

Тема 1.

Введение в биомеханику

Зверев Юрий Павлович, К.М.Н.
Доцент кафедры АФК

Литература

- Г.И. Попов. Биомеханика
- В.И. Дубровский, В.Н. Фудорова. Биомеханика
- Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. Биомеханика

1. Введение: понятие, разделы и задачи биомеханики

Определение биомеханики

- **Биомеханика** (лат *biomechanica*):
 - *bios* - **жизнь** + и *mechanike* – наука о машинах
 - раздел естественных наук, изучающий **механические свойства и механические явления**, происходящие в биосистемах (живые ткани, отдельные органы и системы органов, организм в целом, а также объединения организмов
 - **комплексная наука**, связанная с механикой, математикой, радиоэлектроникой, анатомией, физиологией, биохимией, медициной, психологией, эстетикой, теорией управления, педагогикой и теорией физической культуры
- **Кинезиология** - биомеханика ОДА, включающая его функциональную анатомию и физиологию нервно-мышечной системы

2. Теория и методы биомеханики

Понятие движений - двигательных действий - двигательной деятельности

- **Двигательная деятельность (активность)** - совокупность всех двигательных действий человека
- **Двигательное действие** - это отдельный целенаправленный двигательный акт, осуществляемый в целях решения какой-либо двигательной задачи (например, прыжок или шаг); состоит из движений и поз
- **Движение** – перемещение звеньев тела, вызванные и управляемые работой мышц

Компоненты двигательной деятельности

- **Биомеханические** – перемещение тела и/или его частей, подчиняющиеся физическим закономерностям
- **Биологические/физиологические** – работа мышц, управляемая нервной системой; вегетативное и эндокринное обеспечение движений и др.
- **Психические** – психическая деятельность мозга, обеспечивающая осознанность, целенаправленность, мотивированность и активность двигательной деятельности человека; планирование, оценка и корректирование

3. История биомеханики.

Значение трудов Н.И. Бернштейна

Н.И. Бернштейн (1996-1966 гг) - создатель теоретической основы современной биомеханики

- **Теория многоуровневого управления движениями**, в том числе локомоциями человека,
- **Объединил биомеханику и нейрофизиологию в единую науку физиологию движений**
- **Учение о координации движений**
- **Понятие о двигательной задаче** как психической основе действий человека; разработка вопросов формирования, строения и решения двигательной задачи
- **Понятие обратной связи в физиологии**, понятие «рефлекторного кольца», принцип сенсорных коррекций
- **Понятие о дополнительных факторах, которые влияют на ход движения** (реактивные, инерционные и внешние силы, состояние мышц и др.)

4. Биомеханические характеристики движений

Понятие механических движений

- **Механическое движение** – это изменение положения тела или его частей (т.е. деформация) в пространстве.
- **Относительность движений:**
 - система координат
 - система отсчёта времени

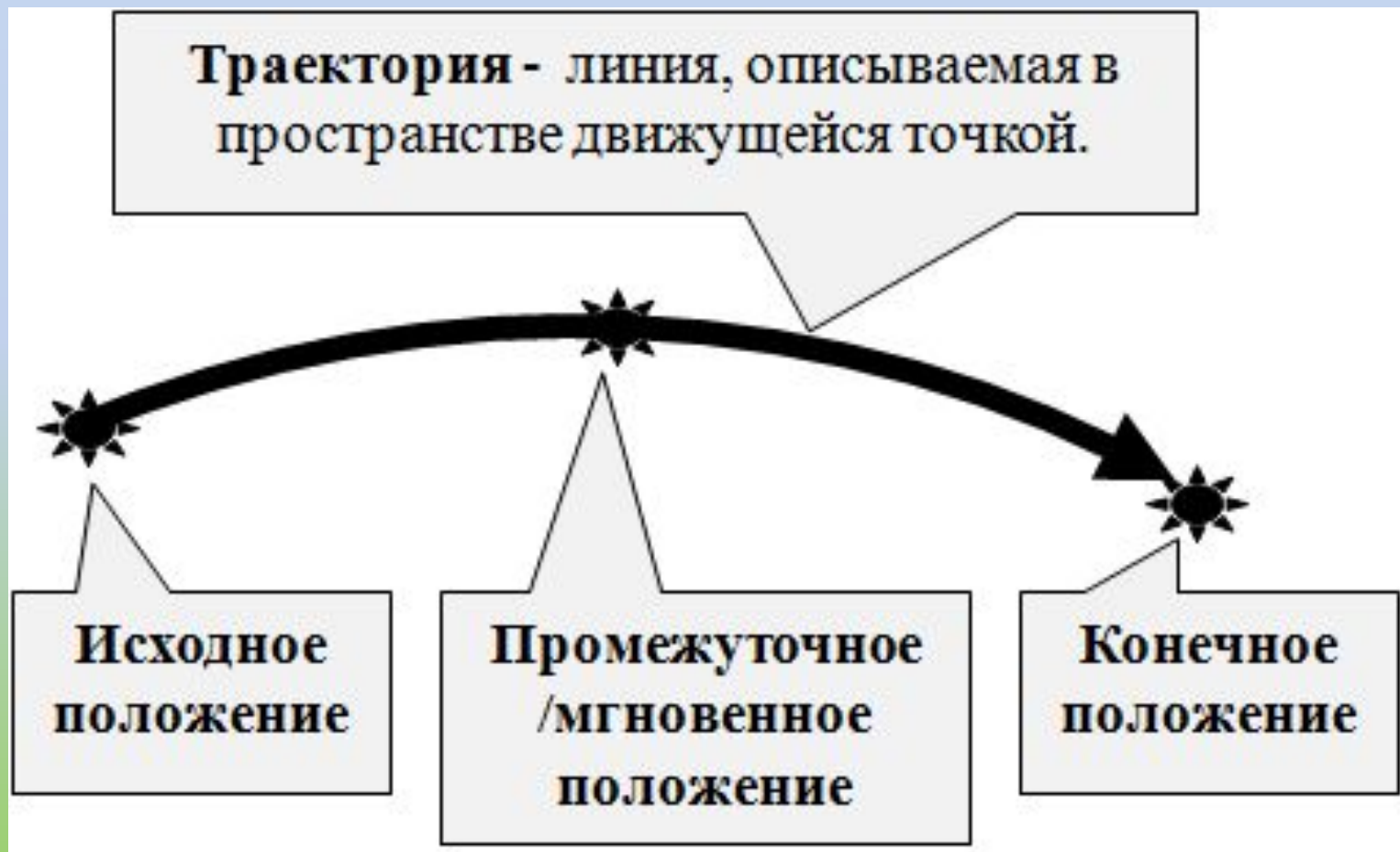
Основные виды движений

- **Вращательное** - движение тела или его частей происходит вокруг неподвижной оси вращения.
- **Поступательное** - все точки тела перемещаются по параллельным траекториям на одинаковые расстояния.
- **Сложное** - состоит из двух и более простых движений.

Основные характеристики движений



Пространственные характеристики движений



Временные характеристики движений

- описывают движение тела во времени
- включают:

1. Момент времени	Временная мера положения тела (t).
2. Моменты смены фаз	Время существенного изменения движения.
3. Длительность	Разность моментов времени окончания и начала движения (Δt).
4. Темп или частота	Количество движений в единицу времени (временная мера повторимости); обратно пропорциональны длительности: $N = 1/\Delta t$.
5. Ритм	Быстрота, соотношение длительности различных фаз движения.

Пространственно-временные характеристики движений

- **Скорость (линейная и угловая)** – это быстрота изменения положения тела или его частей.
- **Ускорение (линейное и угловое)** – быстрота изменения неравномерного движения по величине и направлению скорости.

Динамические характеристики движений

А. Инерционные характеристики
описывают особенности тела человека и движимых им тел

Инертность

Момент инерции

Б. Силовые характеристики
описывают особенности взаимодействия тел

Сила

Момент силы

Импульс силы

Импульс момента силы

Количество и момент количества движения

В. Энергетические характеристики
показывают изменения видов энергии и работоспособности биомеханической системы при движении

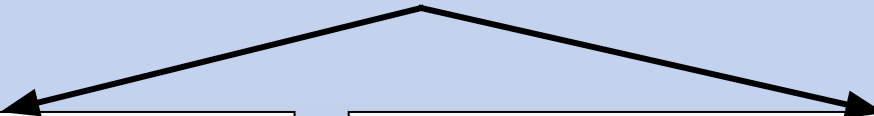
Работа силы

Мощность силы

Потенциальная и кинетическая энергия

Классификация сил, приложенных к телу в движении

Виды сил в зависимости от наличия/отсутствия контакта между телами



```
graph TD; A[Виды сил в зависимости от наличия/отсутствия контакта между телами] --> B[1. Силы, проявляющиеся при непосредственном взаимодействии тел.]; A --> C[2. Силы, действующие без непосредственного контакта (силы гравитационного, электромагнитного и др. полей).];
```

1. Силы, проявляющиеся при непосредственном взаимодействии тел.

2. Силы, действующие без непосредственного контакта (силы гравитационного, электромагнитного и др. полей).

Классификация сил, приложенных к телу в движении (прод.)

Виды сил в зависимости от источника (относительно тела)

1. Внешние силы

- сила тяжести тела;
- силы сопротивления среды;
- силы реакции опоры;
- сила трения;
- сила инерции внешних тел.

2. Внутренние силы

Активные:

- сила мышечной тяги

Пассивные:

- сила упругой деформации;
- сопротивление тканей, вязкость;
- внутренние силы инерции и трения

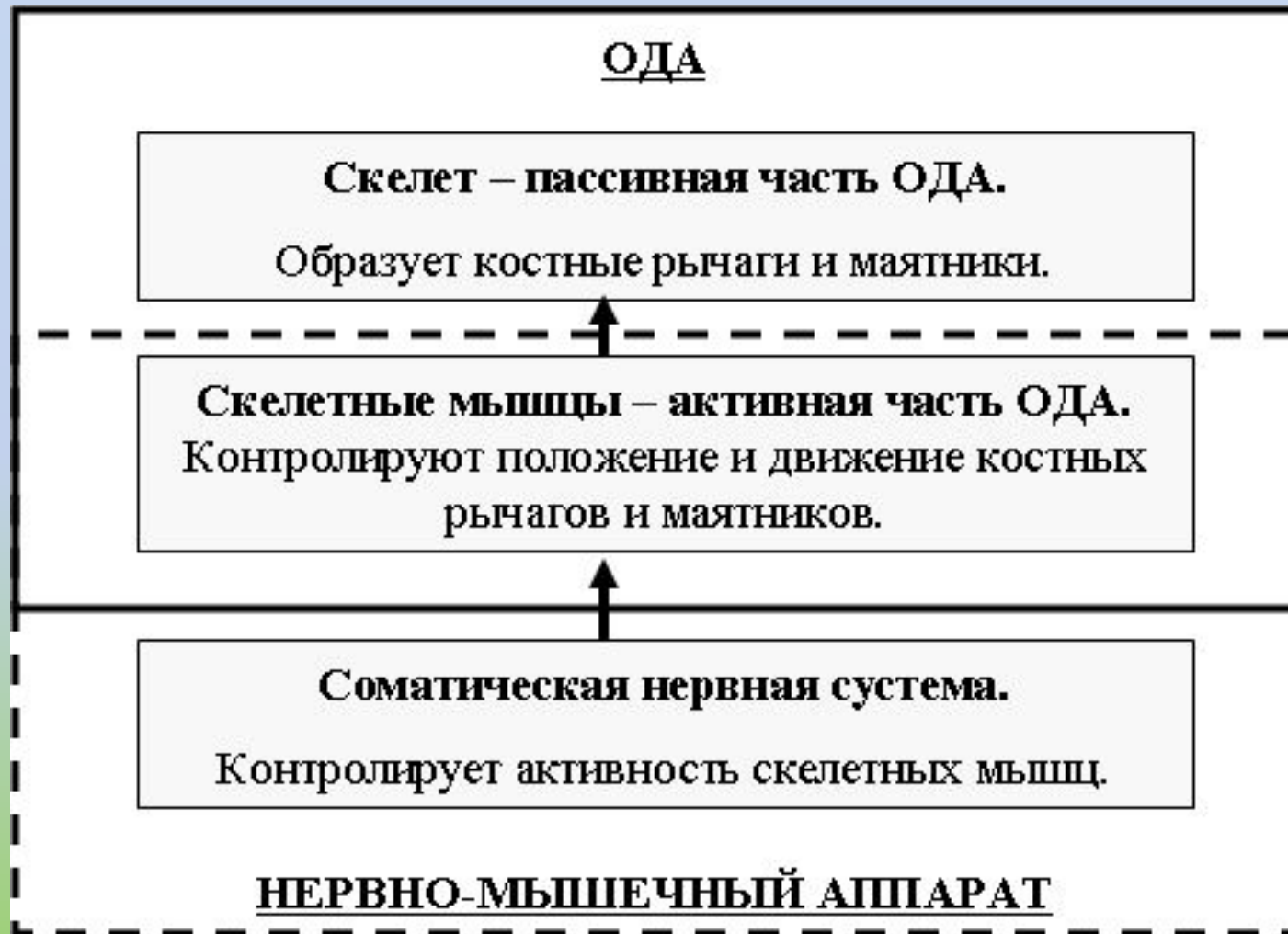
Тема 2.

**ПОНЯТИЕ, КОМПОНЕНТЫ И
ФУНКЦИИ
ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО
АППАРАТА (ОДА)**

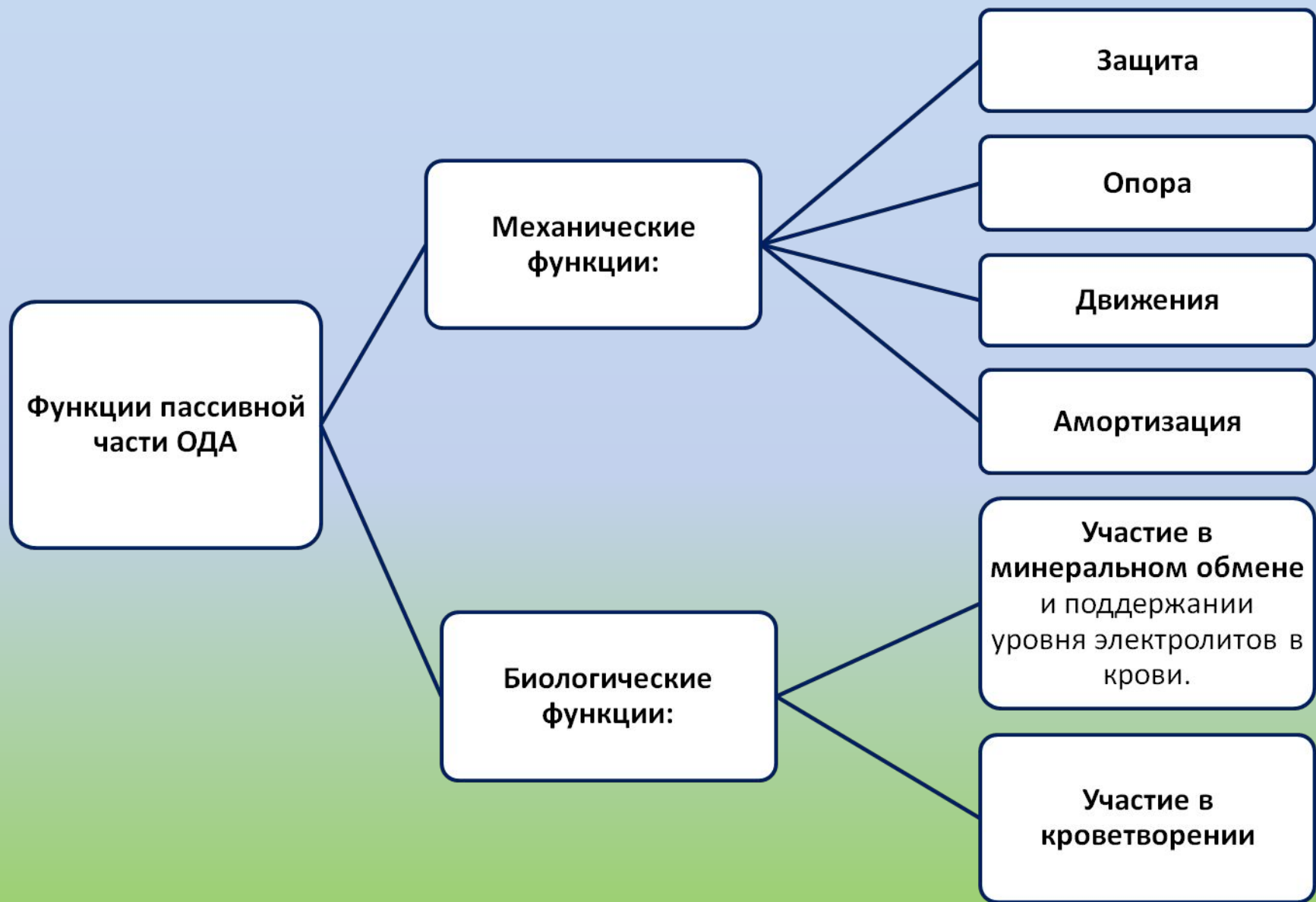
**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

**БИОМЕХАНИКА ДЕФОРМАЦИИ И
РАЗРУШЕНИЯ**

1. Введение. Понятие и компоненты ОДА



2. Характеристики пассивной и активной частей ОДА



Биологические свойства мышц

Возбудимость – это способность мышечной ткани отвечать на действие раздражителя (раздражение) генерацией потенциалов действия (возбуждением), что приводит к сокращению мышцы и изменению её вязко-упругих свойств.

Проводимость – это способность мышечной мембраны проводить возбуждение.

Сократимость - это способность мышцы сокращаться при возбуждении.

- **Сокращение** – это процесс изменения длины мышцы и (или) её напряжения, приводящий к возникновению силы тяги мышцы.



ТЕМА 3

ГЕОМЕТРИЯ МАСС ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

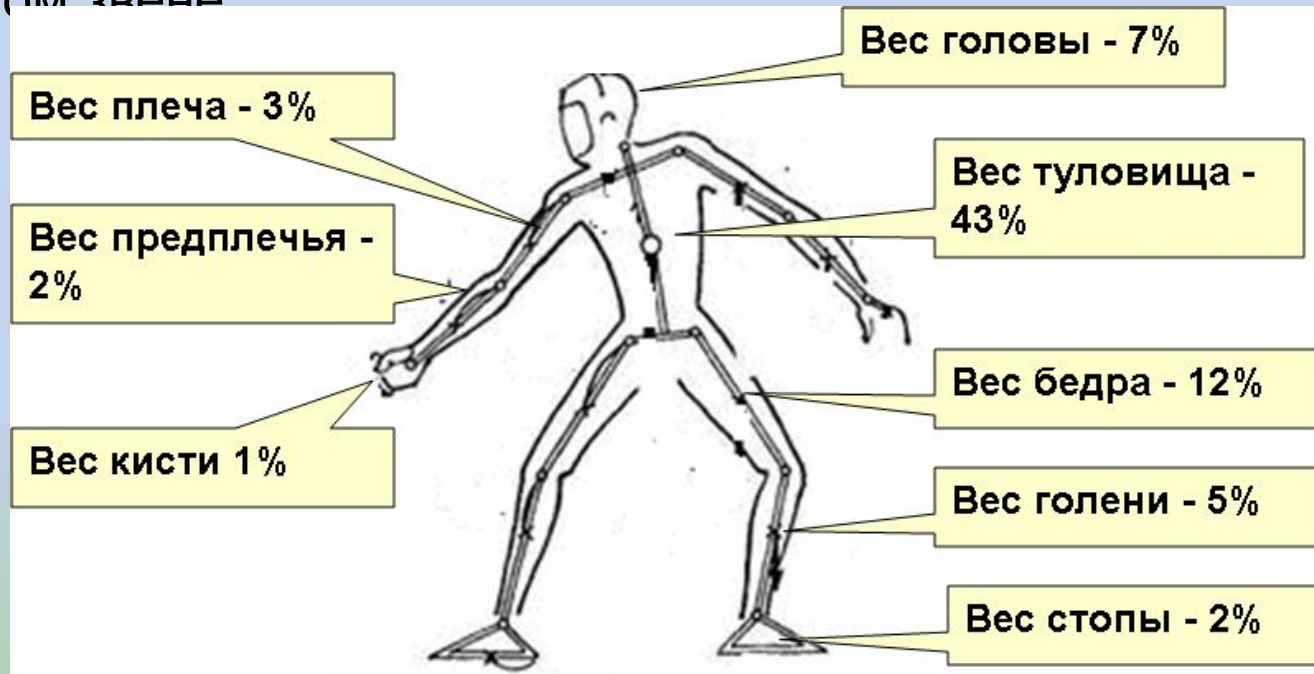
АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЙ ТЕЛА И ЕГО СЕГМЕНТОВ

1. Введение. Характеристики геометрии масс тела человека

- **Геометрия масс** - распределение масс между звеньями тела и внутри звеньев.
- **Масс-инерционные характеристики геометрии масс тела:**
 - масса тела и отдельных его сегментов;
 - инертность и момент инерции тела и его звеньев;
 - общий центр массы (ОЦМ) тела, общий центр тяжести (ОЦТ) и общий центр инерции (ОЦИ);
 - центр объёма тела;
 - центр поверхности тела.

2. Масса тела и её биомеханическое значение

Масса - это количество вещества, содержащееся в теле или отдельном звене



Биомеханическое значение массы

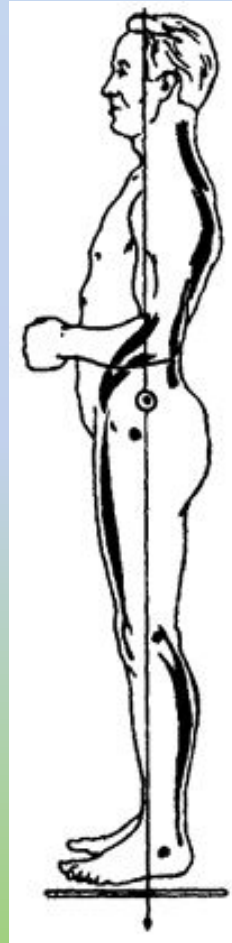
- Масса количественно **характеризует инертность тела**.
- Масса (вес) определяет **гравитационные свойства тела**: величину силы тяжести и других сил.
- Масса определяет **ускорение движения тел (и силы) при их взаимодействие**.

3. Понятие ОЦМ, ОЦТ и ОЦИ тела

- **ОЦМ** тела человека - точка, где пересекаются линии действия всех сил, приводящих тело к поступательному движению и не вызывающих вращения тела.
- **ОЦТ** тела человека – точка приложения равнодействующих сил тяжести всех составляющих его звеньев.
- **ОЦИ** тела – точка приложения всех фиктивных сил инерции.

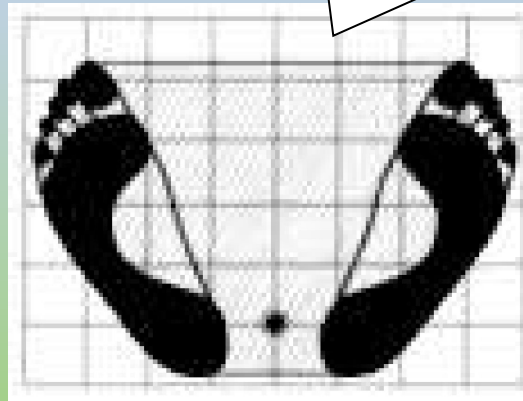
В условиях действия гравитации **расположение всех 3-х центров совпадает.**

Характеристики ОЦТ тела



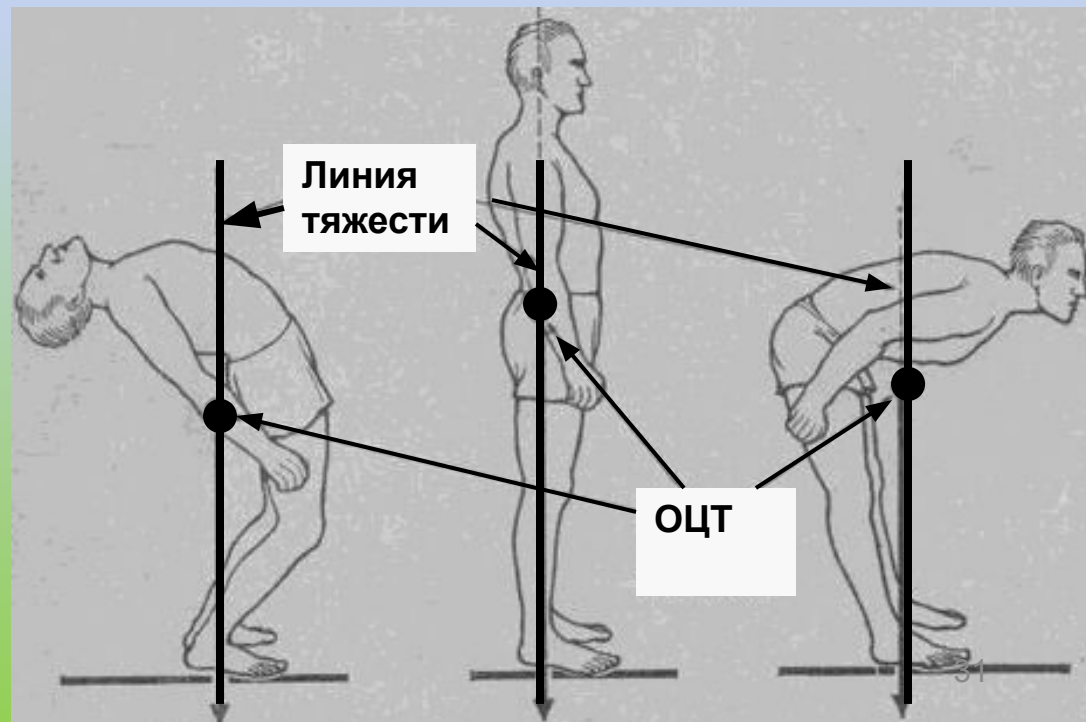
Положение ОЦТ
тела человека – на
уровне от I до V
крестцового
позвонка.

Проекция ОЦТ на опору



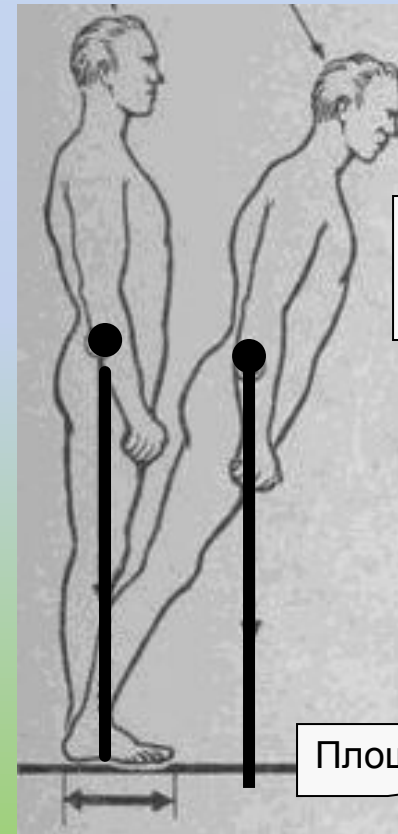
Факторы, влияющие на положение ОЦТ

- **Положение тела:** в положении лежа ОЦТ смещается в сторону головы.
- **Поза.** При наклонах вперед или назад ОЦТ может находиться вне тела.
- **Телосложение.**
- **Мышечная работа** увеличивает кровенаполнение и вес определённых сегментов тела.
- **Фазы дыхания и кровообращения.**
- **Пол:** у мужчин ОЦТ на уровне 2-го крестцового позвонка; у женщин – на 1-2% ниже, чем у мужчин.
- **Возраст:** у новорождённых – на уровне 5-6 грудного позвонка, 2 года – 1-ый поясничный позвонок, до 16-18 лет опускается вниз и кзади.



Биомеханическое значение ОЦТ

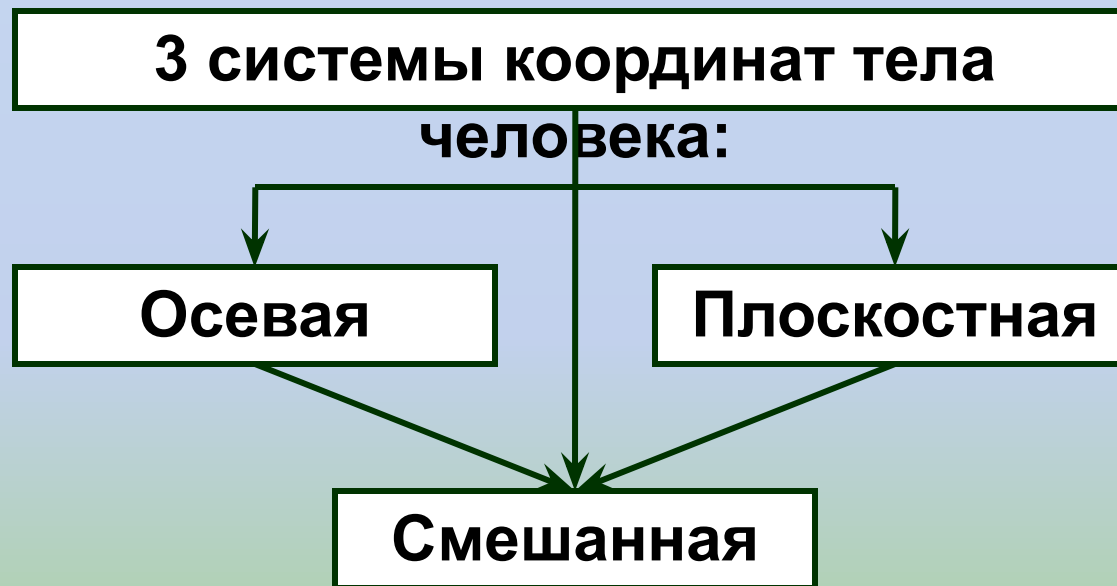
- Расположение ОЦТ влияет на равновесие тела и **устойчивость вертикального положения**:
 - Положение тела тем устойчивее, чем ниже расположен ОЦТ и чем центральнее вертикальная проекция ОЦТ на площадь опоры .
- Положение ОЦТ тела и его звеньев определяет **степень напряжения различных мышечных групп**.
- По расположению ОЦТ человека оценивают различные **статические положения тела**.
- Траектория, скорость и ускорение перемещения ОЦТ тела и ОЦТ сегментов используются для **биомеханического анализа различных движений и разработки оптимальной спортивной техники**.



Потеря устойчивости при отклонении проекции ОЦТ тела за площадь опоры

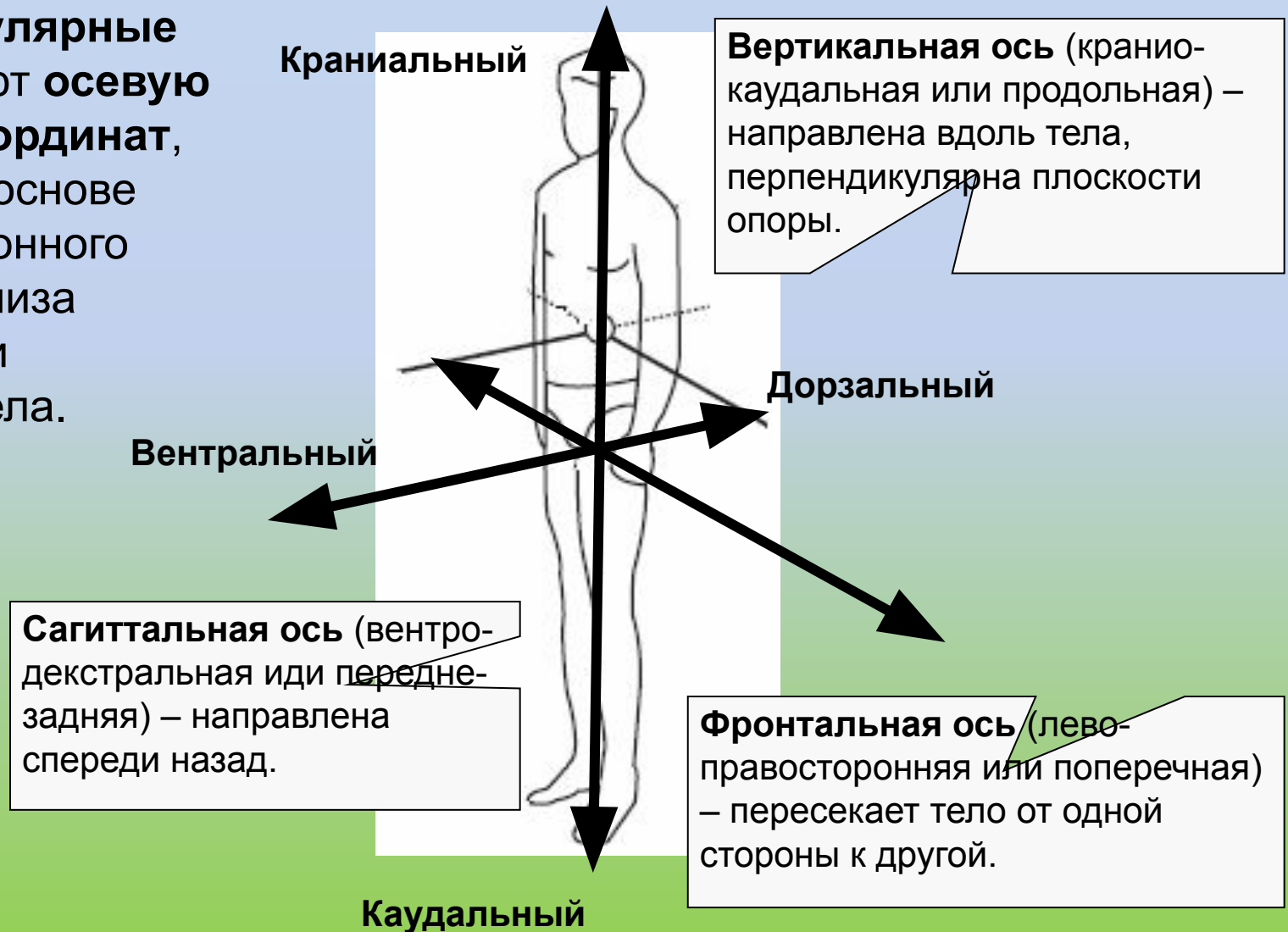
Площадь опоры тела

4. Системы координат тела человека



Осевая система координат тела человека

Три взаимно перпендикулярные оси образуют **осевую систему координат**, лежащую в основе координационного метода анализа положения и движений тела.

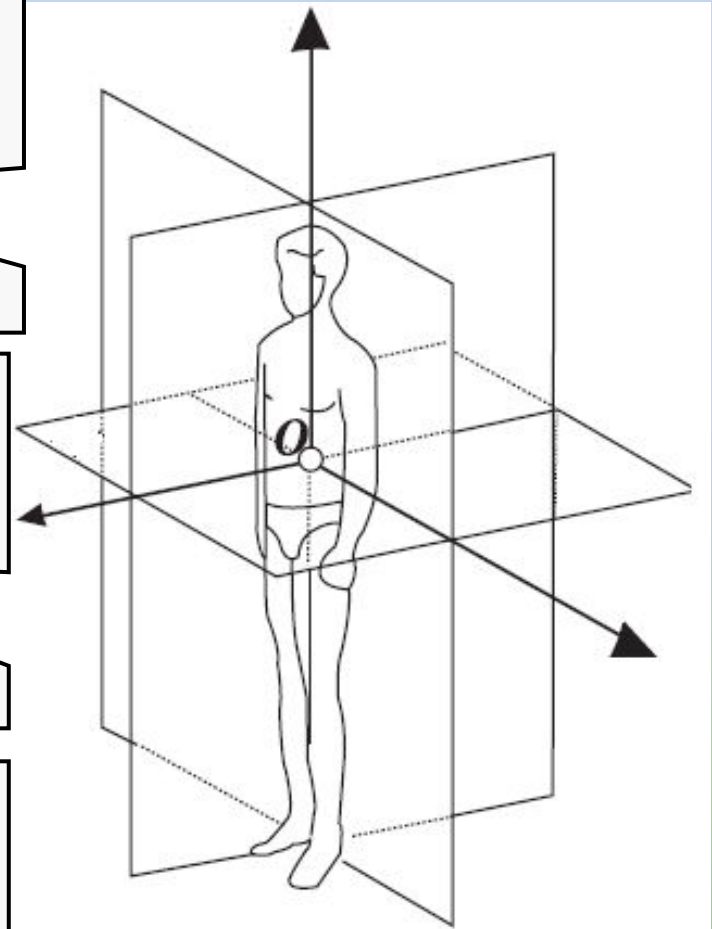


Плоскостная система координат

Фронтальная плоскость ограничена пересечением вертикальной и фронтальной координатных осей; сагиттальная ось расположена к ней перпендикулярно. Делит туловище на переднюю (anterior) и заднюю (posterior) половины.

Горизонтальная плоскость ограничена пересечением фронтальной и сагиттальной осей; вертикальная ось расположена к ней перпендикулярно. Делит туловище на верхнюю (superior) и нижнюю (inferior) половины.

Сагиттальная плоскость ограничена пересечением сагиттальной и вертикальной осей; фронтальная ось расположена к ней перпендикулярно. Делит туловище на правую (dexter) и левую (sinister) половины.



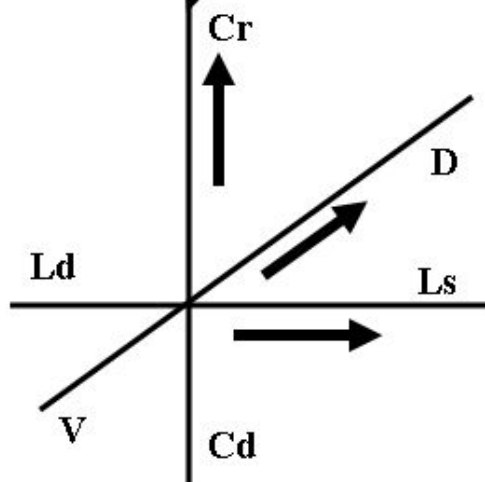
Координационно-плоскостной метод

- Используется для оценки проекционной деформации тела, совершающего **движение вдоль и/или вокруг оси** при его **проекции последовательно на различные плоскости**.
- **Особенно актуален при анализе** причины деформации костных структур на рентгенограммах, компьютерных топограммах, фотографиях и при визуальной диагностике статики и динамики пациентов.

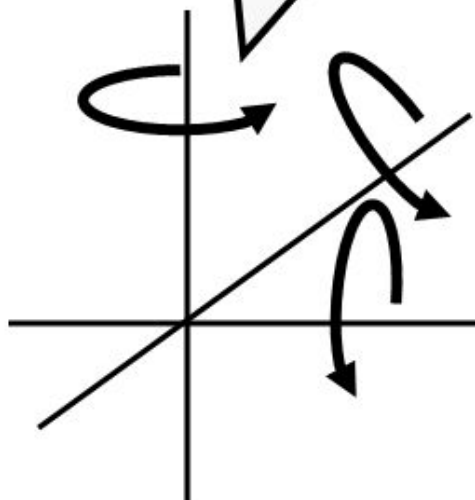
5. Виды движений тела и его частей относительно системы осевых и плоскостных координат

Виды движений вокруг 3-х осей

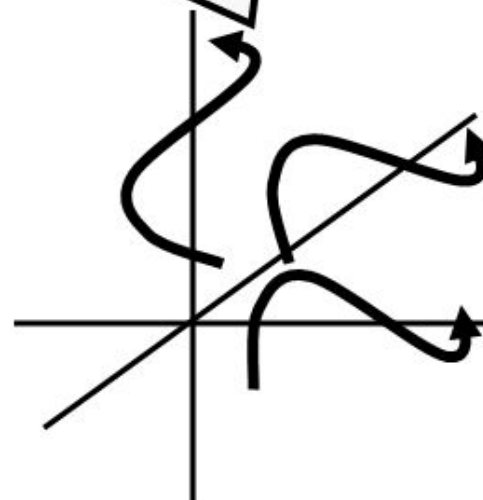
1. Смещение –
линейное движение.



2. Угловое движение или
вращение.



3. Комбинация углового
движения и смещения
вдоль одной и той же оси
одновременно.



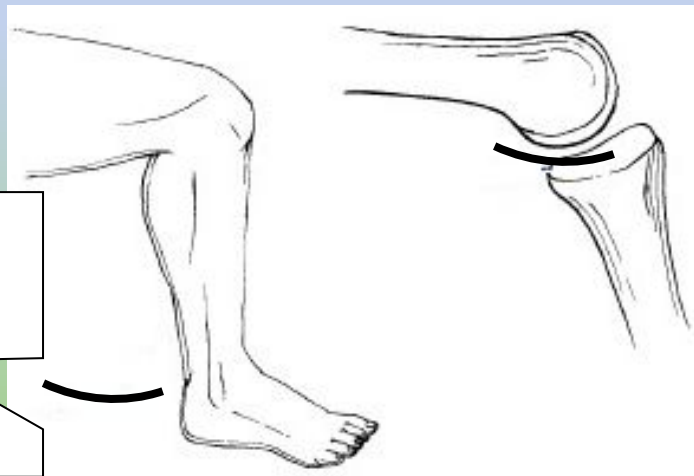
Виды движений в 3-х плоскостях

- В любой из 3-х плоскостей происходят **линейные перемещения** вдоль осей, лежащих в этой плоскости и **вращение вокруг оси**, которая перпендикулярна этой плоскости.
- **Движения в сагиттальной плоскости:**
 - **Линейные смещения** вдоль вертикальной или сагиттальной осей.
 - **Угловые движения** вокруг фронтальной оси (флексия и экстензия).
- **Движения во фронтальной плоскости:**
 - **Линейные смещения** вдоль вертикальной или фронтальной осей.
 - **Угловое движение** вокруг сагиттальной оси (латерофлексия вправо и влево или приведение и отведение).
- **Движения в горизонтальной плоскости:**
 - **Линейные смещения** вдоль фронтальной или сагиттальной осей.
 - **Вращение** вокруг вертикальной (продольной) оси (ротация).

6. Osteo- и артро-кинематические движения

- **Артро-кинематические движения** - специфические движения суставных поверхностей относительно друг друга.
- **Остео-кинематические движения** - движения сочленяющиеся звеньев в суставе.

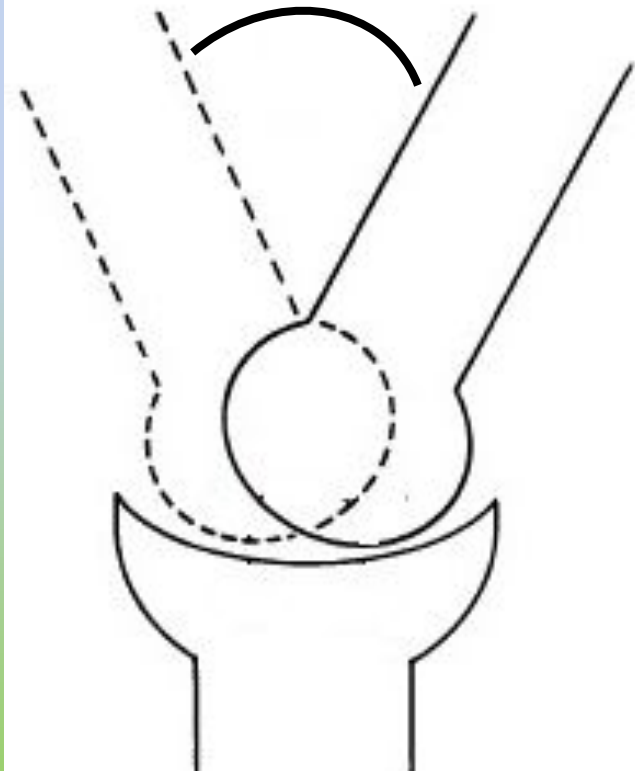
Остео-кинематическое движение: сгибание голени в колене.



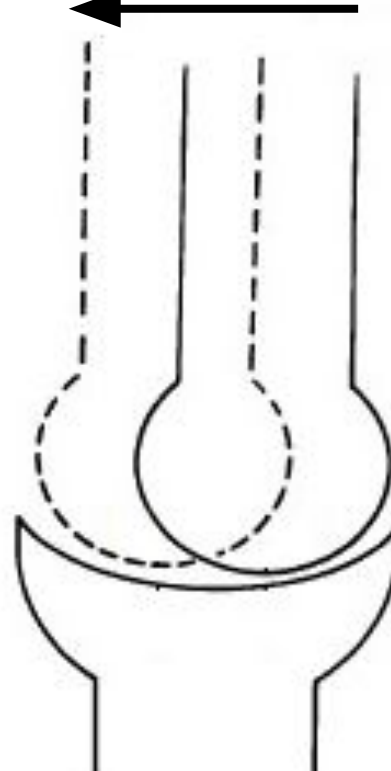
Артро-кинематическое движение: вращение одной суставной поверхности относительно другой в коленном суставе.

Типы артро-кинематических движений

1. Вращение (угловое движение) вокруг суставной оси



2. Скольжение (линейное движение)



3. Сочетание вращения и скольжения

Виды osteo-кинематических движений

Плоскость	Ось	Вид движений
Сагиттальная	Фронтальная	Сгибание (флексия) - уменьшение угла между костными звеньями и разгибание (экстензия) - увеличение угла и выпрямление конечности. В области головы, шеи и туловища – наклоны вперед и назад. В области кисти и стопы – ладонное (подошвенное) сгибание и тыльное разгибание.
Фронтальная	Сагиттальная	Латерофлексия вправо и влево: отведение наружу (абдукция) и приведение внутрь (аддукция). Наклоны в стороны головы и туловища.
Горизонтальная	Вертикальная	Ротация (вращение) внутрь (пронация) и наружу (супинация). Повороты головы и шеи в стороны (скручивание).

- **Последовательный переход движения с одной оси на другую - круговое движение (циркумдукция).**
- **Пружинящие движения и скручивание.**

Тема 4

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕЛА

БИОКИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

ПРИЛОЖЕНИЕ СИЛЫ НА ЗВЕНЬЯ БИОКИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ: РЫЧАГИ И МАЯТНИКИ

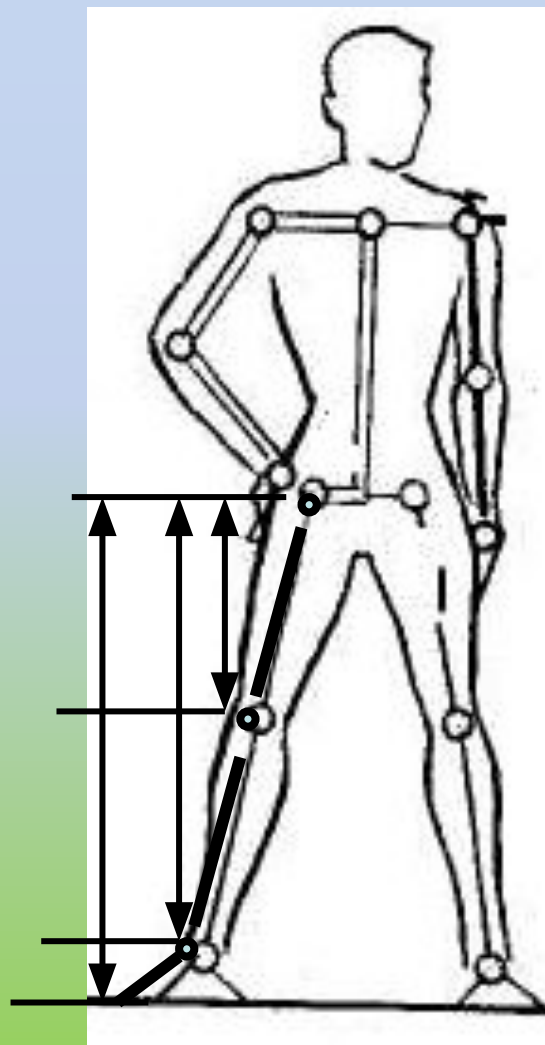
1. Введение. Понятие биомеханической системы тела. Биокинематические цепи

Понятие биомеханической системы тела. Биокинематические цепи

Биокинематическое звено – часть тела, расположенная между соседними суставами или между суставом и дистальным концом конечности.

Биокинематическая пара – подвижное (кинематическое) соединение 2-х костных звеньев, в котором движение определяется строением соединения и управляющим воздействием мышц.

Биокинематическая цепь ОДА – последовательные или разветвленные части тела, соединенные подвижно с помощью суставов.



Биомеханическая система тела - это упрощенная модель тела человека, используемая для изучения закономерностей движений.

Виды биокинематических цепей

```
graph TD; A[Виды биокинематических цепей] --> B[Незамкнутая цепь имеет свободное конечное звено, входящее лишь в одну пару.]; A --> C[Замкнутая цепь не имеет свободного конечного звена. Каждое звено входит в 2 пары.]; B --> D[Характеристики: <br>• Возможность изолированных движения в каждом отдельном суставе.]; C --> E[Характеристики: <br>• Изолированные движения в одном суставе невозможны и действия мышц передаются на отдаленные суставы. <br>• Меньшая возможность совершать движения, но большая точность управления движений.];
```

Незамкнутая цепь имеет свободное конечное звено, входящее лишь в одну пару.

Характеристики:

- Возможность изолированных движения в каждом отдельном суставе.

Замкнутая цепь не имеет свободного конечного звена. Каждое звено входит в 2 пары.

Характеристики:

- Изолированные движения в одном суставе невозможны и действия мышц передаются на отдаленные суставы.
- Меньшая возможность совершать движения, но большая точность управления движений.

Виды биокинематических цепей (прод.)

Цепь замкнутая на себя

Цепь замкнутая через опору

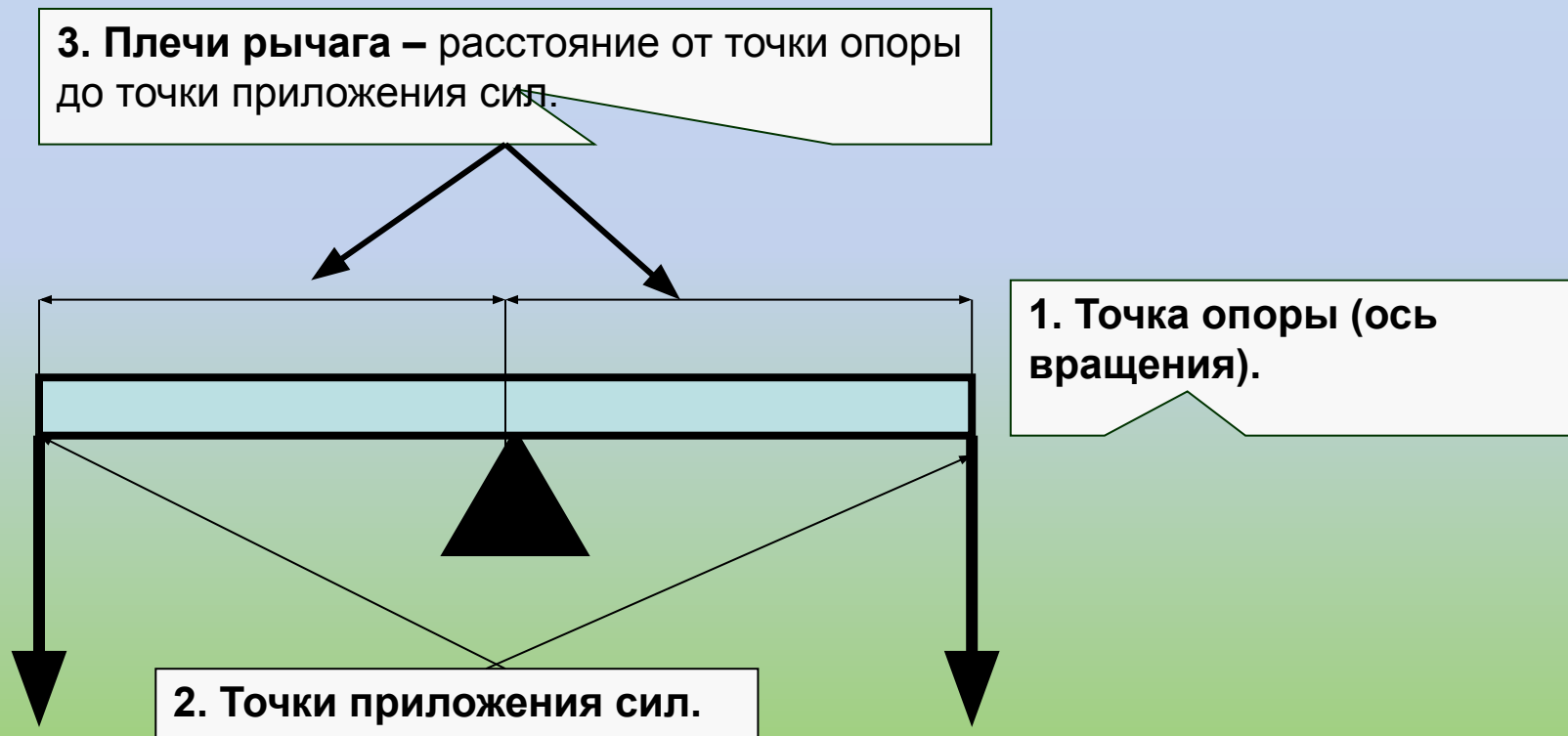


2. Биомеханические рычаги

Понятие рычага

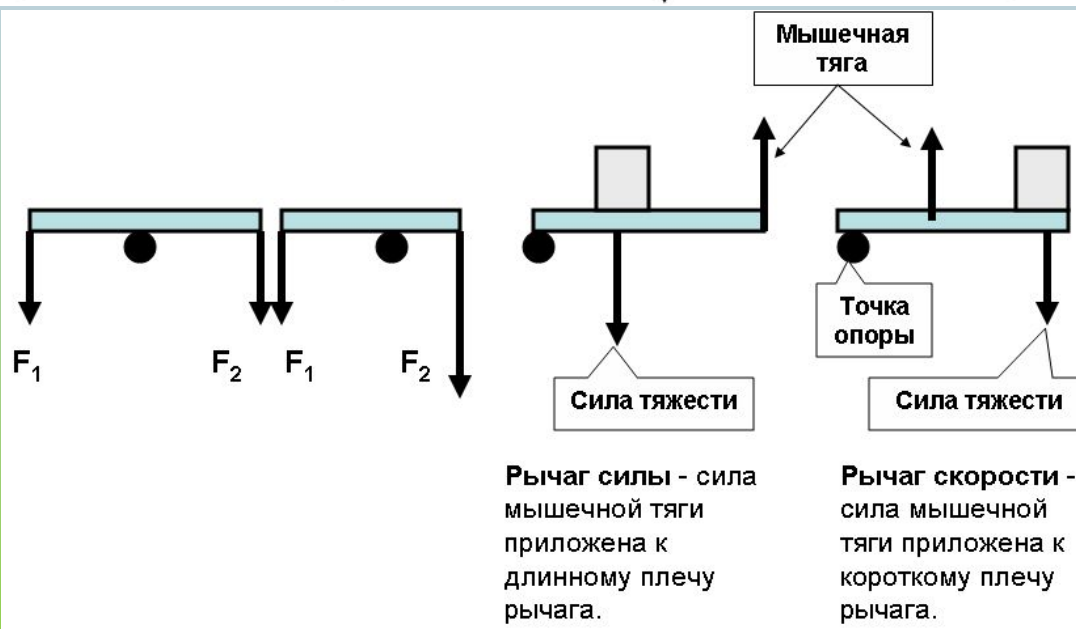
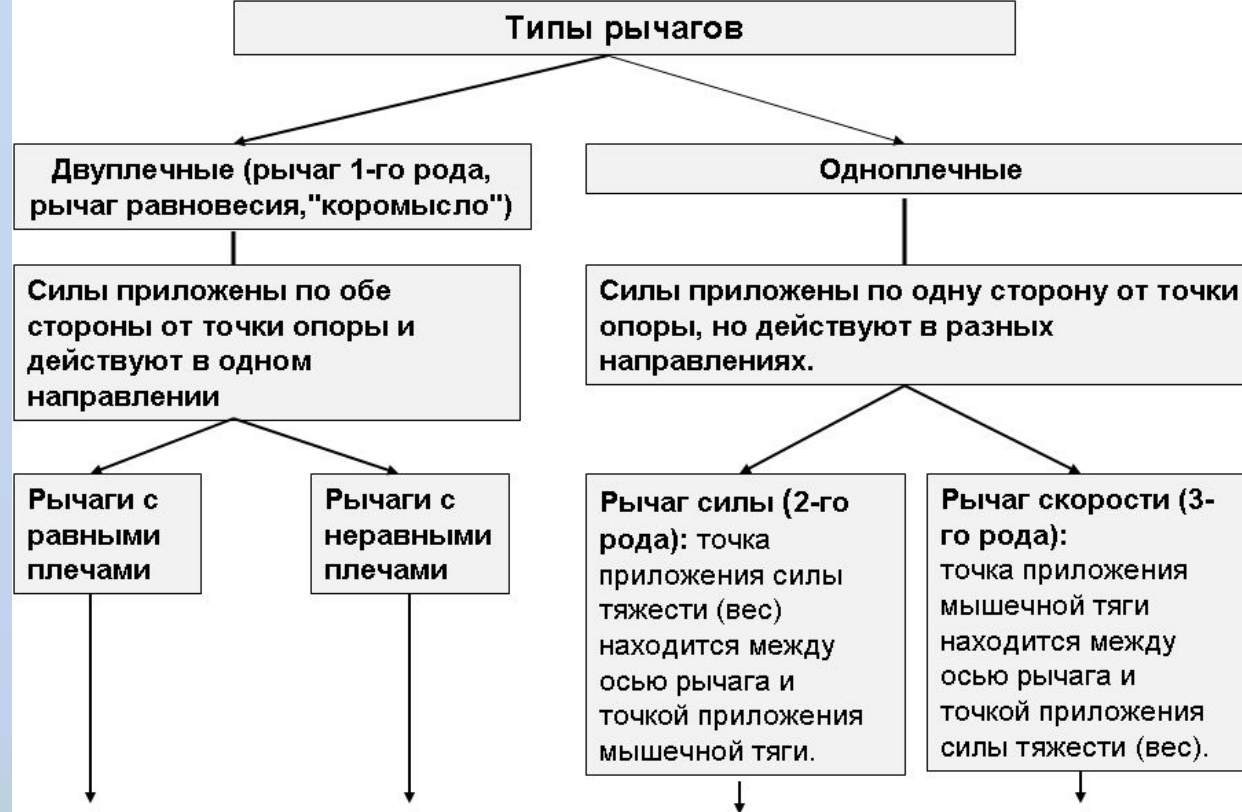
Костный рычаг - это звенья тела, подвижно соединенные в суставах. Рычаг является простейшим механизмом **передачи движения и силы на расстояние**.

Компоненты рычага

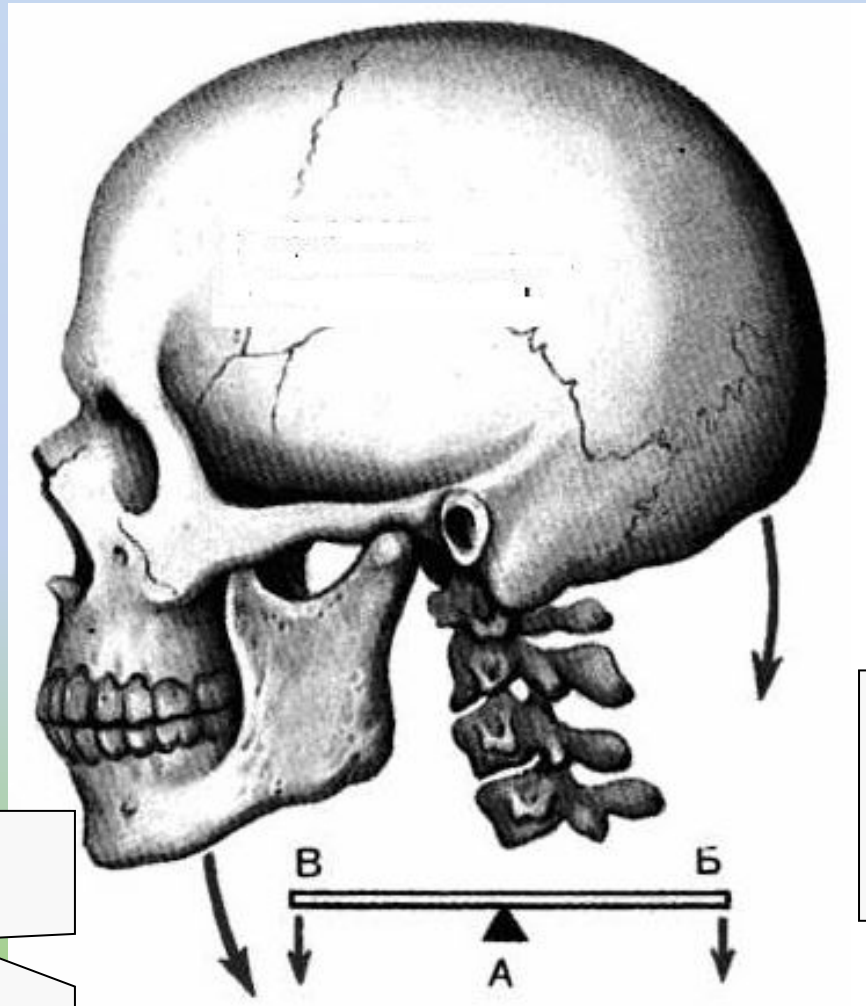


Условия равновесия и ускорения костных рычагов

- Сохранение равновесия рычага или его движение зависит от соотношения противоположно действующих моментов сил (**основной закон рычага**):
 - **Условие равновесия**: противоположно направленные относительно оси рычага моменты сил равны.
 - **Условие ускорения**: один из моментов сил больше другого → ускорение в направлении большего момента сил. Малая по величине сила может преобладать над большей, если она имеет большее плечо, т.е. больший момент.
- **«Золотое правило» механики**:
 - **Чем длиннее одно плечо рычага, тем меньшую силу надо приложить для сохранения равновесия в этом рычаге** (выигрыш в силе).
 - Выигрыш в силе сопровождается уменьшением скорости.
 - Проигрыш в силе (действие большей мышечной силы на короткое плечо) → выигрыш в пути и в скорости (наиболее частый случай в рычагах ОДА).



Примеры двуплечных рычагов



Сила тяжести лицевой части головы.

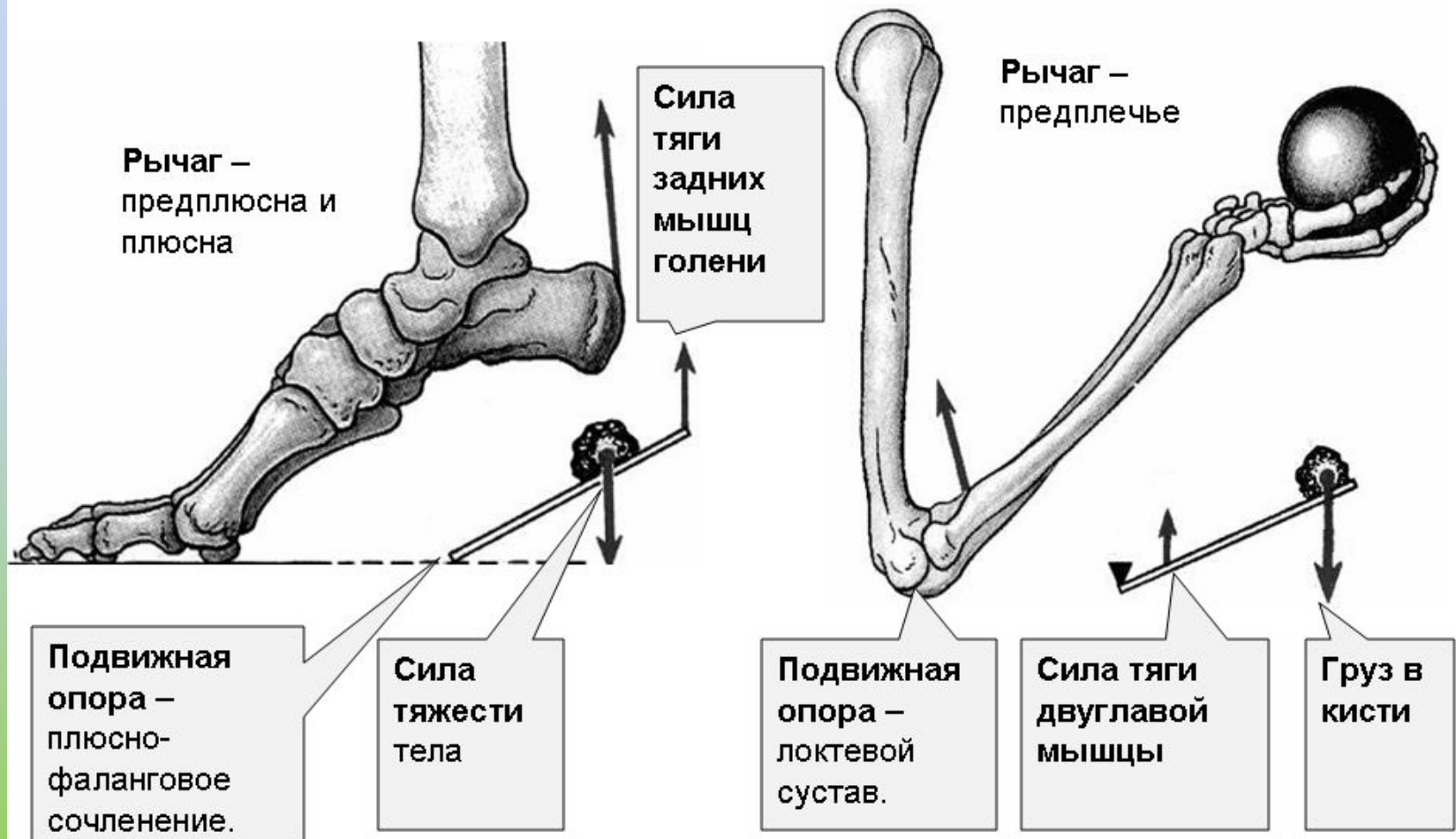
Сила тяги мышц, прикрепляющихся к затылочной кости.

Подвижная опора рычага находится в атлanto-затылочном сочленении.

Примеры одноплечных рычагов

Рычаг силы - выгодные условия для работы, увеличивающие ее эффективность, но потеря в скорости.

Рычаг скорости - меньший эффект при преодолении тяжести, но работа совершается с большей быстротой.



3. Биомеханические маятники

Закономерности маятникообразных движений

- Приложенная сила выводит маятник из равновесия и вызывает движение в одну сторону. Приобретенная во время движения кинетическая энергия затрачивается на качание маятника в противоположную сторону.
- **Собственная частота колебаний маятника** не зависит от массы качающегося тела, но зависит от его длины .
- **Наименьшие затраты энергии** на перемещение биологического маятника наблюдаются при приближении частоты колебаний маятника к резонансной.

Маятник – это звено тела, совершающее колебательные движения. Компоненты: **точка подвеса** и **подвижное звено**, колеблющееся относительно **оси**, проходящей через точку подвеса.

