы или **силы  
тяжести**

# Плечо силы



**Плечо силы – это кратчайшее расстояние от точки опоры до линии действия силы:**

**LFd – плечо действующей силы**

**LFt – плечо противодействующей силы**

# МОМЕНТ СИЛЫ

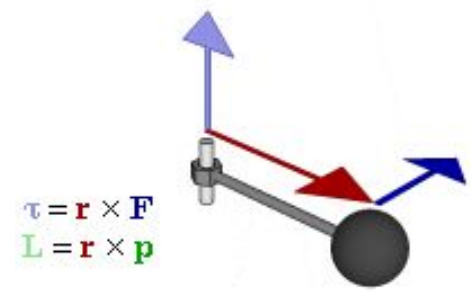
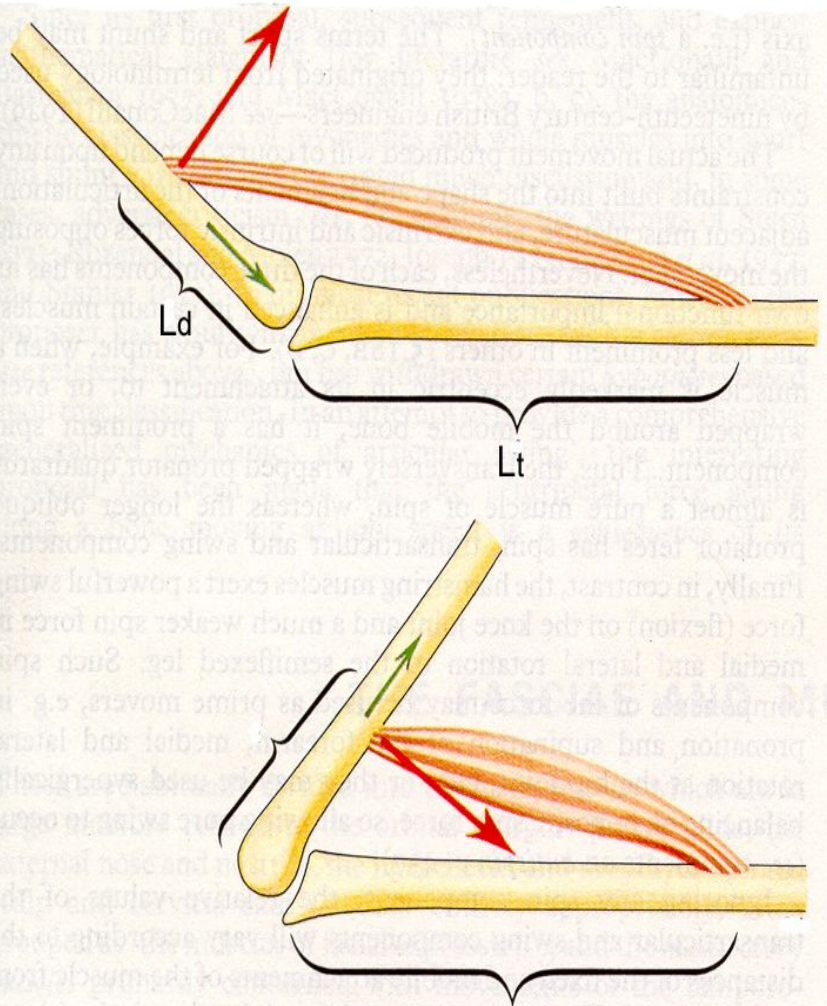
– величина,  
характеризующая  
вращательный эффект  
силы при действии ее на  
рычаг.

$$M = F \times L$$

где

**F** – сила,

**L** – плечо силы



# Свойства рычага

Условие равновесия рычага:

$$\Sigma M = 0 \quad \text{или} \quad MF_t = MF_d$$

При движении:

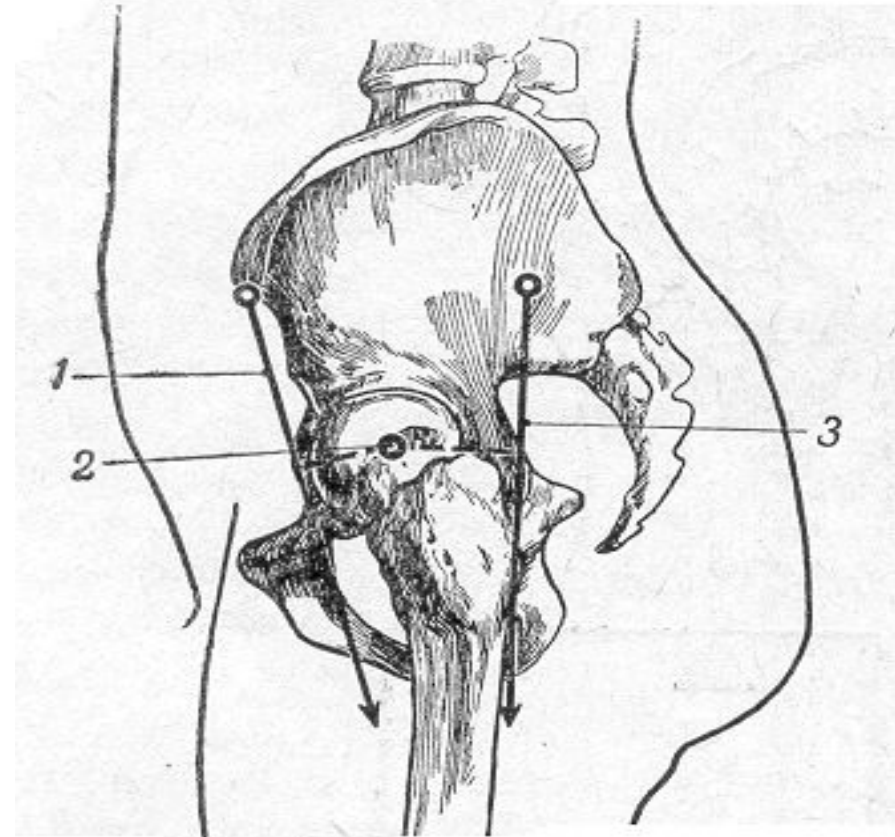
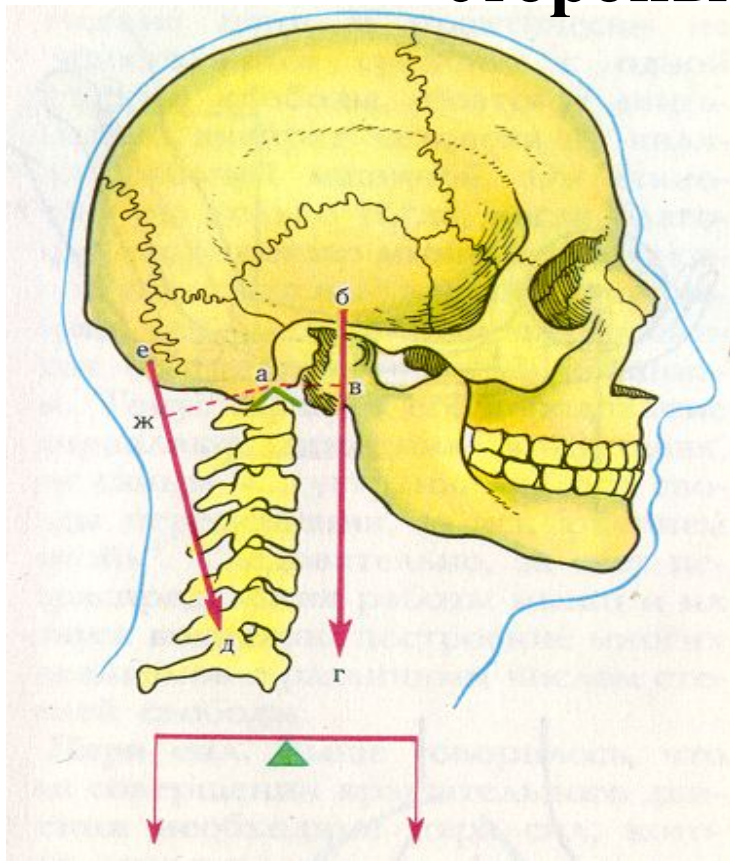
- ✓ это равенство нарушается и рычаг вращается в направлении той силы, момент которой больше
- ✓ чем больше момент силы, тем больше эффект действия мышцы

# Виды рычагов

## РЫЧАГ 1 РОДА = РАВНОВЕСИЯ

### Двуплечий

(точки приложения сил располагаются по разные стороны от точки опоры)



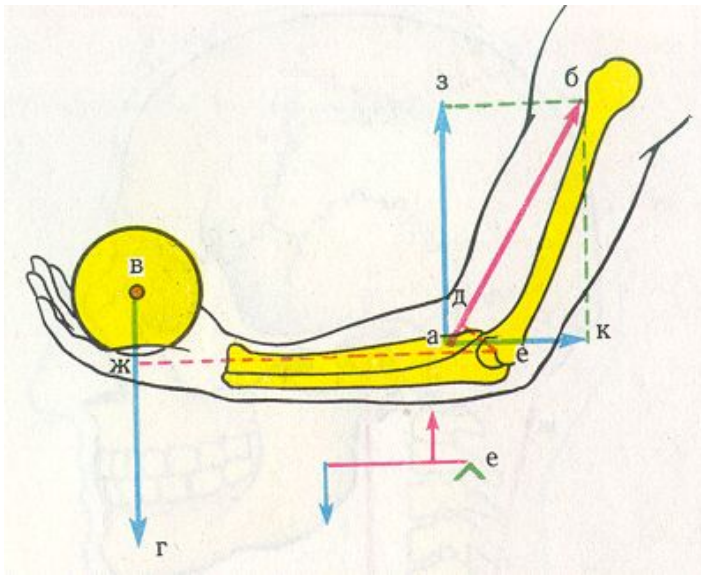
# Виды рычагов

## РЫЧАГИ 2 РОДА

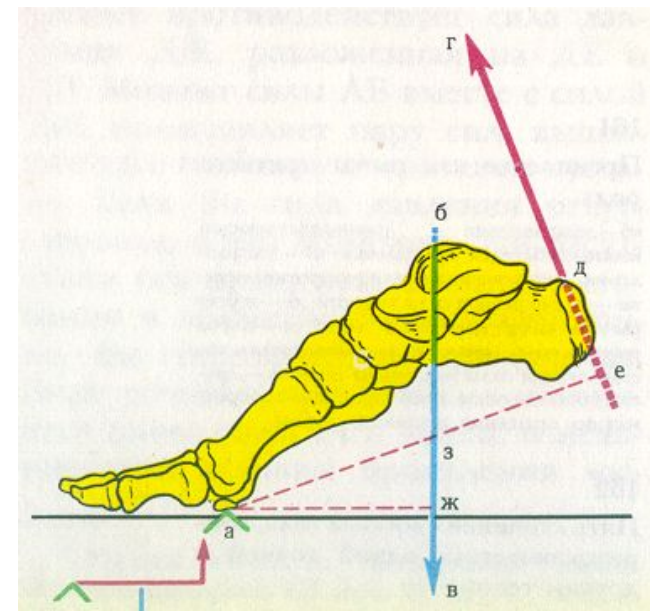
### Одноплечие

(точки приложения сил располагаются по одну сторону от точки опоры)

РЫЧАГ  
СКОРОСТИ =  
ЛОВКОСТИ



РЫЧАГ СИЛЫ



# РЫЧАГ РАВНОВЕСИЯ (1 РОДА )

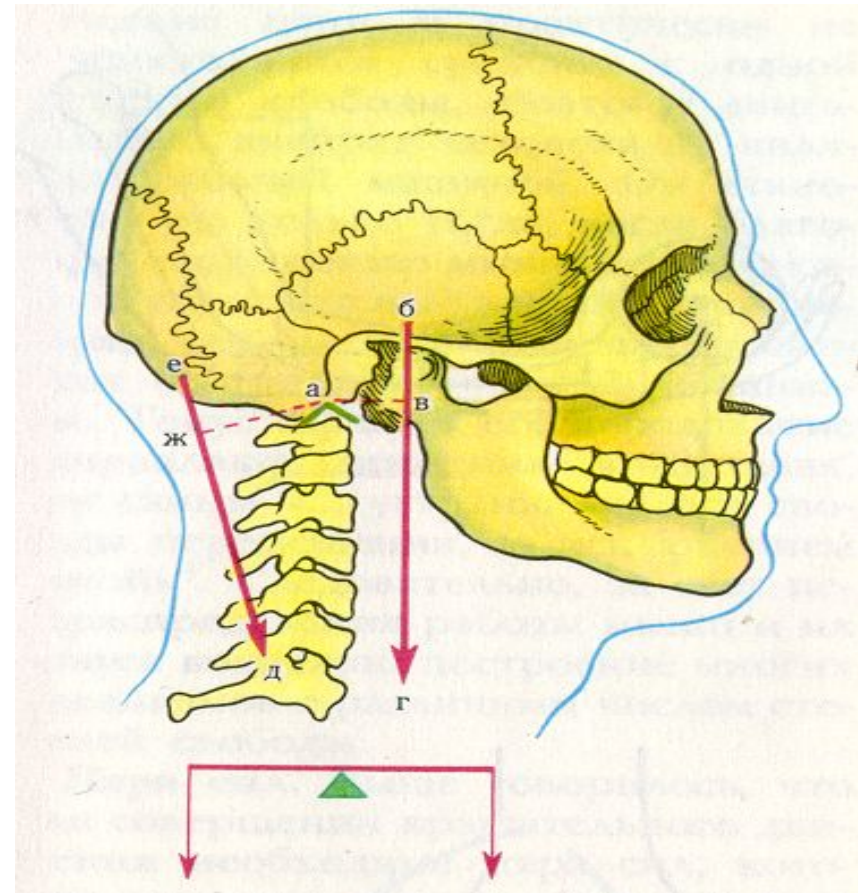
**To** – вертикаль из ЦТ  
проходит спереди от  
фронтальной оси сустава

**Ft** – направление силы  
тяжести

**Fd** – направление  
равнодействующей  
мышечной силы

**LFt** – плечо силы тяжести

**LFd** – плечо мышечной силы



# РЫЧАГ РАВНОВЕСИЯ (1 РОДА )

**Равновесие** -  $MF_t = MF_d$

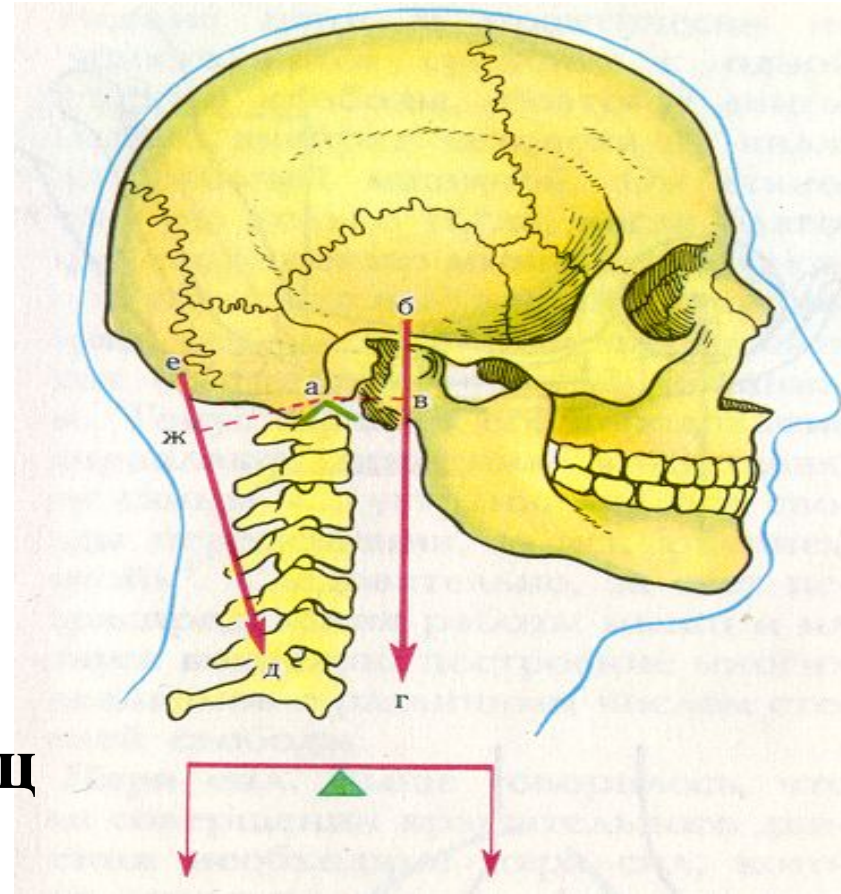
силы направлены в одну сторону

**Сгибание** -  $MF_t > MF_d$

если мышцы шейной области расслабляются

**Разгибание** –  $MF_t < MF_d$

если увеличивается тяга мышц шейной области



# РЫЧАГ СИЛЫ (2 РОДА)

**To** – головки плюсневых костей

**Fd** – направление действующей силы

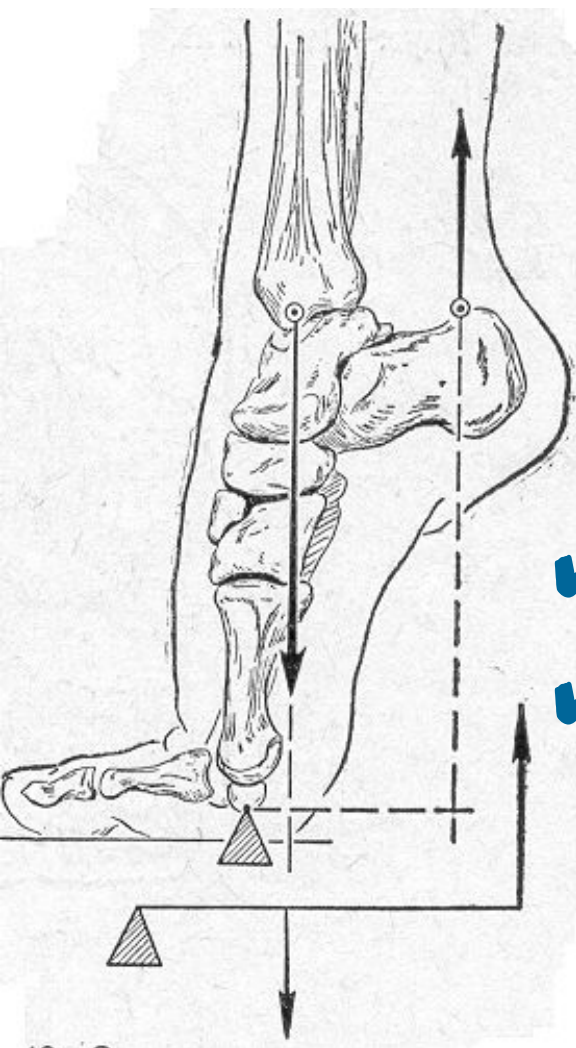
**Ft** – направление силы тяжести

**LFt, LFd** – плечи сил

**LFd > LFt**, следовательно, **MFd > MFt**

✓ выигрыш - в силе

✓ минус - в малой амплитуде и в скорости движения.



# РЫЧАГ СКОРОСТИ (2 РОДА)

**To** – локтевой сустав

**Ft** – направление силы тяжести

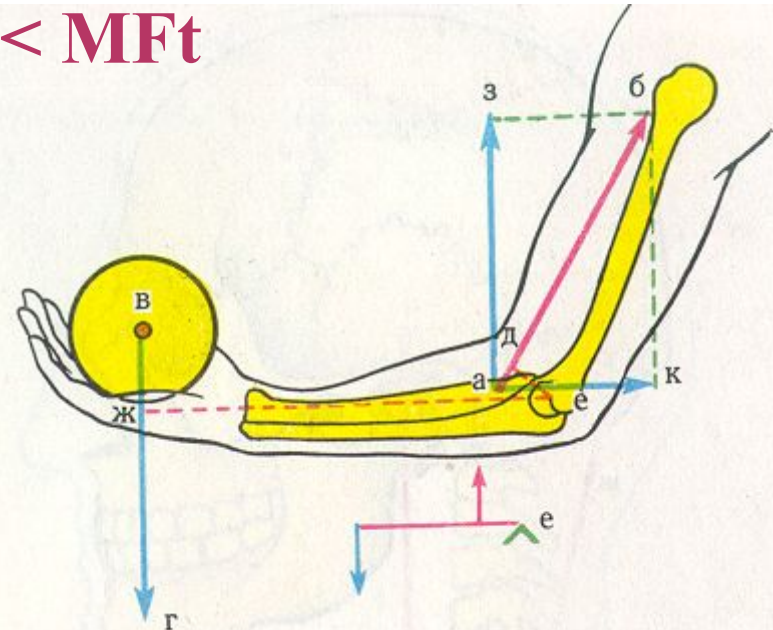
**Fd** – направление равнодействующей мышечной силы

**LFt, LFd** – плечи сил

**LFd < LFt**, следовательно, **MFd < MFt**

✓ выигрыш - в амплитуде движения, в скорости, ловкости

✓ минус - малая действующая сила.

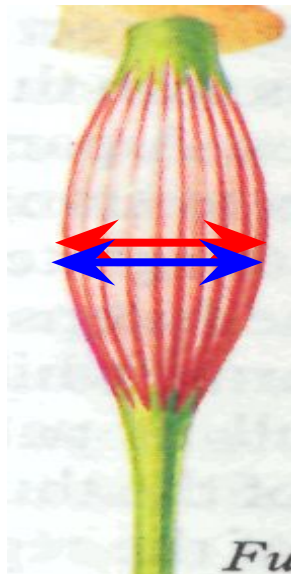


# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

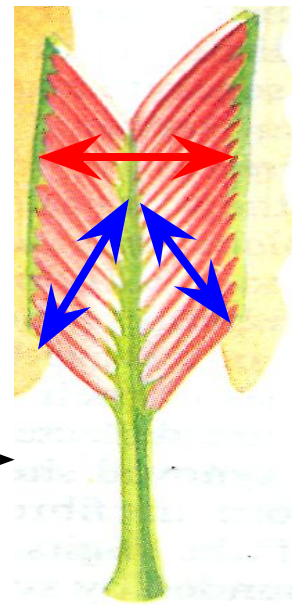
**1. Физиологический поперечник** – сумма площадей поперечных сечений всех мышечных волокон, входящих в состав мышцы.

**Анатомический поперечник** – площадь поперечного сечения мышцы перпендикулярно ее длине в наиболее широкой части.

**Веретенообразные  
мышцы –  
динамическая  
нагрузка**

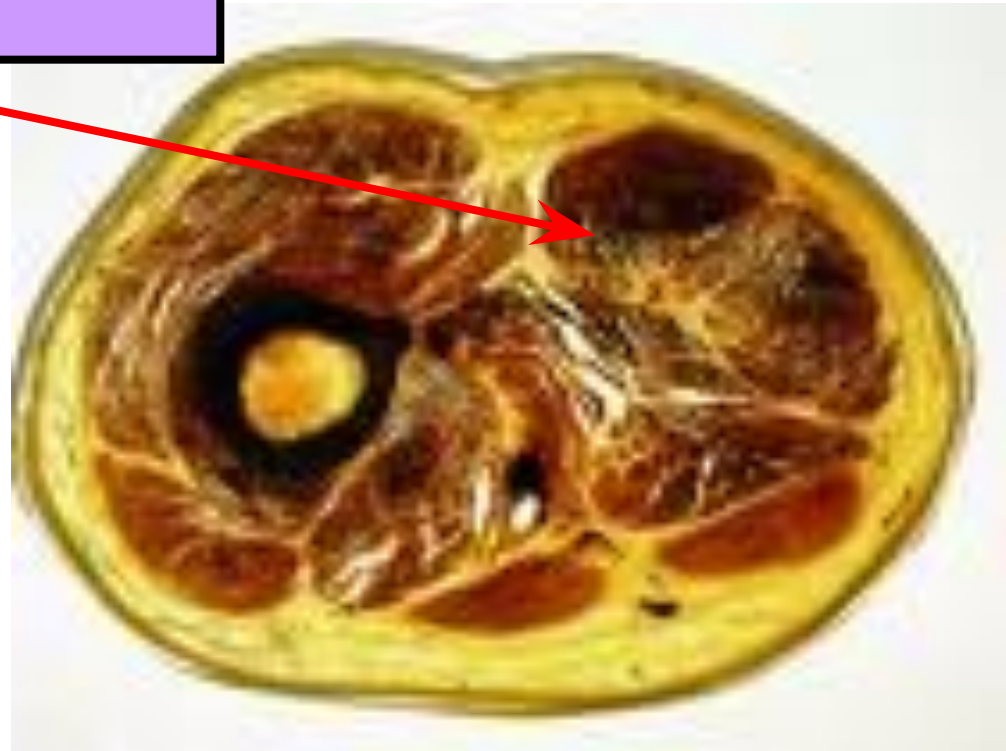


**Перистые  
мышцы –  
статическая  
нагрузка**



**Сила мышцы, имеющей площадь поперечного сечения  $1 \text{ см}^2$  примерно равна 10 кг**

**Для сгибателей бедра –  
около 540 кг**



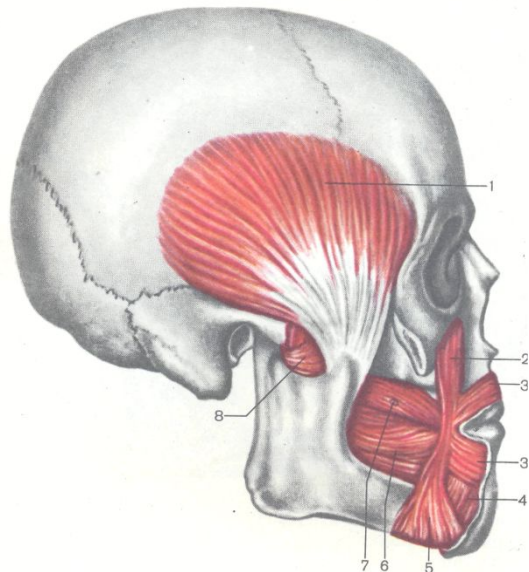
**Для сгибателей предплечья  
– около 160 кг**

Для **жевательных мышц**, поднимающих нижнюю челюсть – **390-400 кг**. Площадь поперечного сечения трех пар мышц составляет в сумме **39 см<sup>2</sup>**.

**Жевательная мышца** – 7,5 см<sup>2</sup>

**Височная мышца** – 8 см<sup>2</sup>

**Медиальная крыловидная мышца** – 4 см<sup>2</sup>



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

## 2. Количество моторных единиц, участвующих в сокращении.

Для включения большого количества моторных единиц необходимы следующие условия:

### ✓ **замах**

при этом мышца растягивается, следовательно, раздражается больше нервных волокон и больше моторных единиц «включается» в сокращение



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

## 2. Количество моторных единиц, участвующих в сокращении.

Для включения большого количества моторных единиц необходимы следующие условия:

состояние нервной системы

настрой



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

## 2. Количество моторных единиц, участвующих в сокращении.

Для включения большого количества моторных единиц необходимы следующие условия:

состояние нервной системы

чрезмерное возбуждение



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

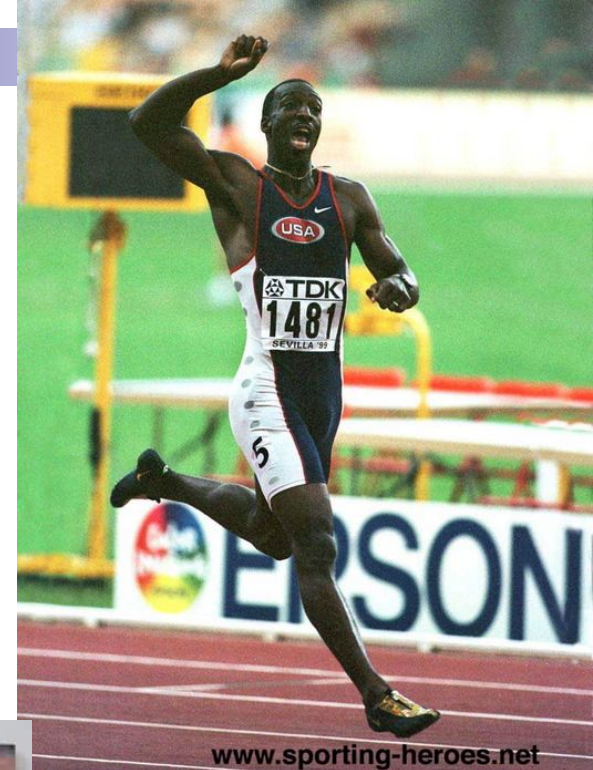
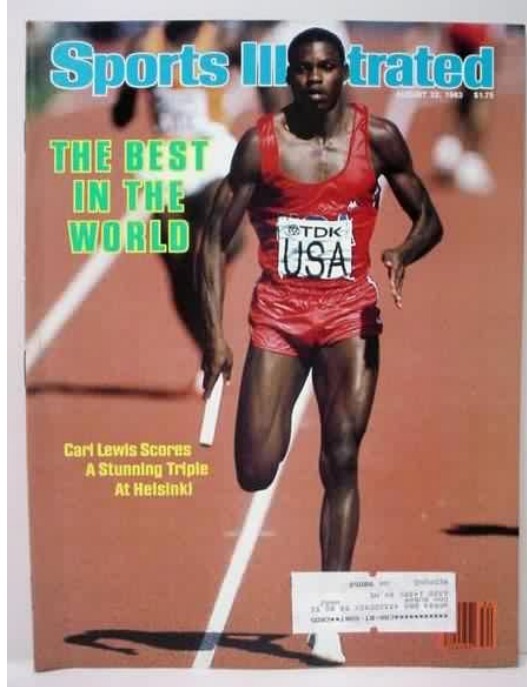
## 3. Состав мышечных волокон

**В одной моторной единице содержится один вид мышечных волокон.**

**Стайер** – преобладают  
**красные мышечные  
волокна** – статическая  
работа

**Спринтер** - преобладают  
**белые мышечные  
волокна** – динамическая  
работа

У девятикратного олимпийского чемпиона **Карла Льюиса** в мышцах ног белых волокон было более 70%. Поэтому в беге на короткие дистанции он развивал скорость – 45 км/ч.



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

## 4. Величина плеча действующей силы

Чем меньше длина **плеча**, тем большую силу нужно приложить для оптимального момента вращения.



# ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ МЫШЦ

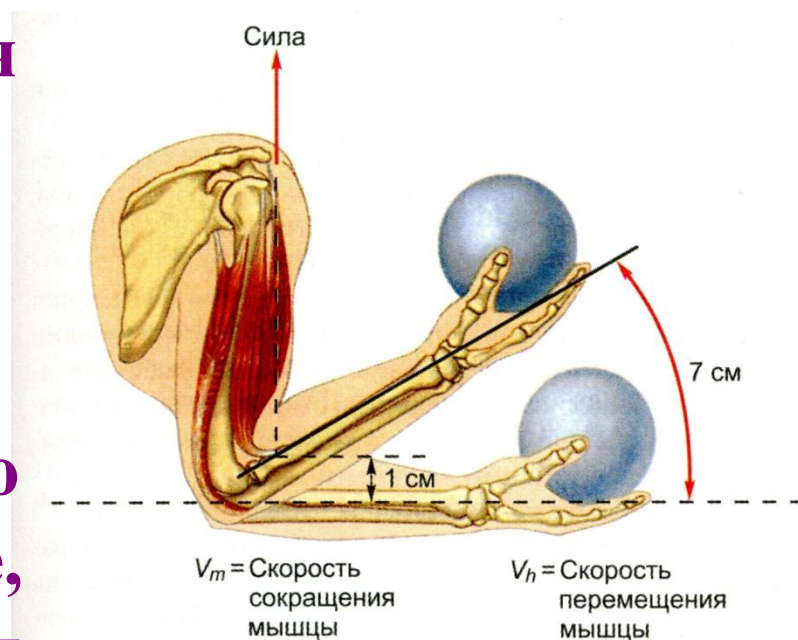
## 5. Угол прикрепления мышцы

✓ если угол прямой, то сила мышечной тяги используется для движения полностью

✓ если угол острый, то

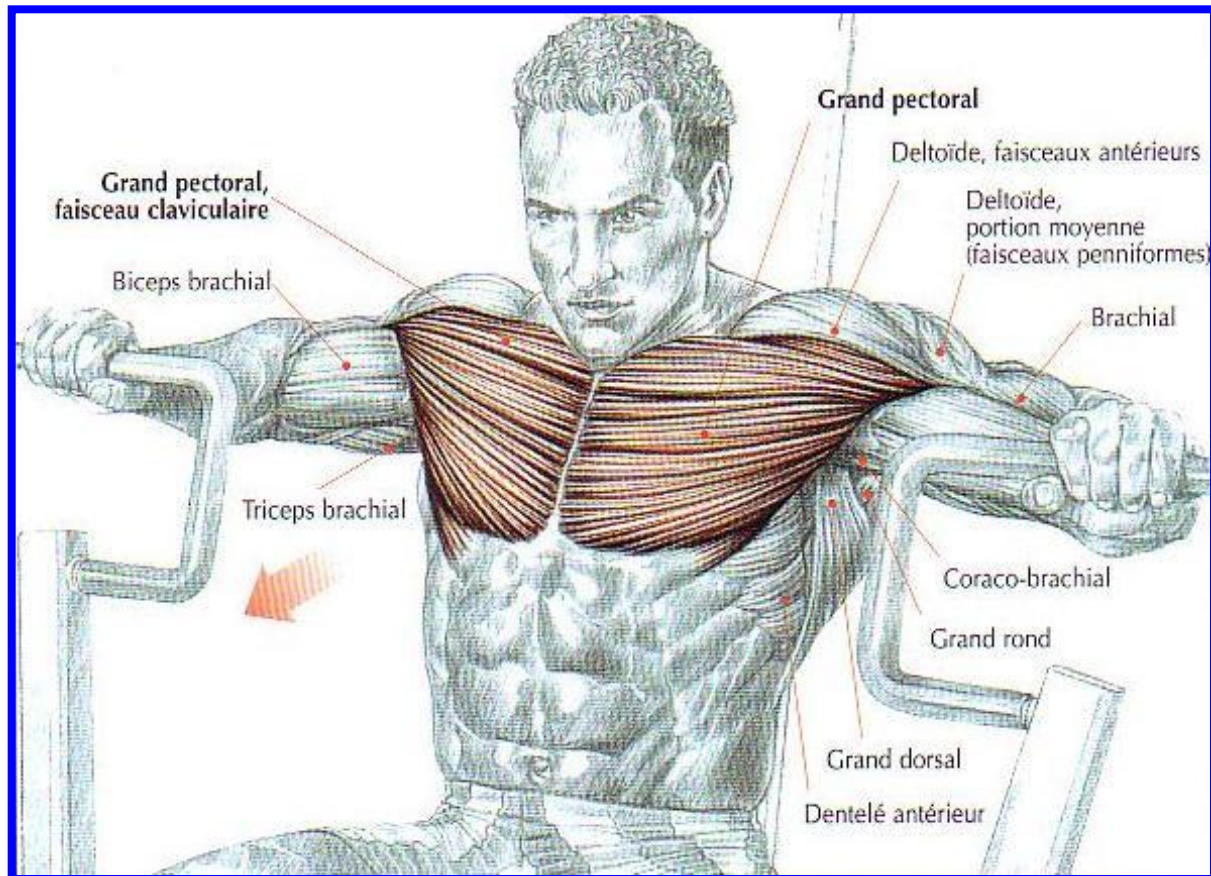
$$F_d = F_m \times \sin \alpha.$$

Чем меньше угол, тем большую силу надо приложить мышце, создавая силу и момент вращения



# Функциональные группы мышц

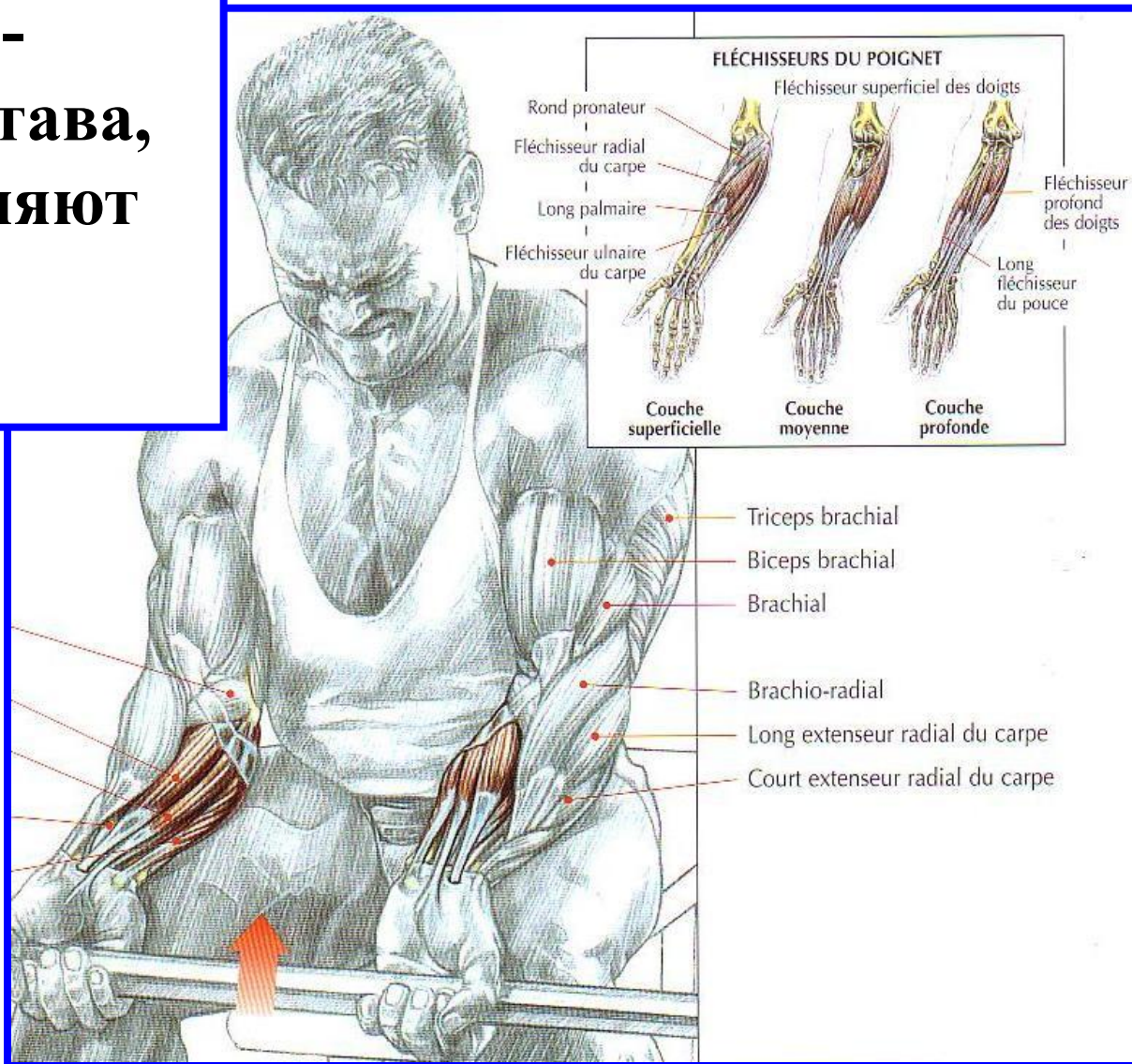
**АГОНИСТЫ** – одна или несколько мышц в каждой функциональной мышечной группе выполняют основную функцию



# Функциональные группы мышц

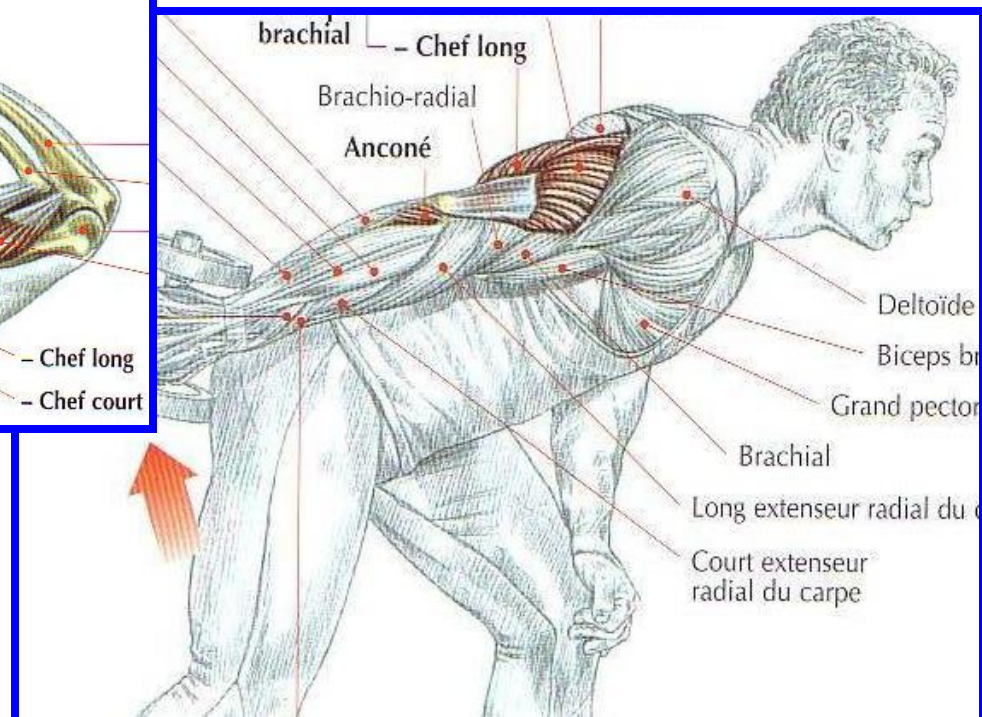
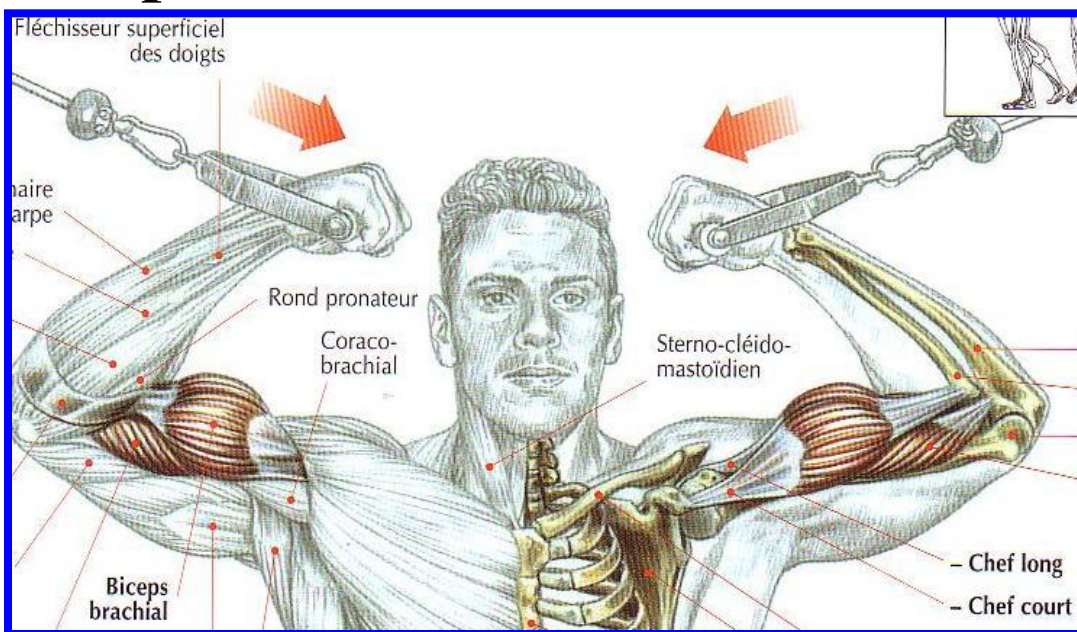
## СИНЕРГИСТЫ -

мышцы одного сустава,  
которые осуществляют  
функцию в одном  
направлении

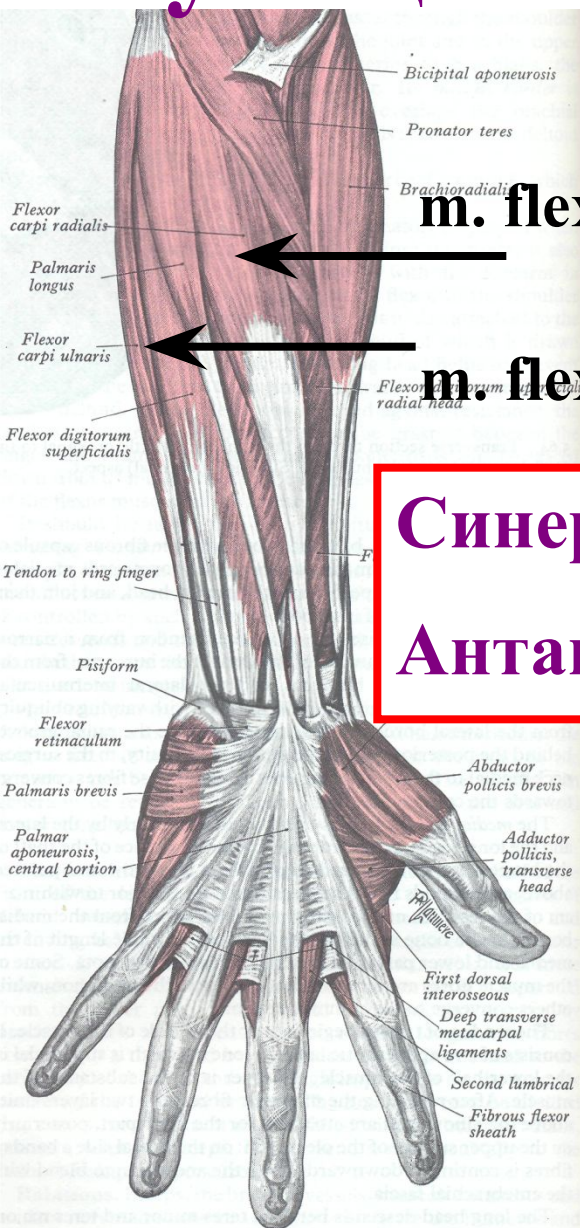


# Функциональные группы мышц

**АНТАГОНИСТЫ** - мышцы одного сустава, которые осуществляют работу в противоположных направлениях.

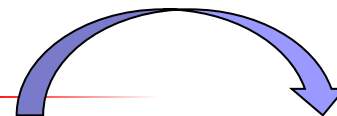


# Функциональные группы мышц



**m. flexor carpi radialis**

**m. flexor carpi ulnaris**



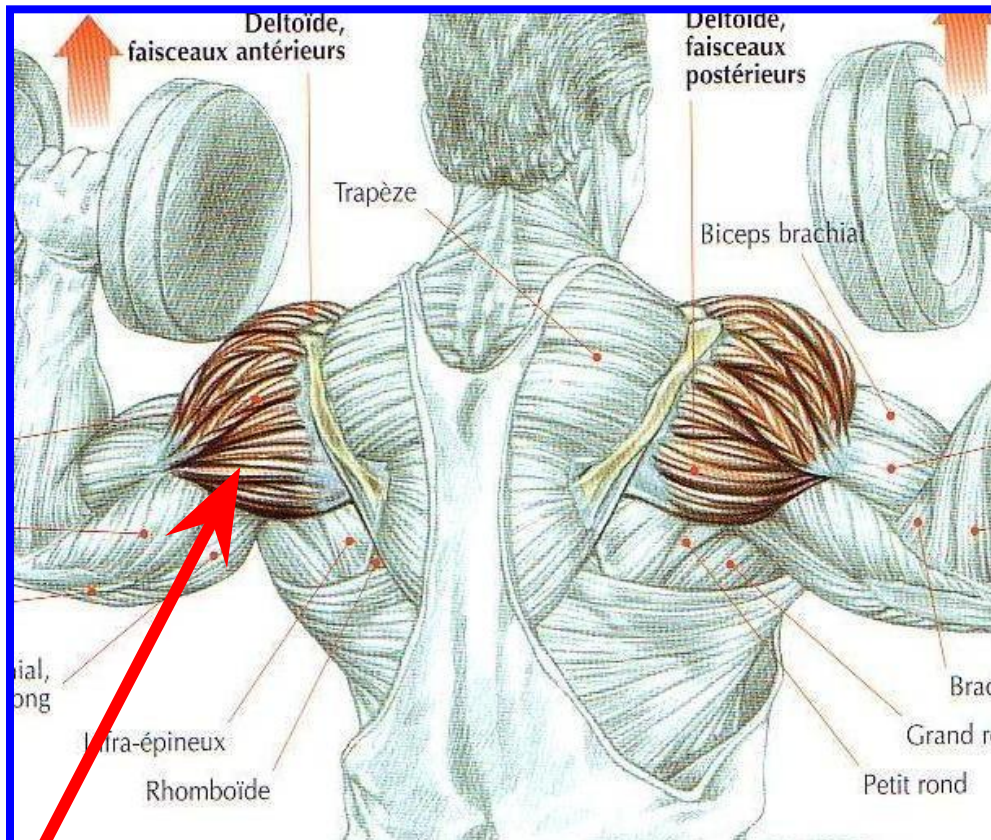
**Синергизм: сгибание запястья**

**Антагонизм: приведение и отведение кисти**

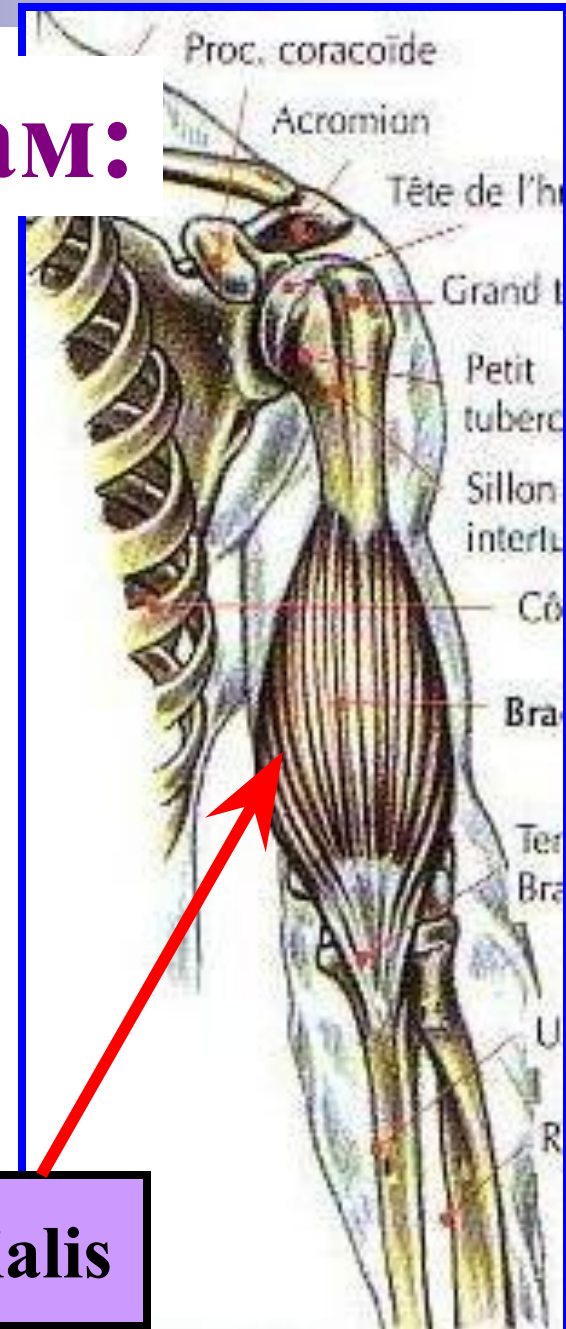
Деление на группы не постоянно и  
мышцы могут быть при одном  
движении **синергистами**, а при  
другом – **антагонистами**.

# По отношению к суставам:

## 1. Одноставные мышцы



**m. deltoideus**

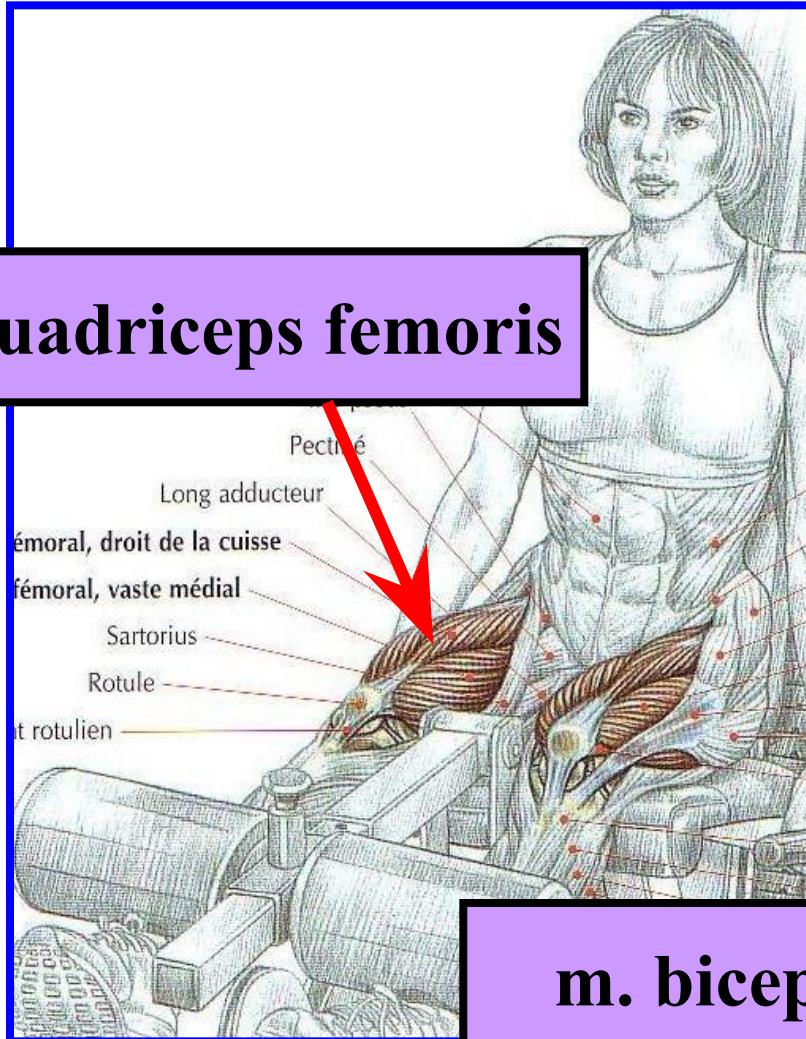


**m. brachialis**

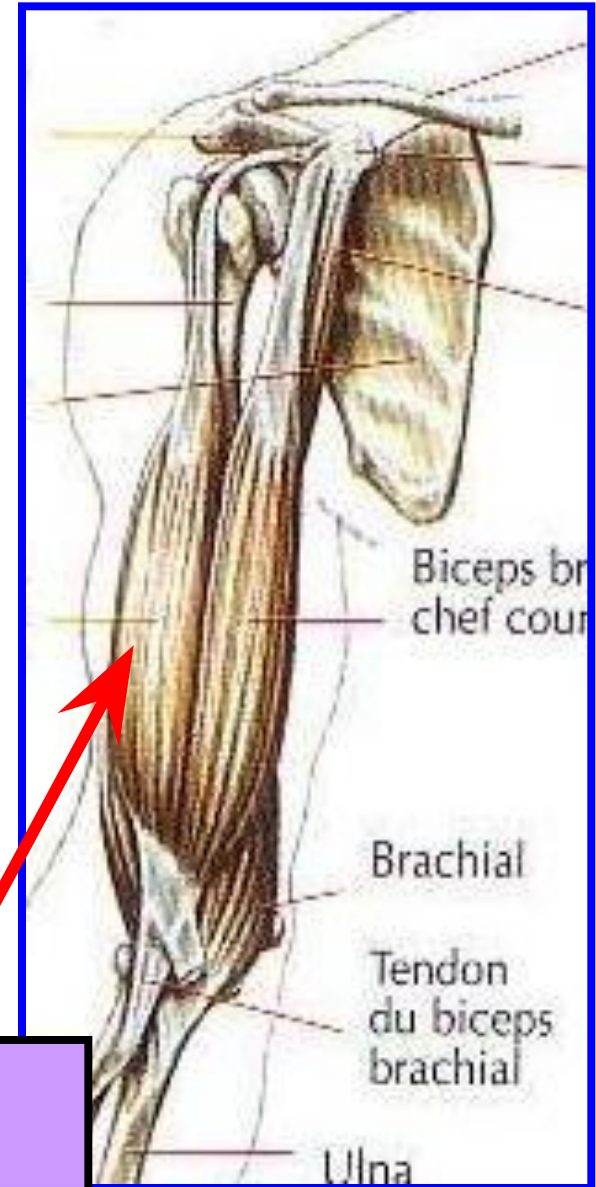
# По отношению к суставам:

## 2. Многосуставные мышцы

**m. quadriceps femoris**

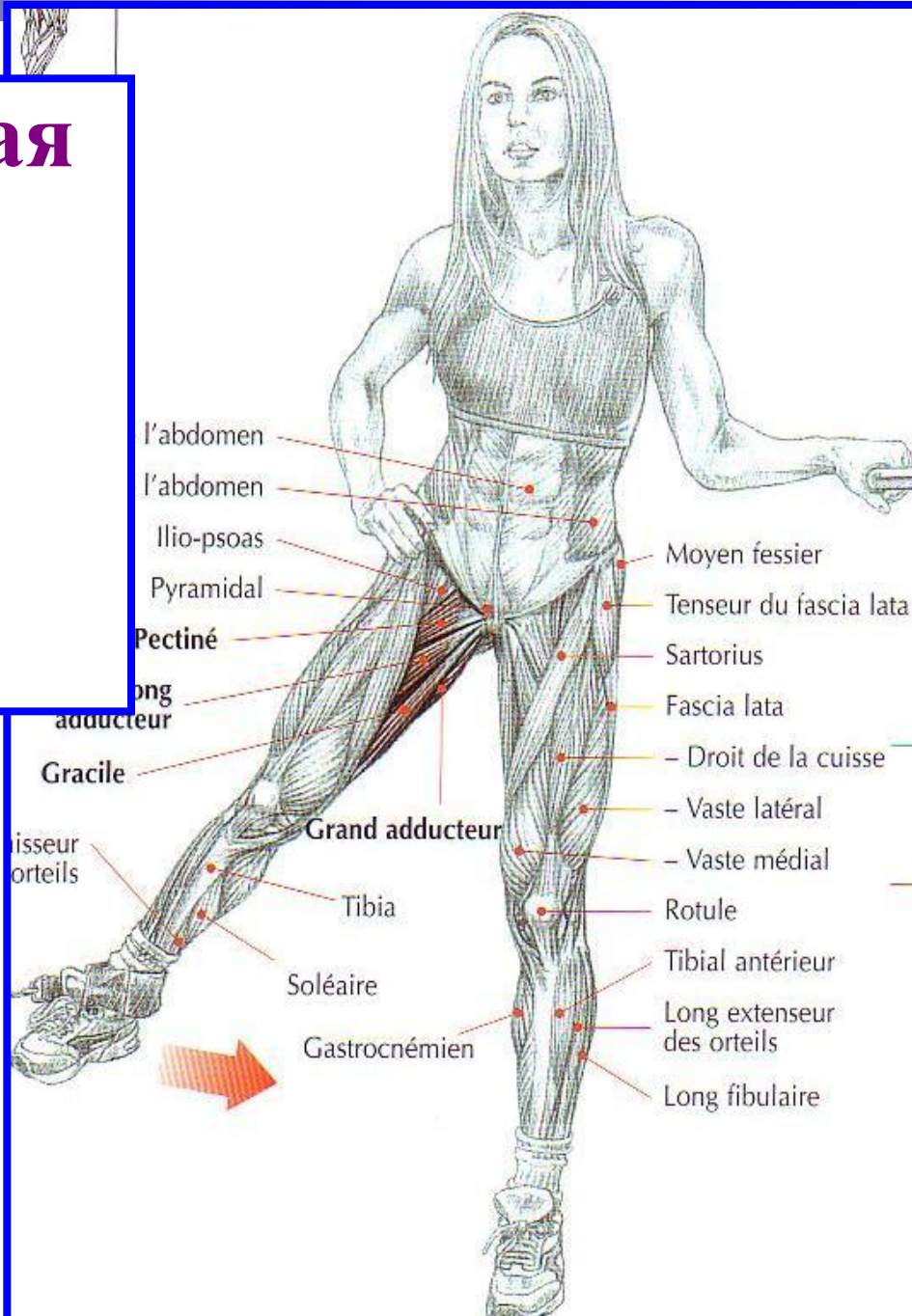


**m. biceps brachii**

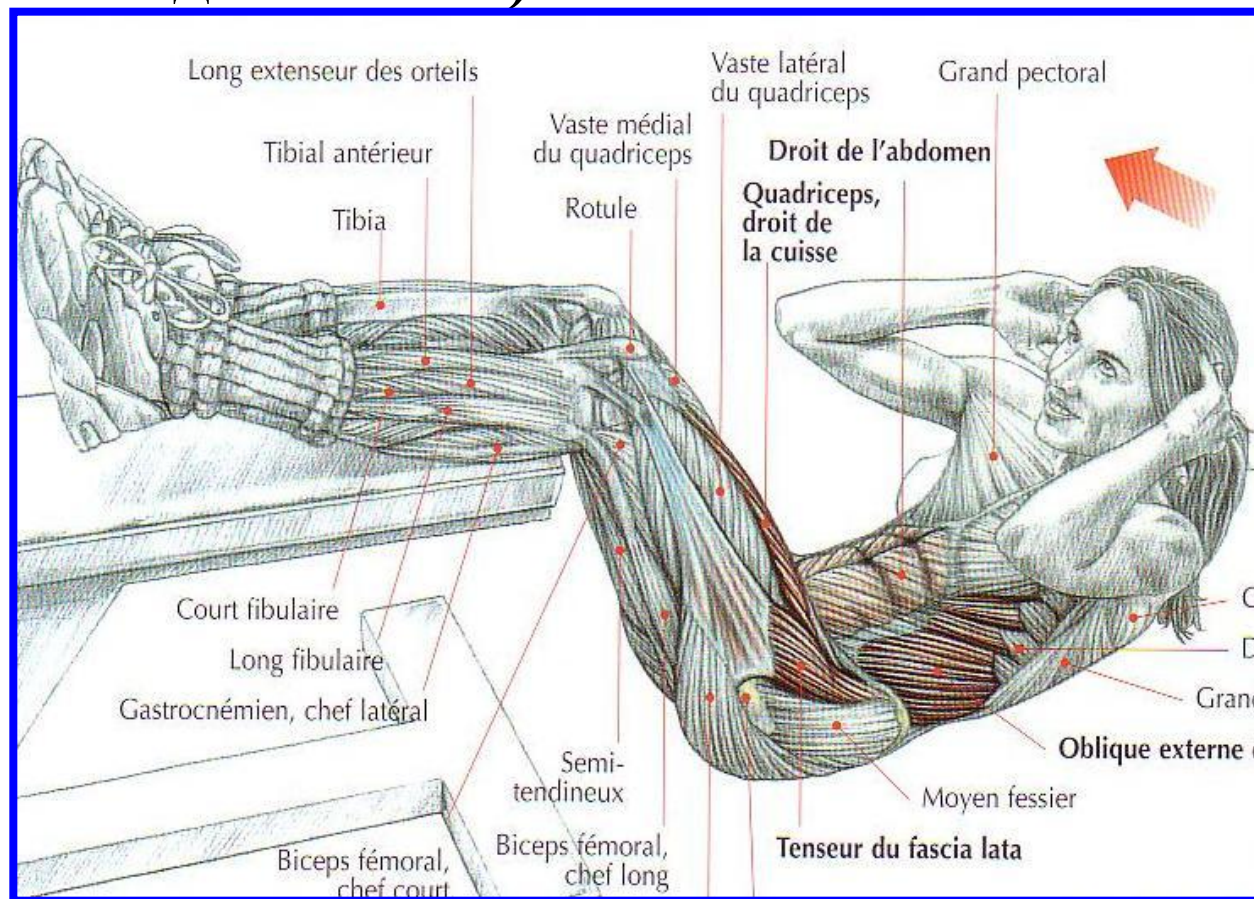


# Пассивная мышечная недостаточность

неспособность мышц  
выполнять движения по  
причине предельно  
растянувшихся мышц  
антагонистов



**Активная мышечная недостаточность**  
**многосуставная мышца не может произвести**  
**движение в полном объеме во всех суставах (т.к.**  
**длина мышцы недостаточна для удержания или**  
**выполнения движения).**



# Мышечная координация движений

- ✓ В каждом движении участвуют **несколько мышц**, являющихся **синергистами** и **антагонистами**.
- ✓ Во время сокращений **синергистов** наступает **рефлекторное торможение антагонистов**.
- ✓ **Слабое противодействие мышц антагонистов** позволяет совершать **плавные движения**.
- ✓ Работа **многосуставных мышц** обеспечивает **координацию движений с экономией мышечной энергии**.

# Виды работы мышц

## Уступающая

(динамическая с отрицательным эффектом)

**мышца, оставаясь напряженной, постепенно расслабляется, уступая действию силы тяжести либо действию того или иного сопротивления.**



# Виды работы мышц

## Преодолевающая

(динамическая с положительным эффектом)

при которой **мышца**  
**преодолевает тяжесть**  
**данного звена тела либо**  
**то или иное**  
**сопротивление и**  
**производит работу**



# Виды работы мышц

**Удерживающая  
(статическая)**

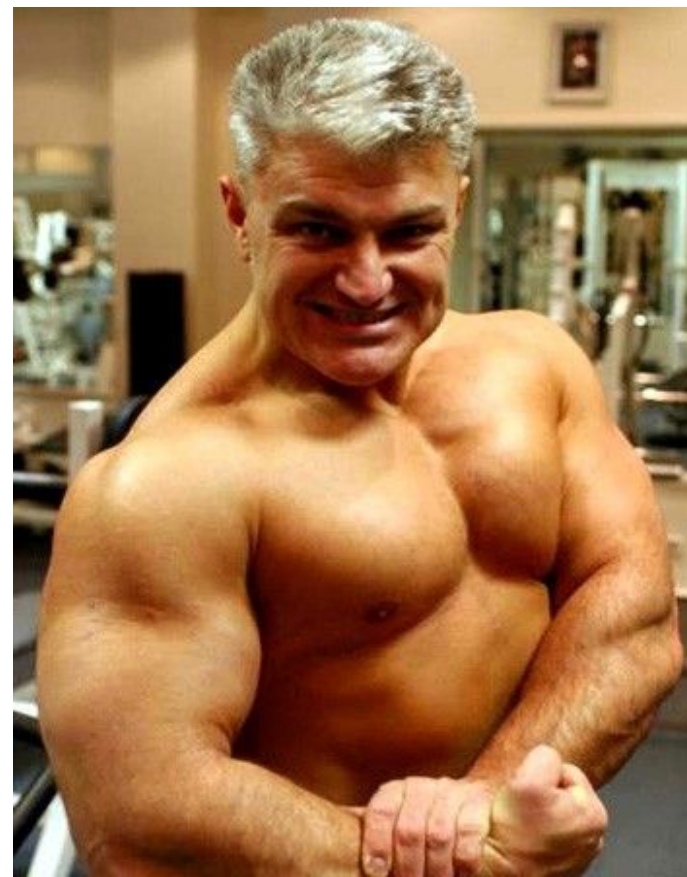
происходит  
уравновешивание действия  
сопротивления, в  
результате чего движение  
отсутствует



# Парадоксальное действие мышц

**Односуставные мышцы** вызывают движения только в одном суставе, однако **косвенным путем** они вызывают движения **в суставах**, расположенных **дистально** и/или **проксимально** по отношению к данному суставу.

Например, при сгибании в локтевом суставе одновременно происходит небольшое разгибание в плечевом.



# Кинематические цепи

**Любое тело** свободно перемещается в пространстве, обладает **шестью степенями свободы**:

1. **вверх и вниз**
2. **вперед и назад**
3. **вправо и влево**

Если тело **закреплено в одной точке**, то оно не может совершать поступательного движения, но может **вращаться относительно 3-х осей**, т.е. имеет **три степени свободы**.

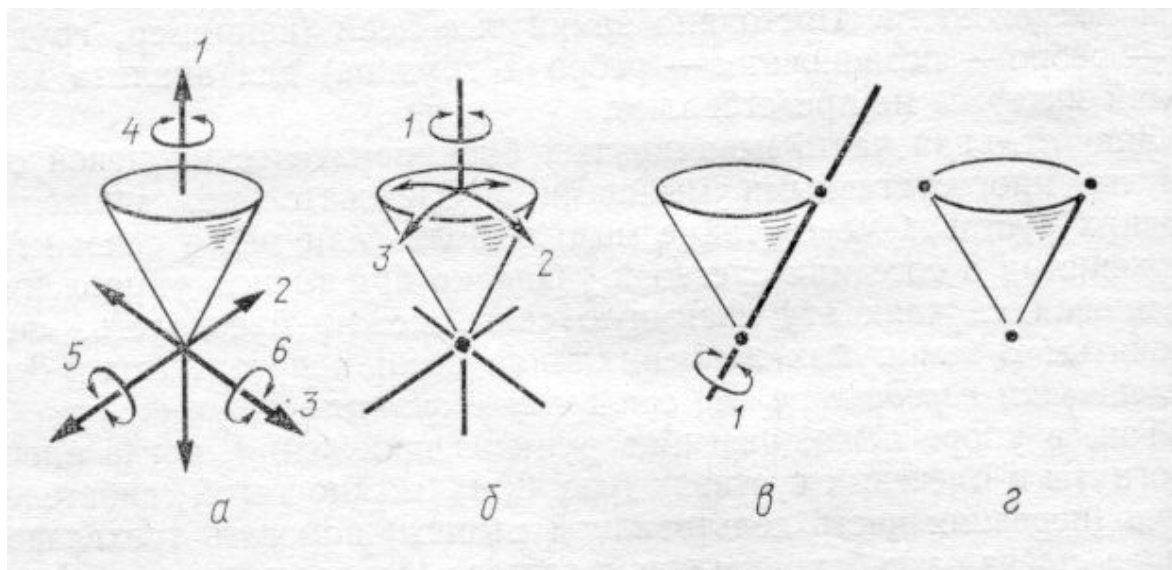
Если тело **закреплено в двух точках**, то оно имеет **одну степень свободы** и может **вращаться вокруг одной оси**.

# Кинематические цепи

**3 степени свободы** – шаровидные и плоские суставы;

**2 степени свободы** – эллипсоидные и седловидные суставы;

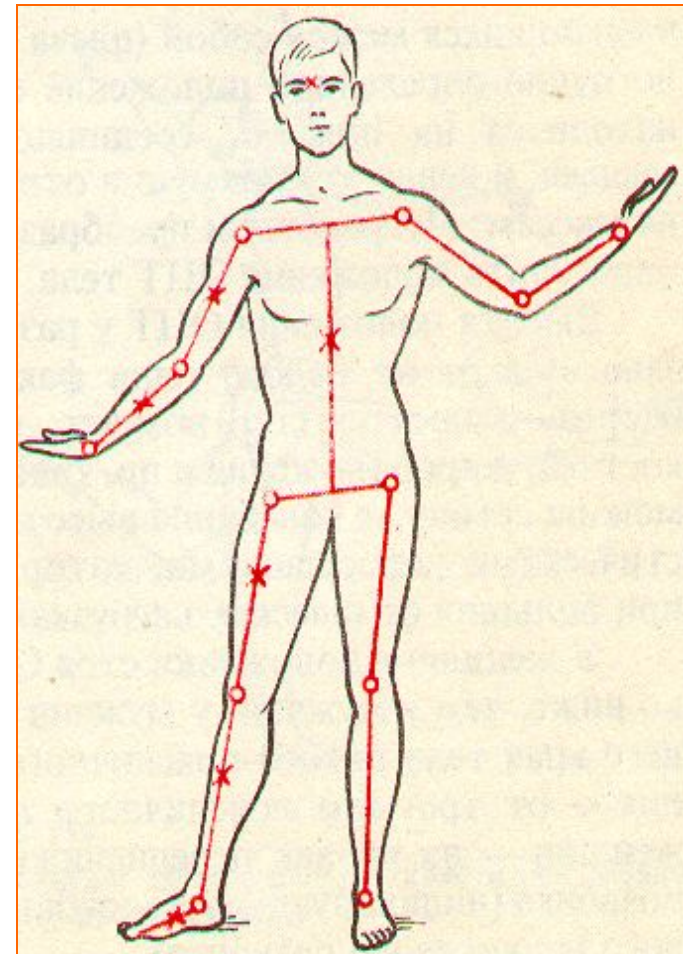
**1 степень свободы** – цилиндрические и блоковидные суставы.



# Кинематические цепи

- ✓ Все звенья опорно-двигательного аппарата сгруппированы в систему **кинематических цепей**
- ✓ **Звенья** в этих цепях – это **элементарные рычаги** (равновесия, силы, скорости)

Выделяют два вида кинематических цепей:  
**ОТКРЫТЫЕ (ОКЦ)** и  
**ЗАКРЫТЫЕ (ЗКЦ).**



# Открытая кинематическая цепь

Это цепь из рычагов, дистальное звено которой свободное (**верхняя конечность**)



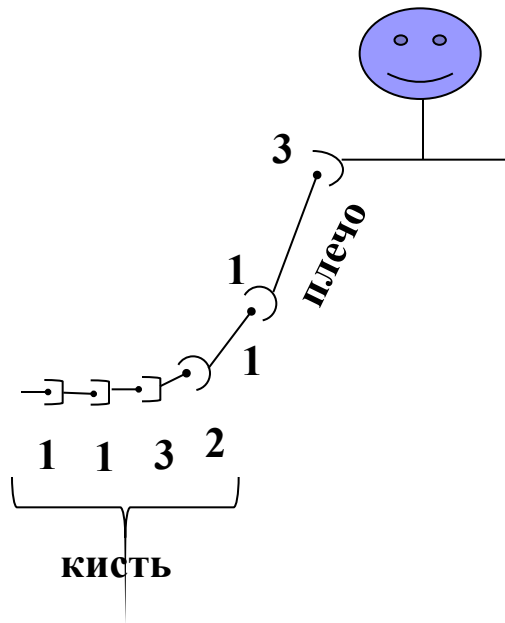
**Большая степень свободы**



**Возможность изолированных движений в отдельных звеньях (суставах) ОКЦ**



**ОКЦ может стать ЗКЦ если конечное звено цепи получит связь с опорой (или захват)**

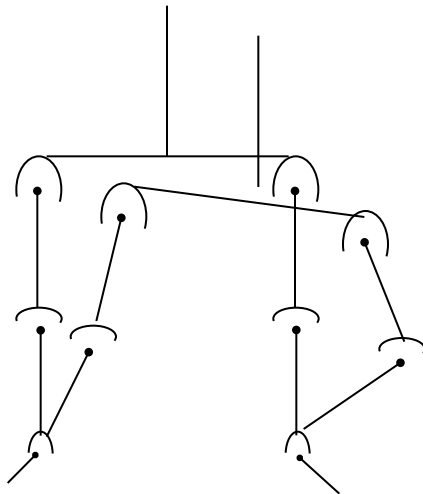


$3+1+1+2=7$  – степеней свободы у кисти

$3+1+1+2+3+1+1=12$  - степеней свободы у пальцев

# Закрытая кинематическая цепь

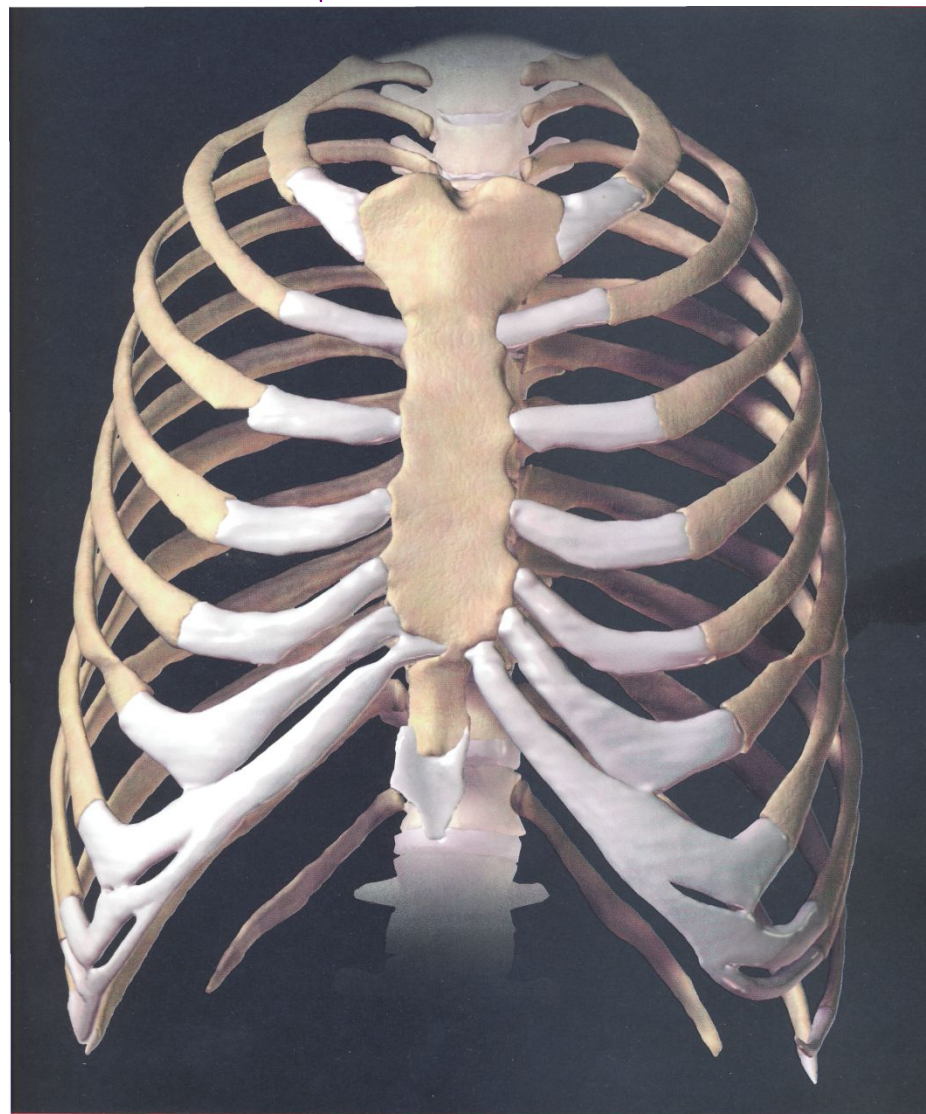
- ✓ Невозможны изолированные движения в одном суставе
- ✓ Изменение положения в одном суставе приводит к изменению положения в трех суставах
- ✓ При сокращении хотя бы одной мышцы ЗКЦ, происходит движение всех звеньев кинематической цепи
- ✓ ЗКЦ может разомкнуться



# Постоянно закрытая кинематическая цепь

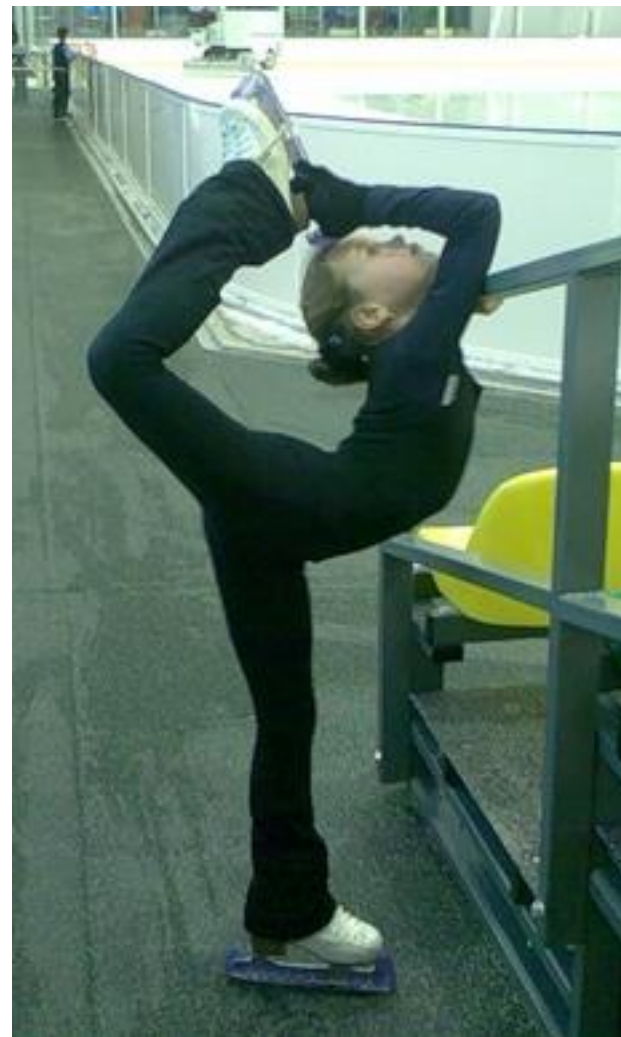
**ЗКЦ не может  
разомкнуться**

**Грудная клетка человека  
состоит из 72 костных и  
хрящевых элементов,  
связанных подвижно в  
104 точках**



# ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ

геометрическая **точка тела**, через которую **проходит равнодействующая всех сил тяжести**, действующих на тело при любом его положении в пространстве.



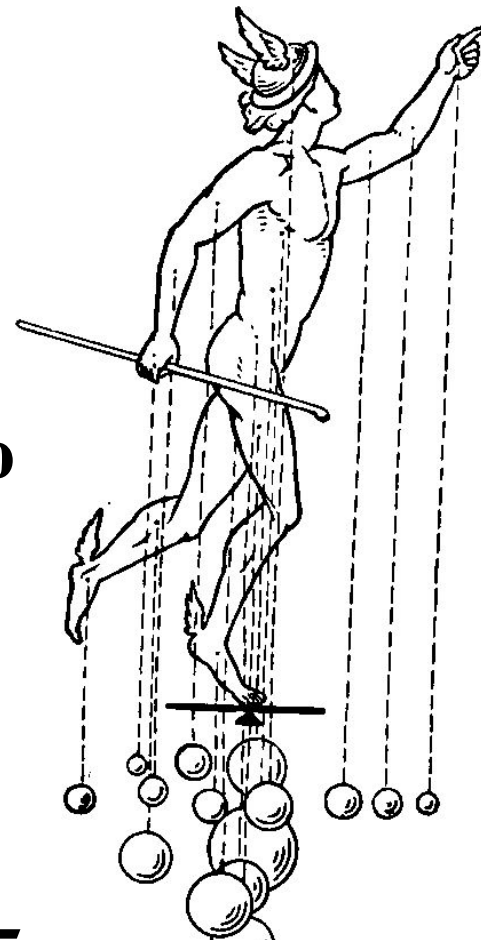
# ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ

**ЦТ туловища** – кпереди от верхнего края L1,

**ЦТ головы** – 7 мм кзади от турецкого седла,

**ЦТ кисти** – 1 см проксимальнее головки 3 пястной кости.

**ОЦТ** находится в полости таза на 2,5 см ниже мыса крестца и на 4-5 см выше фронтальной оси тазобедренных суставов, на середине расстояния между крестцом и лобковым симфизом.



# Расположение ОЦТ определяют:

## 1. Возраст:

новорожденные – Th5-6

2 года – L1

5 лет - L3



# Расположение ОЦТ определяют:

## 2. Пол



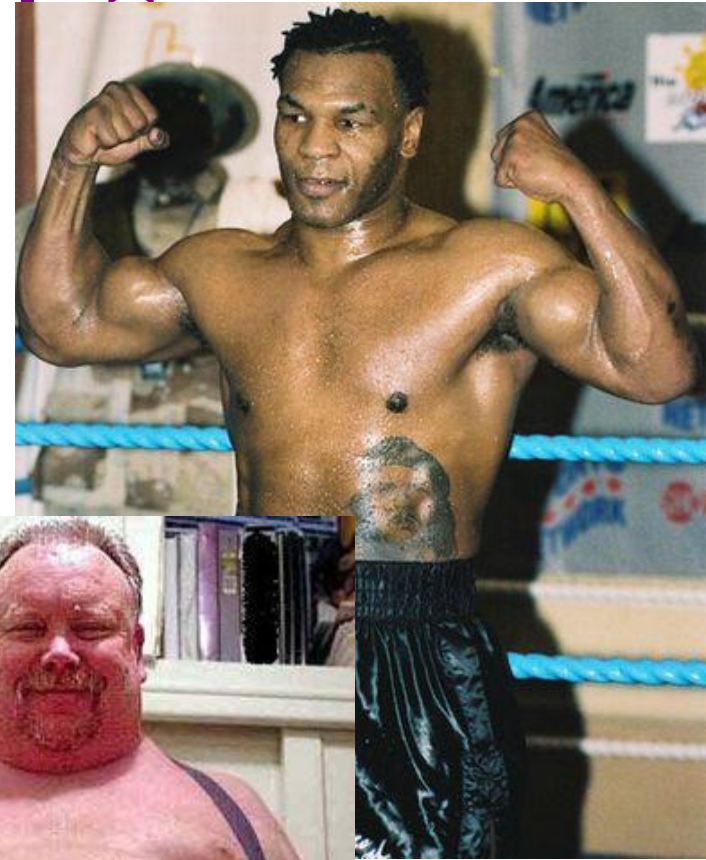
женщины –  
**S1** (L5 – Co1).



мужчины –  
**L5** (L3-S5);

# Расположение ОЦТ определяют:

## 3. Конституция, физическое развитие.



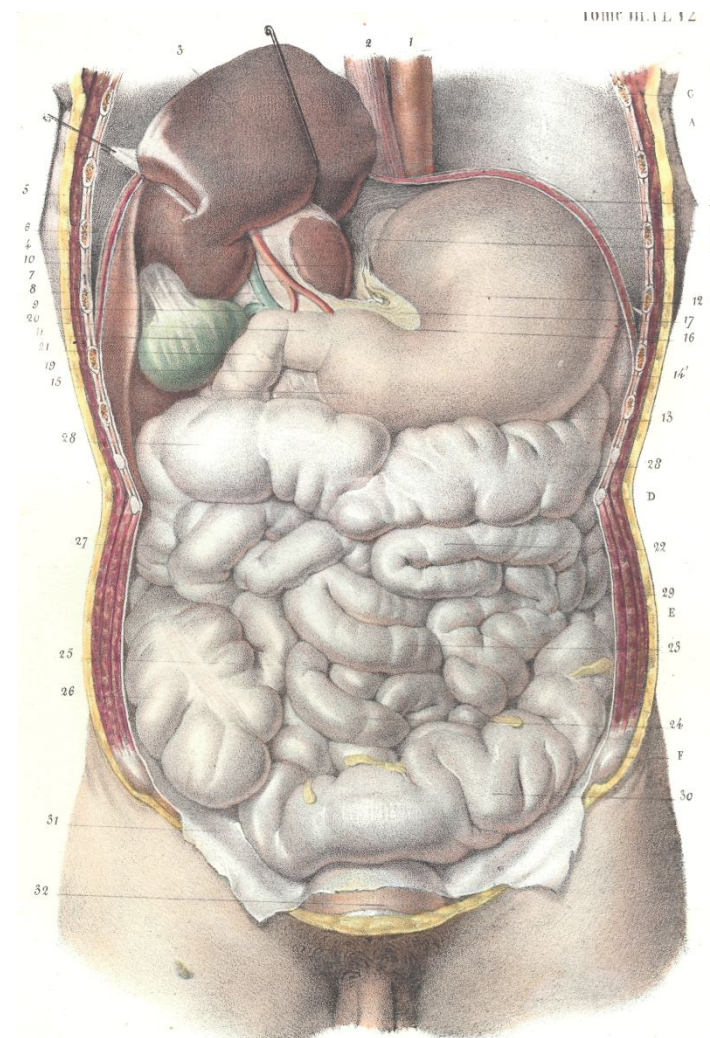
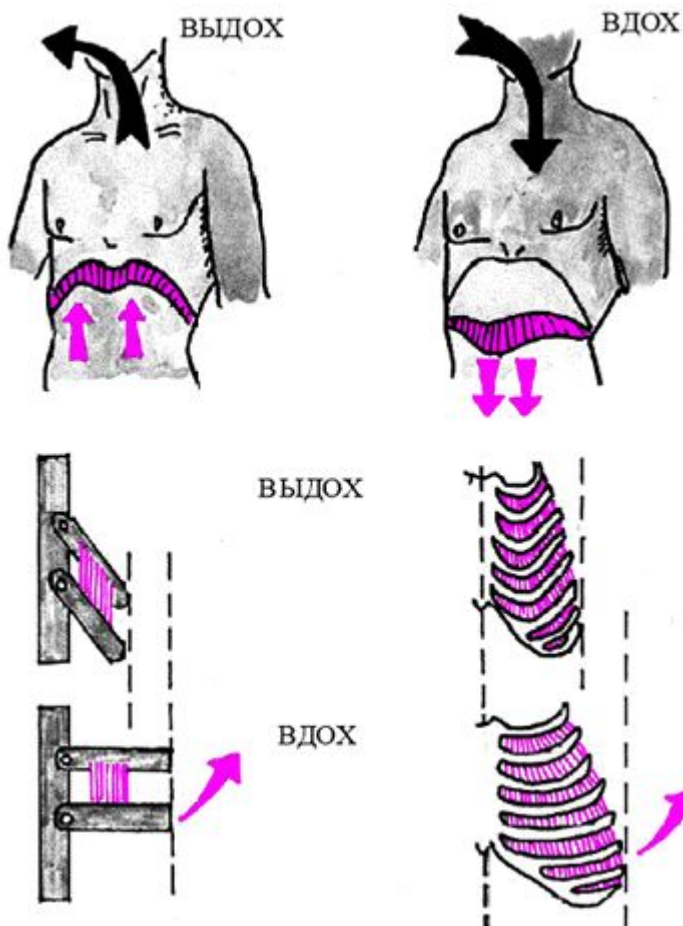
# Расположение ОЦТ определяют:

## 4. Положение тела



# Расположение ОЦТ определяют:

## 5. Фазы дыхания, перистальтика кишечника



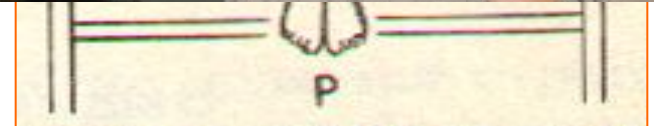
# Виды равновесия тела

**ПЛОЩАДЬ ОПОРЫ** – площадь опорных поверхностей и пространства между ними

## 1. Устойчивое

**ОЦТ ниже площади опоры**

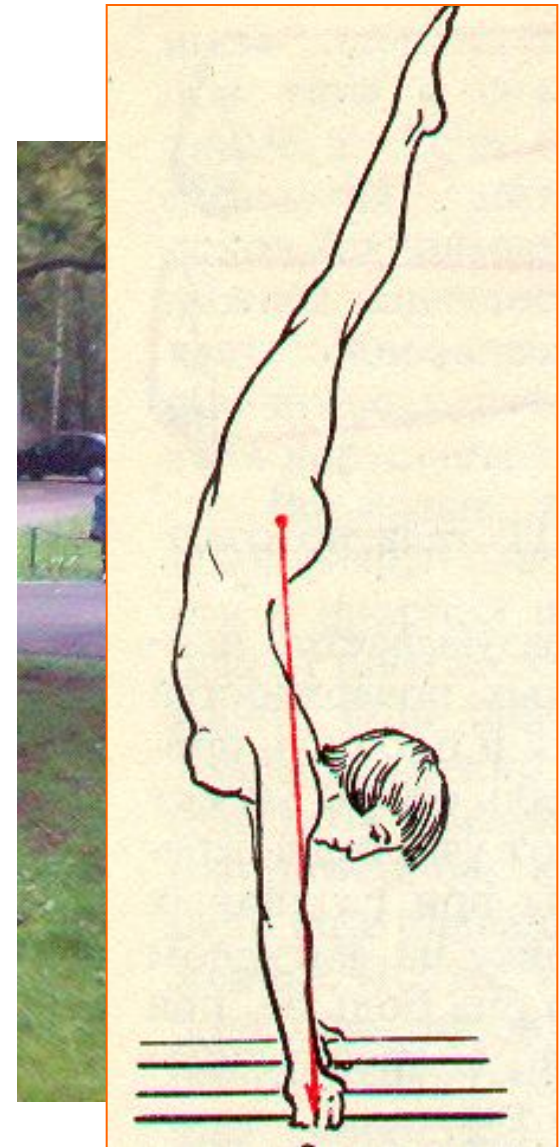
Если тело вывести из равновесия, оно под действием силы тяжести вернется в исходное положение



# Виды равновесия тела

## 2. Неустойчивое ОЦТ выше площади опоры.

Если тело вывести из равновесия, оно падает под действием силы тяжести.



# Условия устойчивости тела

## 1. Достаточная площадь опоры



# Условия устойчивости тела

## 2. Высота расположения ОЦТ

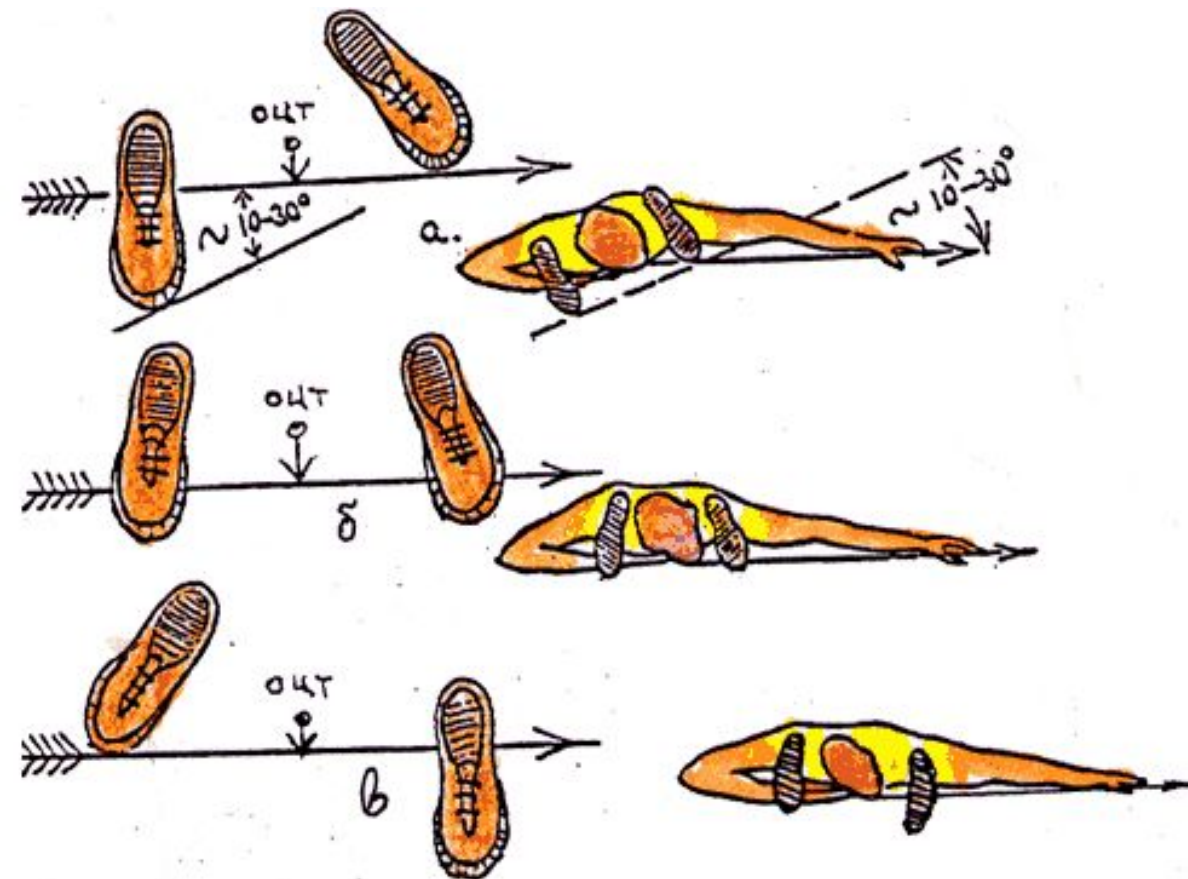
чем ниже, тем больше устойчивость



# Условия устойчивости тела

## 3. Вертикаль из ОЦТ должна падать на площадь опоры

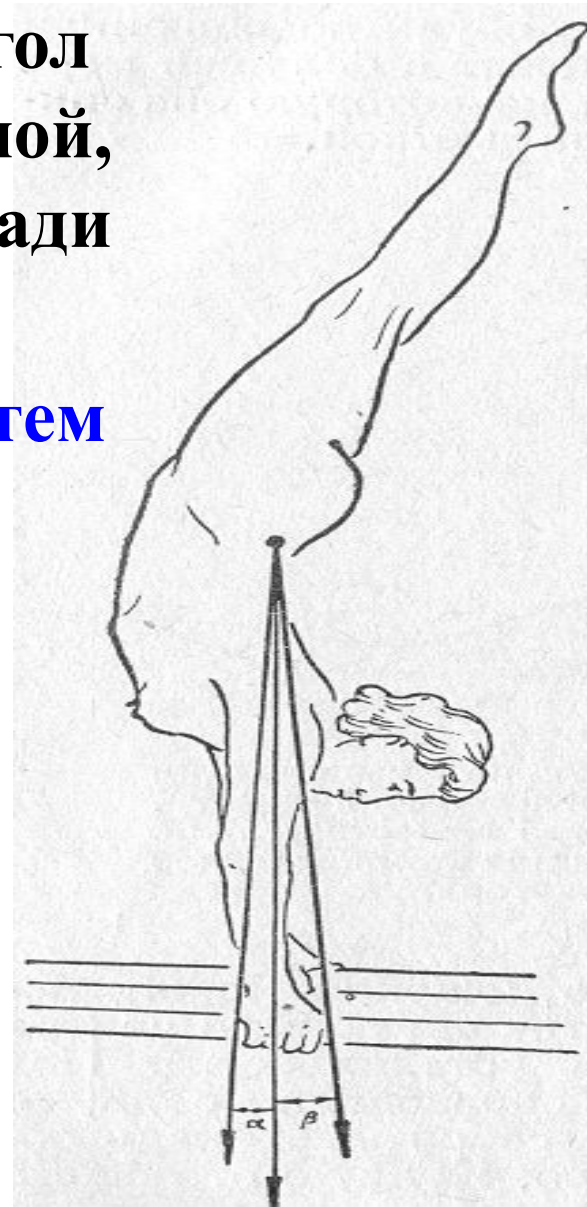
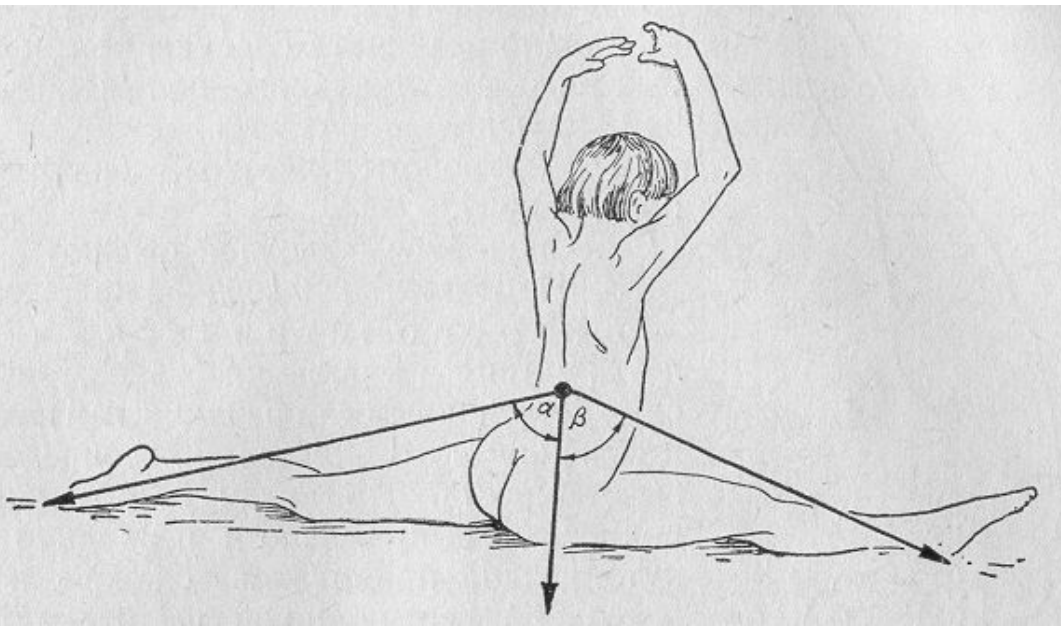
чем ближе к центру, тем больше устойчивость



# Условия устойчивости тела

**УГОЛ УСТОЙЧИВОСТИ** – это угол между вертикалью из ОЦТ и прямой, проведенной из ОЦТ к краю площади опоры.

Чем больше угол устойчивости, тем больше степень устойчивости.



# ОСАНКА

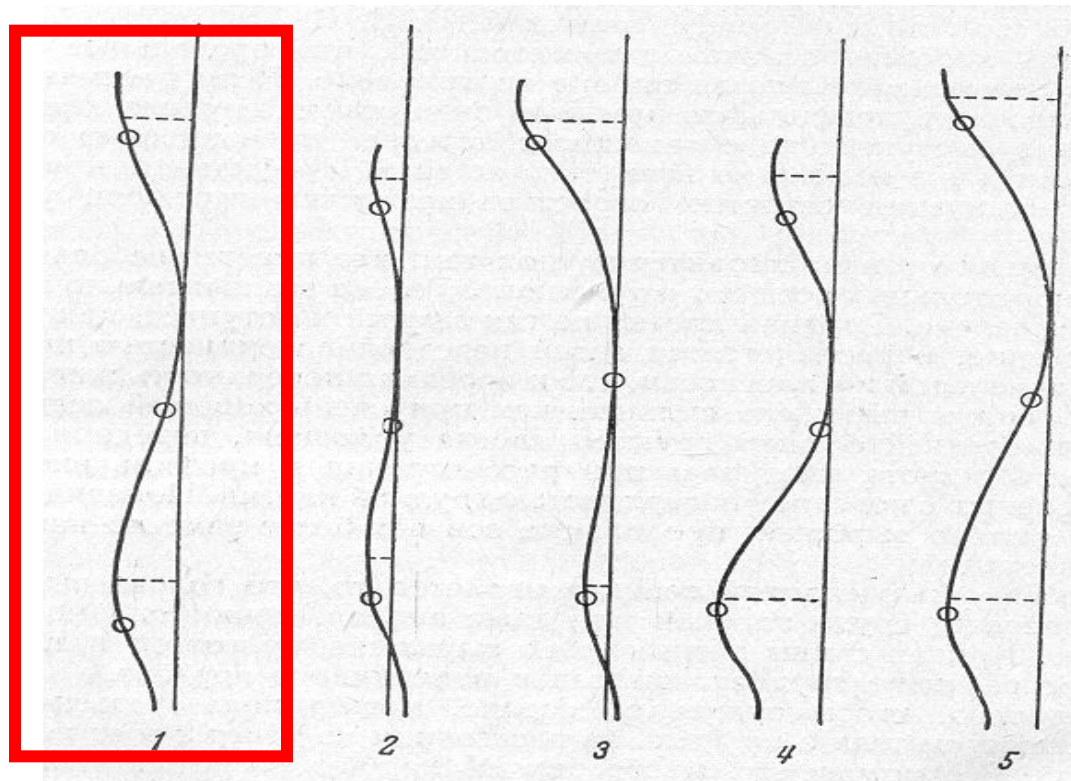
**Осанка** – привычная поза непринужденно, стоящего человека. Держит прямо голову и туловище без активного напряжения мышц.



# Виды осанки (по Аксенову)

## 1. Нормальная.

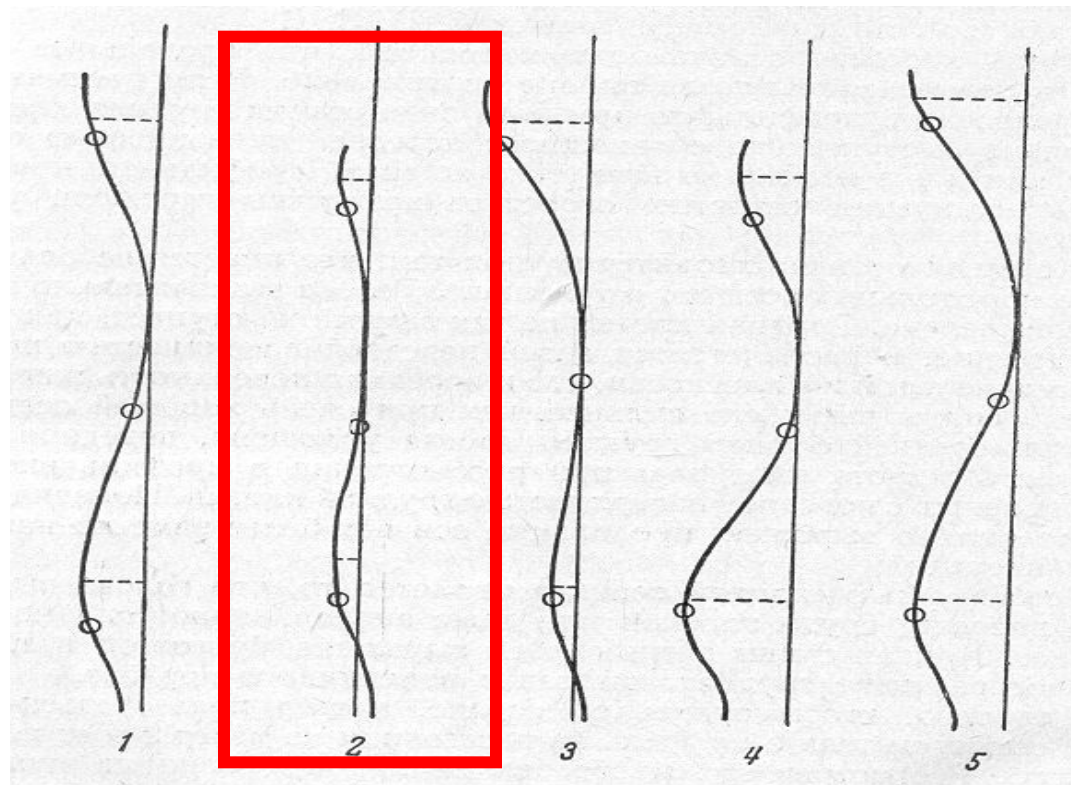
Степень выраженности лордозов и кифозов  
равномерное.



# Виды осанки (по Аксенову)

## 2. Выпрямленная.

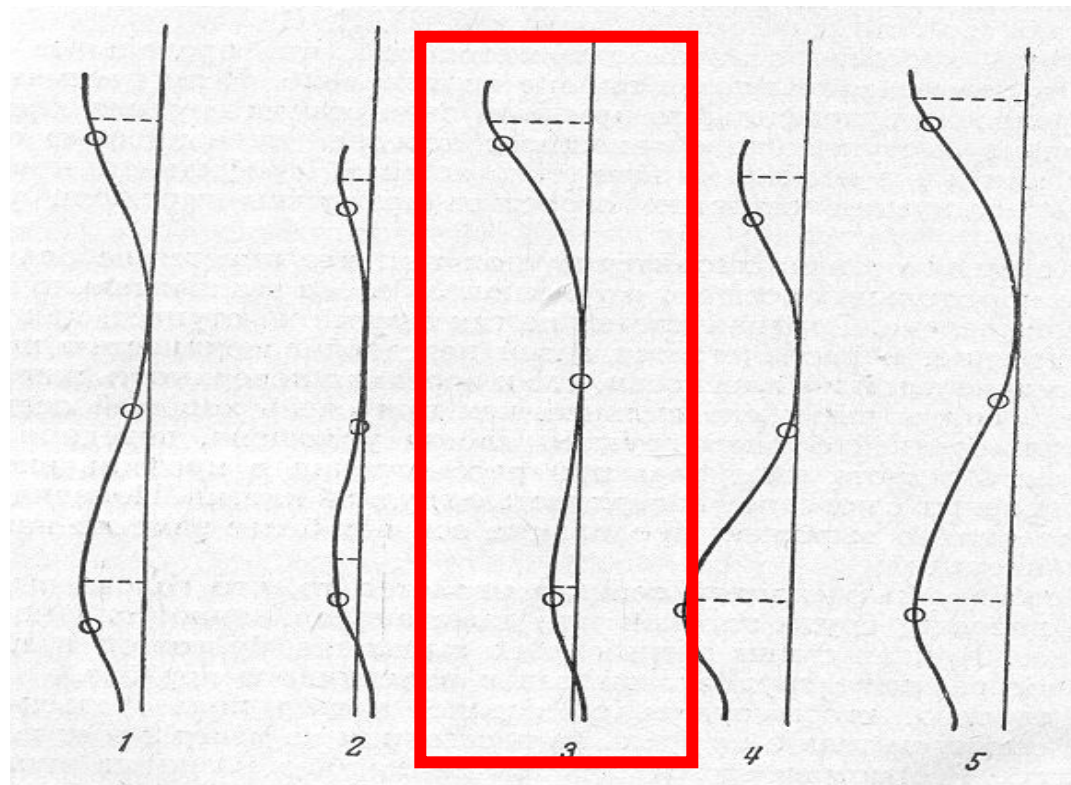
Слабо выражены изгибы.



# Виды осанки (по Аксенову)

## 3. Сутуловатая.

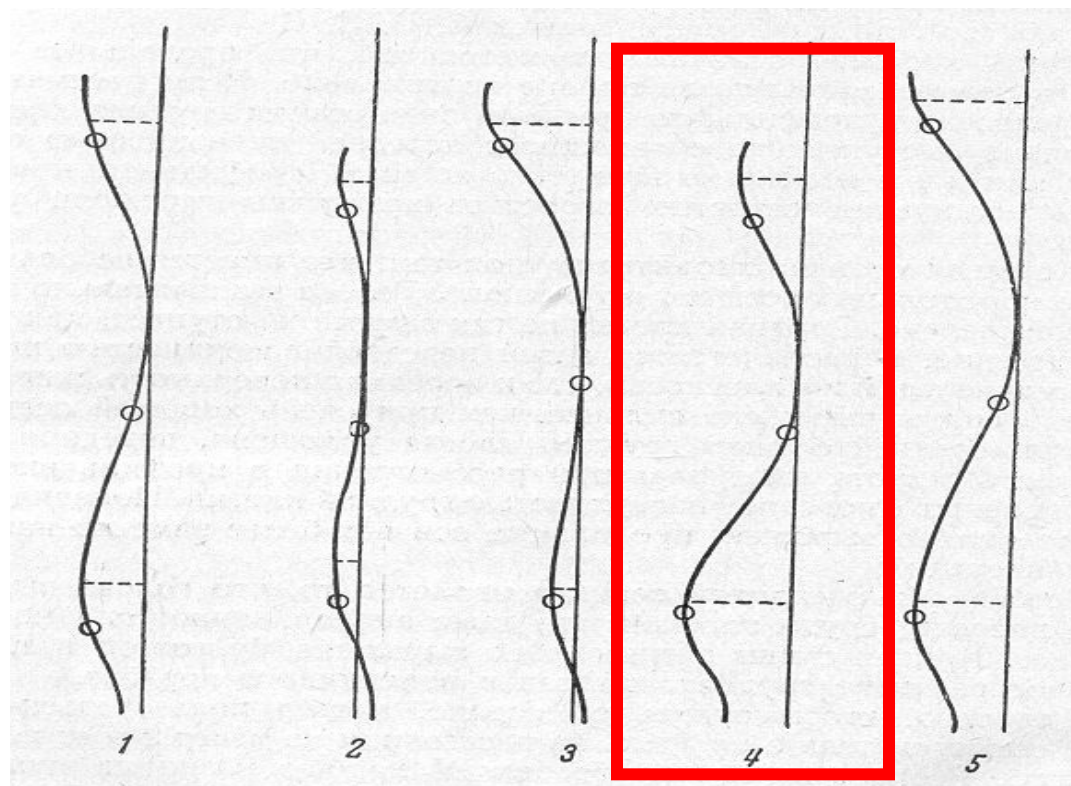
Большой шейный лордоз, маленький грудной кифоз



# Виды осанки (по Аксенову)

## 4. Лордотическая.

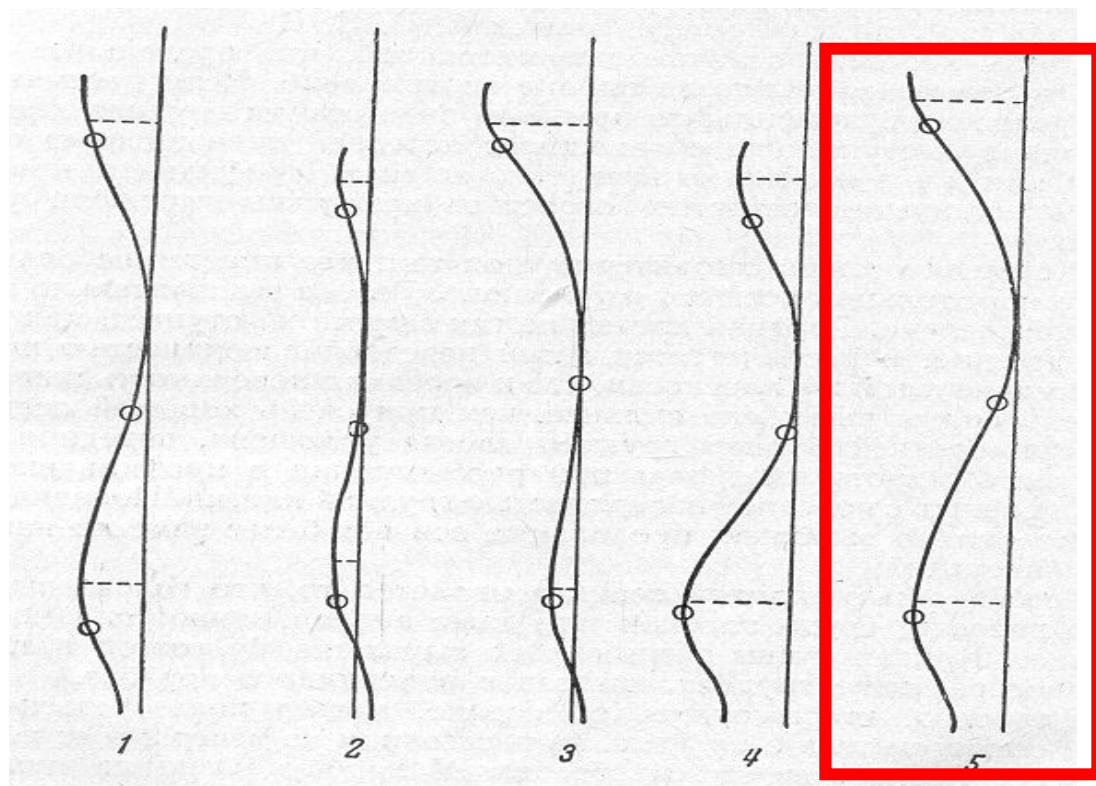
Чрезвычайно развит поясничный лордоз.



# Виды осанки (по Аксенову)

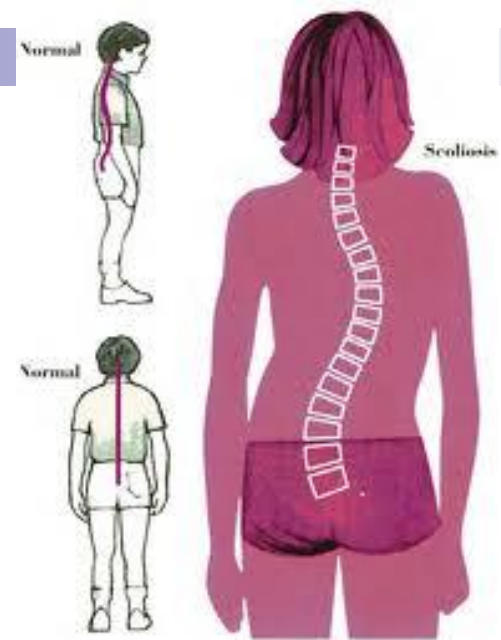
## 5. Кифотическая.

Особенно сильно развит грудной кифоз.



Статические мышцы у ребенка развиваются и растут медленнее динамических, поэтому детям труднее, чем взрослым, длительно сохранять правильное положение тела при стоянии или сидении, например во время уроков. Быстро утомляясь, дети бессознательно стремятся освободить от нагрузки те или другие группы мышц туловища.

Это легко превращается в привычку и ведет сначала к нарушению осанки, а затем к ослаблению мышц спины и искривлению растущего и поэтому податливого к деформациям позвоночника.



Благодарю за внимание!!!

