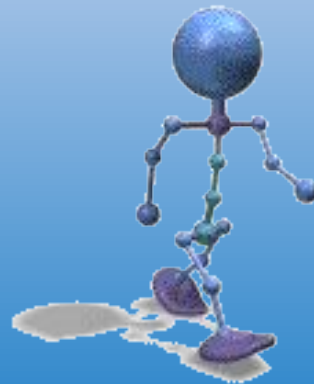


10-11

Циклические и ациклические движения



Содержание лекции

1. Введение. Понятие циклических и ациклических движений
2. Механизм отталкивания от опоры. Стартовые действия
3. Биомеханика шагательных движений и ходьбы
4. Биомеханика бега
5. Биомеханика прыжка
6. Биомеханика плавания
7. Биомеханика перемещающих движений
8. Биомеханика ударных движений

1. Введение

**Понятие циклических и ациклических
движений**

**Механизм отталкивания от опоры
Стартовые действия**

Локомоторные движения: понятие

Локомоторные (поступательные) движения - передвижение тела относительно опоры или среды при помощи усилий мышц.

Виды

- **Основное движение** (ходьба, бег)
- **Вспомогательное движение** (спортивные игры, единоборства, гимнастика и др.)

Виды движений по структуре

Виды движений

```
graph TD; A[Виды движений] --> B[Циклические:]; A --> C[Ациклические:]; A --> D[Смешанные:];
```

Циклические:

с фиксированной опорой (ходьба и бег), со скольжением (лыжный ход), в водной среде (плавание), с механическим преобразованием движений на опоре (велосипед) и на воде (гребля).

Ациклические:

однократные двигательные акты (прыжки, метания и поднимание груза) и их комбинации (гимнастика)

Смешанные:

состоят из циклических и ациклических движений (прыжки в длину - ациклическому прыжку предшествует циклический разбег; метание).

Циклические упражнения

- Многократность повторения одного и того же цикла.
- Последняя фаза одного цикла является началом первой фазы последующего цикла.
- Механизм: ритмический (автоматический) двигательный рефлекс.

Ациклические упражнения

- Имеют выраженное начало и конец.
- Повторение не связано неразрывно с окончанием предыдущего движения и не обуславливает последующее.
- Не строятся на ритмическом двигательном рефлексе.*
- Связанны с максимальной мобилизацией силы и скорости сокращения.

2. Механизм отталкивания от опоры Стартовые действия

Отталкивание от опоры

- Выполняется посредством **2х согласованных движений**:
 - а. собственно отталкивания** ногами от опоры;
 - б. маховых движений** свободными конечностями и другими звеньями.

Механизм отталкивания

При отталкивании опорные звенья неподвижны относительно опоры, а подвижные звенья под действием силы тяги мышц передвигаются в общем направлении отталкивания.

Звенья кинематической цепи

Действующие силы

Опорное звено (стопа)
зафиксирована на опоре
неподвижно

Давление ускоряемых звеньев тела (со стороны голени), направленное назад и вниз

Реакция опоры приложена к стопе в направлении вперед и вверх - внешняя сила, обеспечивающая ускорение телу и передвижение ЦМ; не совершает работу ($h = 0$)

Подвижные звенья
(голень, бедро, таз и др.)
толковой ноги
выпрямляются

Движущие силы и источник работы: мышечная тяга агонистов создаёт ускоряющее движение отталкивания, изменяет кинетическую энергию и выпрямляет ногу (совершает работу)

Тормозящее действие (тяжесть, инерция, тормозящее действие антагонистов)

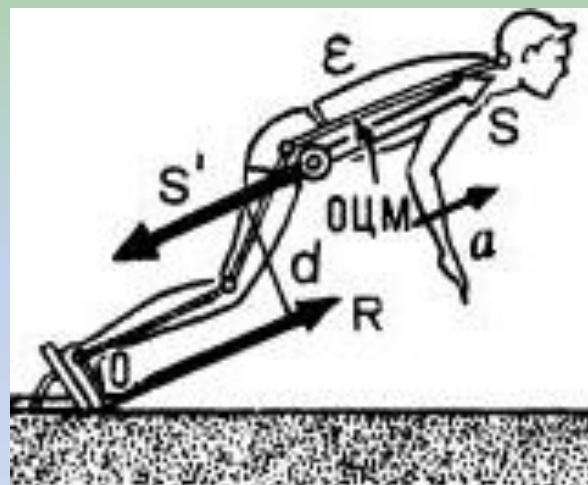
Маховые движения при отталкивании

- **Маховые движения** – быстрые движения свободных звеньев тела в основном по направлению с отталкиванием ногой от опоры
 - Центры масс соответствующих звеньев тела перемещаются → перемещение и ускорение ОЦМ всего тела.
- **Фаза разгона** - скорость звеньев и скорость ОЦМ увеличивается до максимума.
- **Фаза торможения** - мышцы-антагонисты, растягиваясь, напрягаются → уменьшение скорости движения маховых звеньев до нуля.

Стартовые действия

- **Включают** стартовые положения, движения и разгон
- **Стартовые положения** – это исходные позы для последующего передвижения, которые обеспечивают лучшие условия развития стартового ускорения.
 - Определяется правилами соревнований и соответствует **биомеханическим требованиям, вытекающим из задач старта.**

Выдвижение ОЦМ тела вперед и более низкое его положение увеличивают горизонтальную составляющую начальной скорости.



Стартовое положение обеспечивает возникновение с первым движением ускорения ОЦМ тела в заданном направлении.

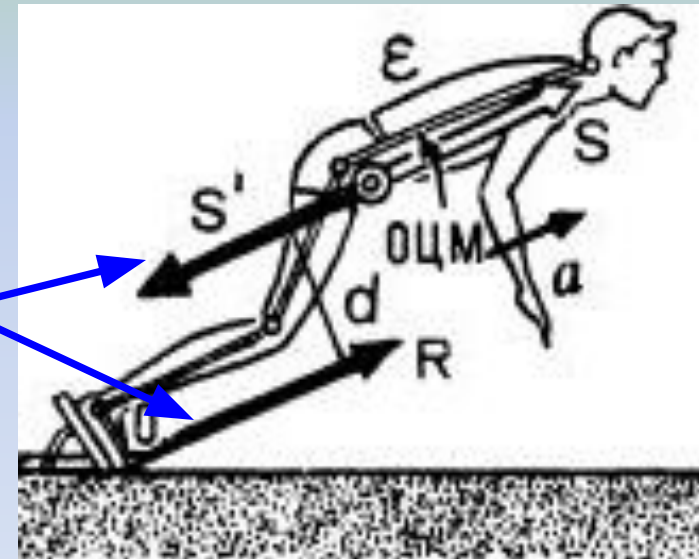
Суставные углы должны отвечать индивидуальным особенностям соотношения рычагов, силовой подготовленности спортсмена и условиям стартового действия.

Стартовые движения

- **Стартовые движения** – первые движения из стартового положения, которые обеспечивают прирост скорости и переход к последующему стартовому разгону.

При старте ОЦМ тела спортсмена приобретает ускорение под влиянием **стартовой силы (S)** обусловленной мышечными усилиями.

Две другие перенесённые силы в ОЦМ (R и S') создают **стартовый момент**, направленный на уменьшение наклона тела



Стартовый разгон

- **Обеспечивает увеличение скорости** движений до такой, какая требуется для передвижения по дистанции.
- **Изменение системы движений** от стартовых до оптимальных для заданной скорости. (например, увеличении длины шагов и уменьшении общего наклона тела в беге).

2. Биомеханика шагательных движений и ходьбы

Основные понятия

Ходьба

- Двигательный навык, приобретаемый в процессе онтогенеза, который представляет собой цепь последовательно закреплённых рефлекторных двигательных действий, которые выполняются автоматически.
- Серия «контролируемых падений» - каждый шаг является по сути контролируемым падением и невозможен без кратковременного отклонения от равновесного состояния.

Походка

- особенности поз и движений при ходьбе, своеобразные для конкретного человека, или группы людей (а также при особых внешних условиях или определенных заболеваниях).

Осанка

- привычное положение тела человека в покое и движении, в том числе при ходьбе.

Основные характеристики ходьбы

- Цикличность
- Универсальный паттерн
- Билатеральная симметричность (относительная)
- Адаптируемость к различным поверхностям
- Экономичность
- Широкий диапазон скоростей

Задачи ходьбы

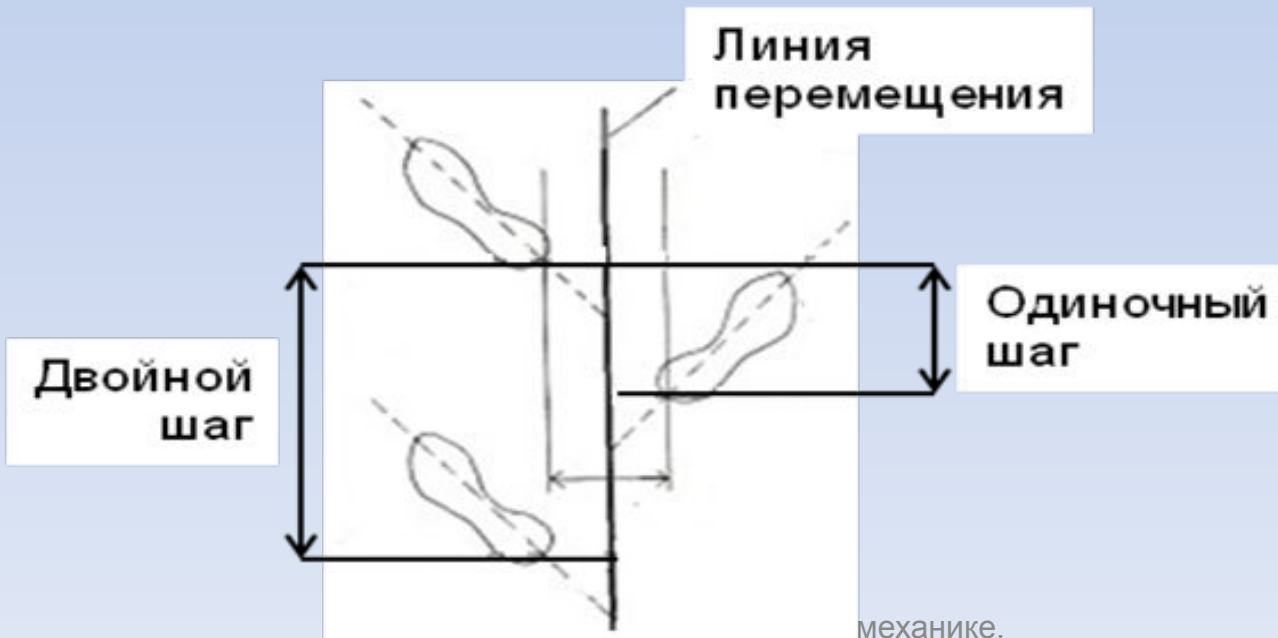
- **Безопасное поступательное перемещение тела в желаемом направлении** (главная задача).
- Удержание вертикального баланса, предотвращение падения при движении.
- Использование минимального количества энергии за счёт её перераспределения в течение цикла шага.
- Обеспечение плавности передвижения.
- Адаптация к поверхности опоры.
- Сохранение походки при внешних возмущающих воздействиях или при изменении плана движений (стабильность ходьбы).
- Устойчивость к возможным иннервационным и биомеханическим нарушениям.
- Оптимизация передвижения, прежде всего, повышение эффективности безопасного перемещения ОЦТ.

Основные понятия биомеханики

ходьбы

Полный цикл ходьбы

- **Цикл ходьбы (stride)** – полный комплекс движений от контакта пятки стопы опоры до следующего контакта этой же пятки.
- Состоит из **двойного шага**, включающего **2 одиночных (коротких) шага каждой ногой (steps)**. Цикл ходьбы включает 2 коротких шага (правый и левый) – двойной шаг.

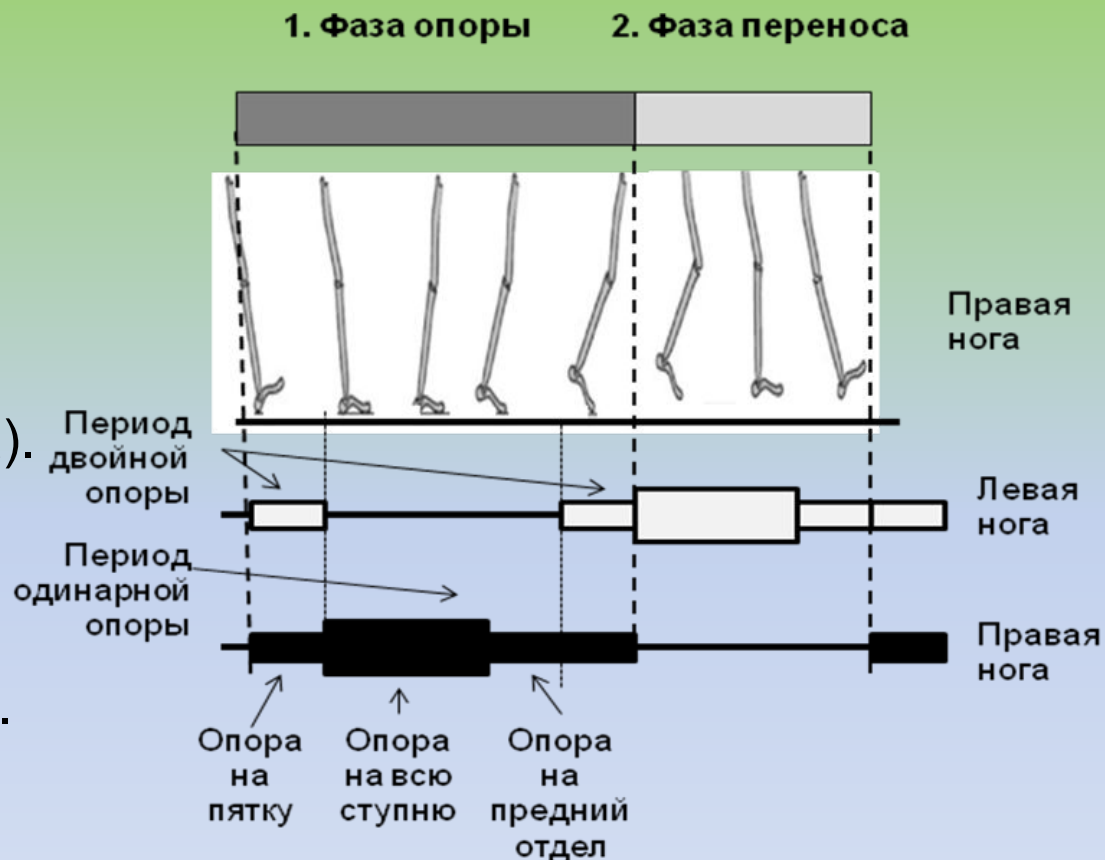


Опорная и переносимая нога

- **Опорная нога** - нога, которая в данный момент опирается на опору, другая нога выносится вперёд - **переносимая или свободная нога**.

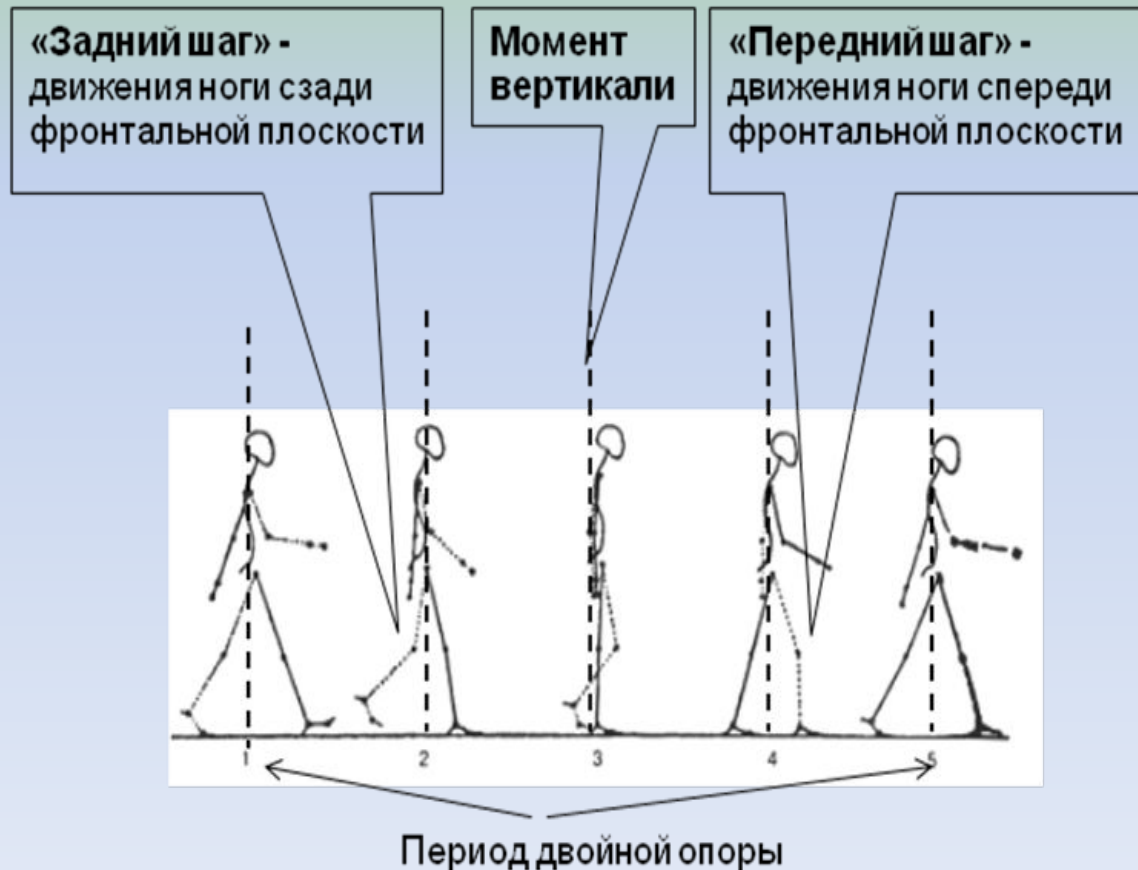
Одинарная и двойная опора

- Период двойной опоры – двумя ступнями (20% цикла).
- Период одинарной опоры – только одной ступнёй с одновременным перемещением второй ноги.
- Во время всего двойного шага ходьбы (и каждого одинарного), тело имеет то двойную, то одинарную опору, не теряя связь с опорной поверхностью.



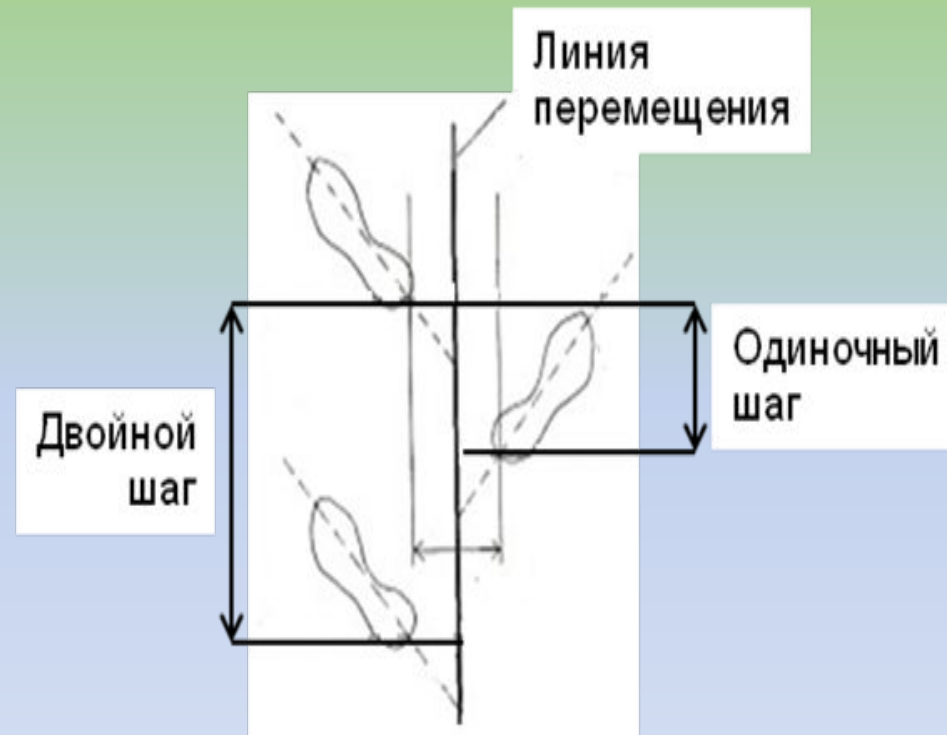
Передний и задний шаги

- Каждый одиночный шаг состоит из двух простых шагов, заднего и переднего, которые можно считать подфазами одиночного шага
- Границей заднего и переднего шагов является **момент вертикали** – фаза движения, когда переносимая нога проходит мимо опорной.



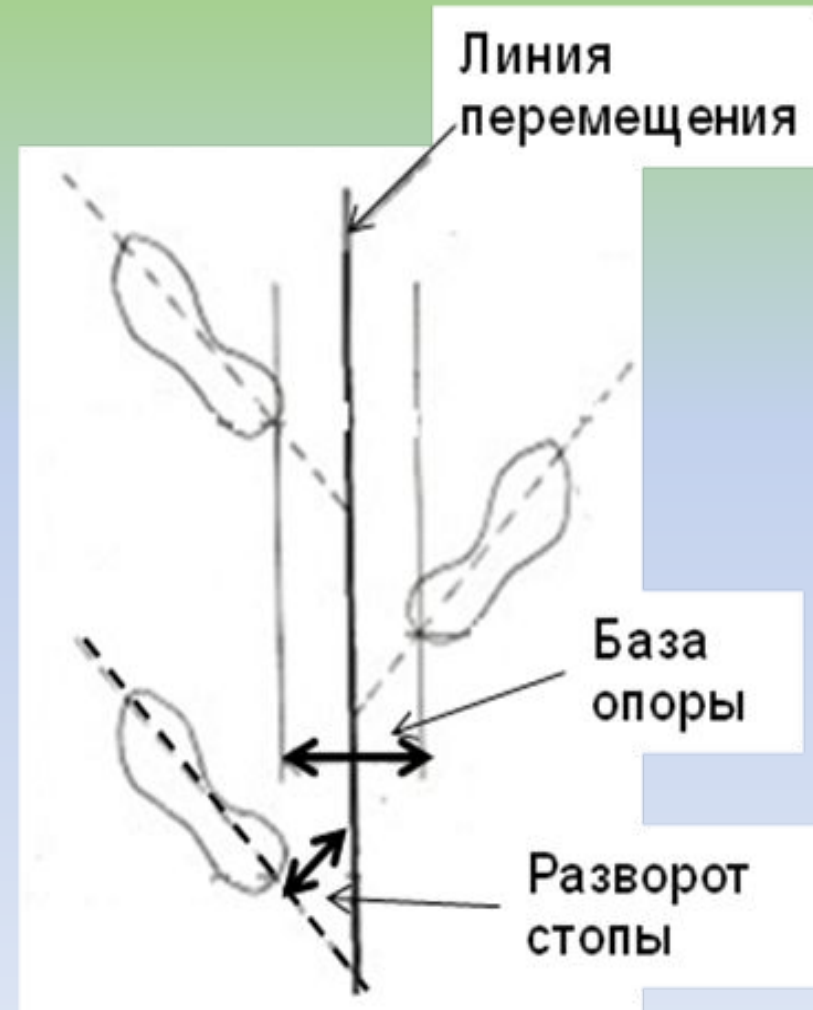
Пространственные параметры ходьбы

- **Линия перемещения ОЦТ**
- **Длина короткого шага (step length)** – расстояние между пятками правой и левой стоп в продольной проекции.
- **Длина двойного шага (stride length)** – расстояние вдоль средней линии между одноименными точками двух ближайших следов одной и той же стопы.



Пространственные параметры ходьбы (прод.)

- **База опоры, ширина (база) шага (step width)** - расстояние между двумя параллельными линиями, проведёнными через центры опоры пяток параллельно линии перемещения тела. Определяет устойчивость тела человека.
- **Разворот стопы** - угол, образованный линией перемещения и продольной осью стопы - линией, проходящей через середину стопы (центр опоры пятки и точка между 1 и 2 пальцами). Чем больше разворот стопы, тем больше база опоры, но меньше эффективность ходьбы.



Основные временные параметры ходьбы

- Длительность фаз опоры и переноса, с
- Длительность периода двойной опоры, с
- Длительность полного цикла шага (**stride time**), с
- Длительность короткого шага (**step time**), с
- Темп шага (**cadence**), шагов в 1 мин - число одиночных шагов (но не циклов) в 1 мин.
- **Ритмичность** – отношение длительности переносной фазы одной ноги к длительности переносной фазы другой ноги.

Скорость, длина, частота и ритм шагов

- **Скорость передвижения прямо пропорциональна длине шага и темпу:**

$$V = l * n / 60$$

где v — скорость передвижения (м/с); l — длина шага (м); n — частота шагов в единицу времени.

Общая закономерность – с увеличением частоты шагов усиливается отталкивание, увеличивается длина шагов и скорость

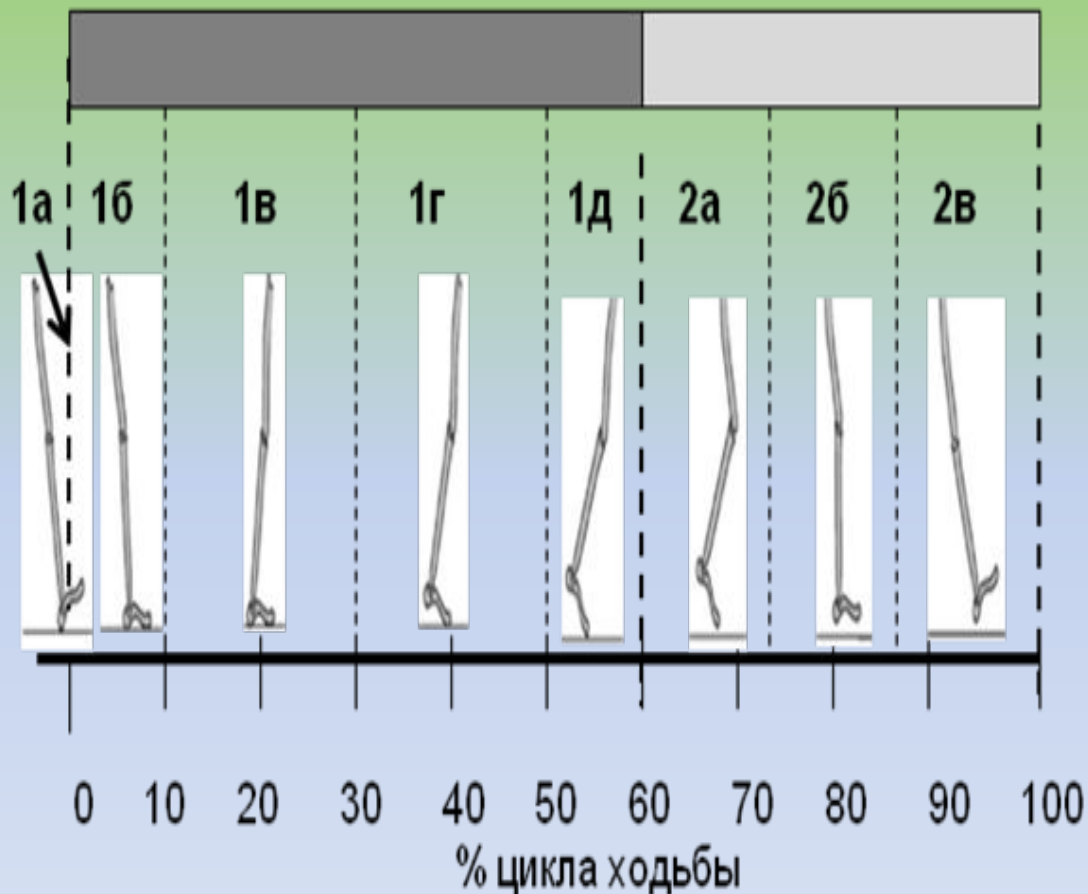
Фазовый анализ ходьбы

Полный цикл ходьбы для каждой ноги состоит из 2-х фаз:

- **фаза опоры (stance phase)** – контакт ступни с опорой
 - происходят прием веса тела с противоположной ноги на опорную, перекал опорной стопы, передача веса тела и отрыв стопы.
 - включает период двойной опоры;
 - составляет 60-62% от цикла двойного шага.
- **фаза переноса (swing phase)** - время переноса ноги,
 - соответствует одноопорному периоду противоположной конечности
 - составляет 38-40% от цикла двойного шага.

1. Фаза опоры

2. Фаза переноса



1. Фаза опоры:

а. начальное касание, (initial contact); контакт пяткой (heel contact, heel strike)

б. начало опоры (loading response); плоская ступня (foot flat); 0-10%.

в. середина опоры (midstance); 10-30% .

г. окончание опоры (terminal stance); отрыв пятки (heel-off); 30-50%.

д. предмаховая (предпереносная), (pre-swing); отрыв пальцев (toe-off); 50-60%.

2. Фаза переноса:

а. начало переноса (initial swing); 60-73%.

б. середина переноса (midswing); 73-87%.

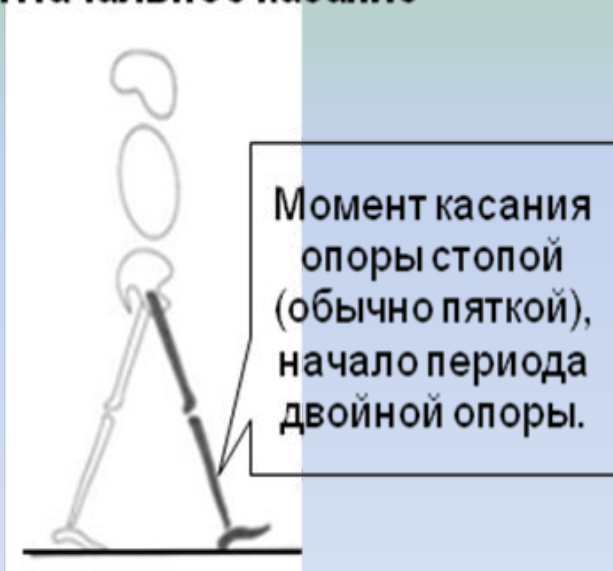
в. окончание переноса (terminal swing); 87-100%.

Характеристика фаз и подфаз ходьбы

1. Фаза опоры

(Los Amigos Research and Education Institute, Rancho Los Amigos Medical Center, CA, 1989)

1.а. Начальное касание



По сути не является самостоятельной подфазой – знаменует начало подфазы опоры.

1.б. Начало опоры



Продолжается до отрыва контралатеральной ноги от опоры для переноса.

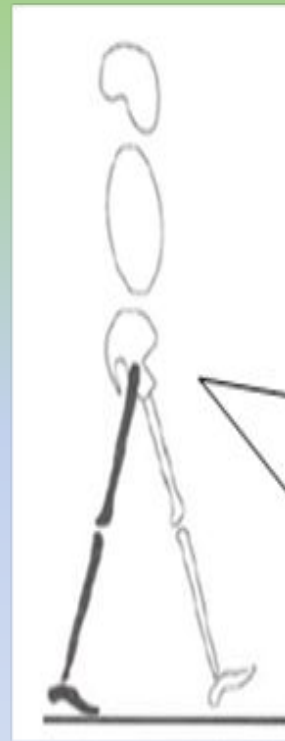
1.в. Середина опоры



Продвижение массы тела над опорной конечностью. Начинается с отрыва контролатеральной ноги от опоры и продолжается пока вес тела не перенесётся вперёд и слегка вверх (над передней частью стопы и большеберцовой костью переносимой ноги). Соответствует периоду одинарной опоры.



1.г. Окончание опоры



Начинается с отрыва пятки и продолжается пока другая нога не коснётся опоры. Перенос веса кпереди стопы. Заканчивается период одиночной опоры.

1.д. Предмаховая



Начинается с начального контакта опоры контролатераотной ногой и заканчивается отрывом пальцев стопы опорной ноги. Быстрое снятие веса с опорной ноги, переносимого на другую конечность (перенос веса). Основная задача – подготовка опорной конечности к переносу. Соответствует второму периоду двойной опоры.

2. Фаза переноса

2.а. Начало переноса



Начинается с отрыва ступни от опоры. Закончивается когда переносимая конечность занимает положение в плоскости опорной конечности. Продвижение переносимого бедра по мере отрыва стопы от опоры (задний шаг).



2.б. Середина переноса



Продолжение выдвигания бедра; колено, достигнув максимального сгибания, начинает разгибаться, сохраняя стопу оторванной от опоры (передний шаг).

2.в. Окончание переноса



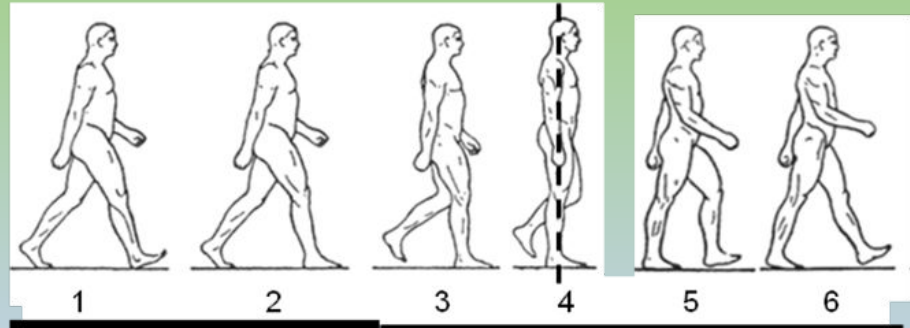
Колено разгибается,
конечность готовится
принять вес в момент
первичного контакта.
Замедление
продвижения ноги
(деакселерация).

Фазы ходьбы

(Н.А. Бернштейн, М.Ф. Иваницкий)

1. Фаза опоры

- А. подфаза переднего шага
- Б. подфаза вертикали
- В. подфаза заднего шага



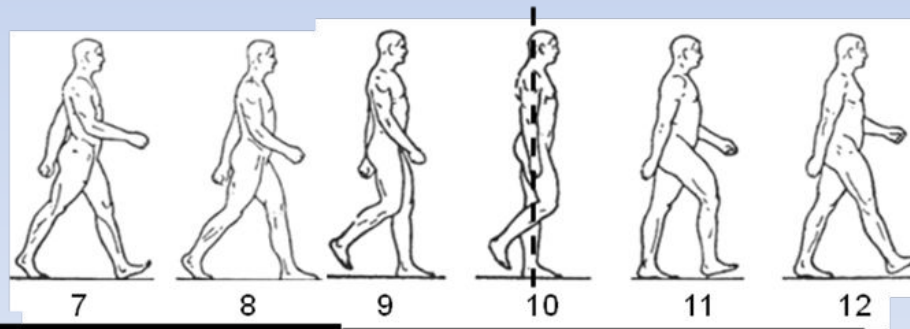
1, 2, 7, 8 -
периоды двойной
опоры

3-6 – шаг при правой опорной ноге,
левой переносимой

4, 10 - момент вертикали

2. Фаза переноса

- А. подфаза заднего шага
- Б. подфаза вертикали
- В. подфаза переднего шага



- **Подфазы фазы опоры:**
 - амортизация
 - отталкивание
- **Подфазы фазы переноса:**
 - мах назад
 - мах вперёд

Детерминанты ходьбы

(Inman et al., 1981)

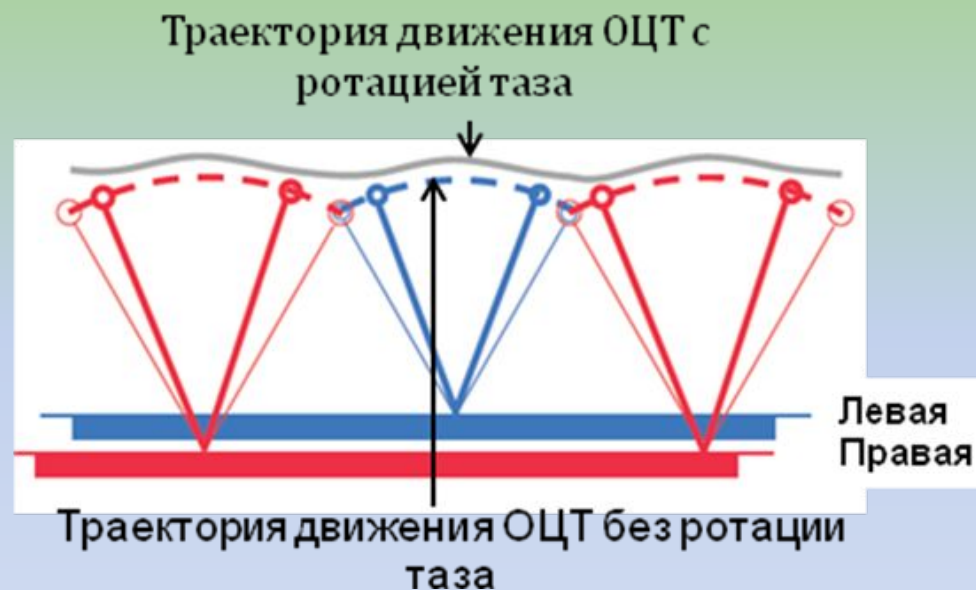
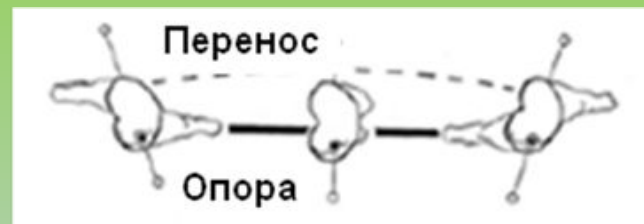
- **Детерминанты ходьбы** – группа факторов, которые динамически взаимодействуют во время цикла ходьбы для контроля траектории движения ОЦТ тела в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Значение детерминант:

- Определяют траекторию движения ОЦТ тела во время локомоции.
- Помогают исследовать и анализировать нарушения ходьбы
- Функциональное значение:
 - Уменьшают смещение ОЦТ при ходьбе.
 - Снижают затраты энергии и повышают эффективность ходьбы.

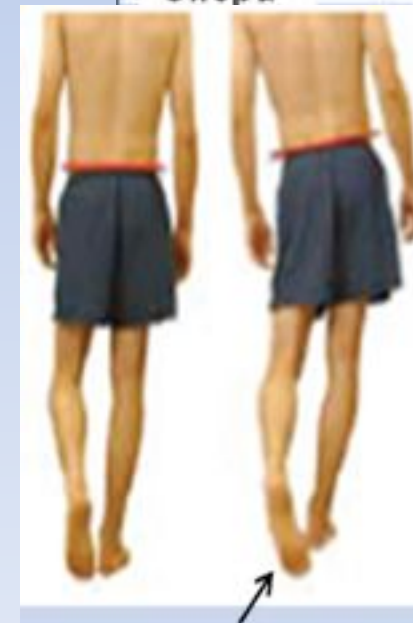
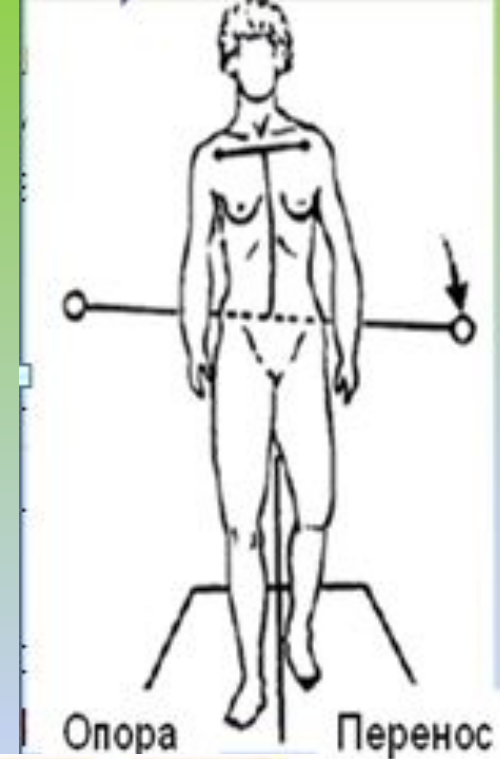
1. Вращение таза

- При нормальной ходьбе таз вращается (около 5 град) в горизонтальной плоскости.
- Значение
 - Вращение таза продлевает фазу опоры, увеличивает длину шага, препятствует снижению траектории движения ОЦТ и сглаживает столкновения траекторий движения правой и левой конечностей.
 - Усиление вращения таза (например, при спортивной ходьбе) замедляет переход от ходьбы к бегу.



2. Наклон таза во фронтальной плоскости

- Таз наклоняется вниз (около 5 град) на стороне переносимой ноги (фаза переноса) во время подфазы одиночной опоры.
- Значение:
 - контролирует амплитуду вертикального смещения ОЦТ - сглаживает вершину угла траектории.
 - вызывает необходимость сгибания в коленном суставе во время переноса, что способствует отрыву стопы от опоры.
 - увеличение угла наклона таза приводит к опущению таза на неопорной стороне и нарушению отрыва стопы (походка Тределенберга).

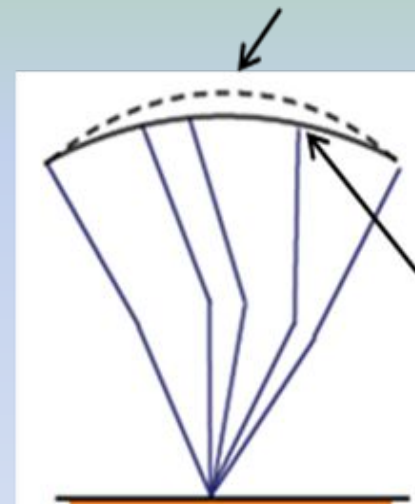


Походка Тределенберга

3. Сгибание в коленном суставе в фазу опоры

- При касании пяткой опоры колено разогнуто и затем начинает сгибаться.
- Максимальную величину угол сгибания (15 град) достигает к середине фазы опоры, после чего происходит разгибание.
- Значение
 - Контролирует эффективную длину конечности – расстояние от ОЦТ до точки контакта с опорой.
 - Дополняет эффект наклона таза по уменьшению вершины траектории движения ОЦТ.
 - Улучшает амортизационную функцию ноги.

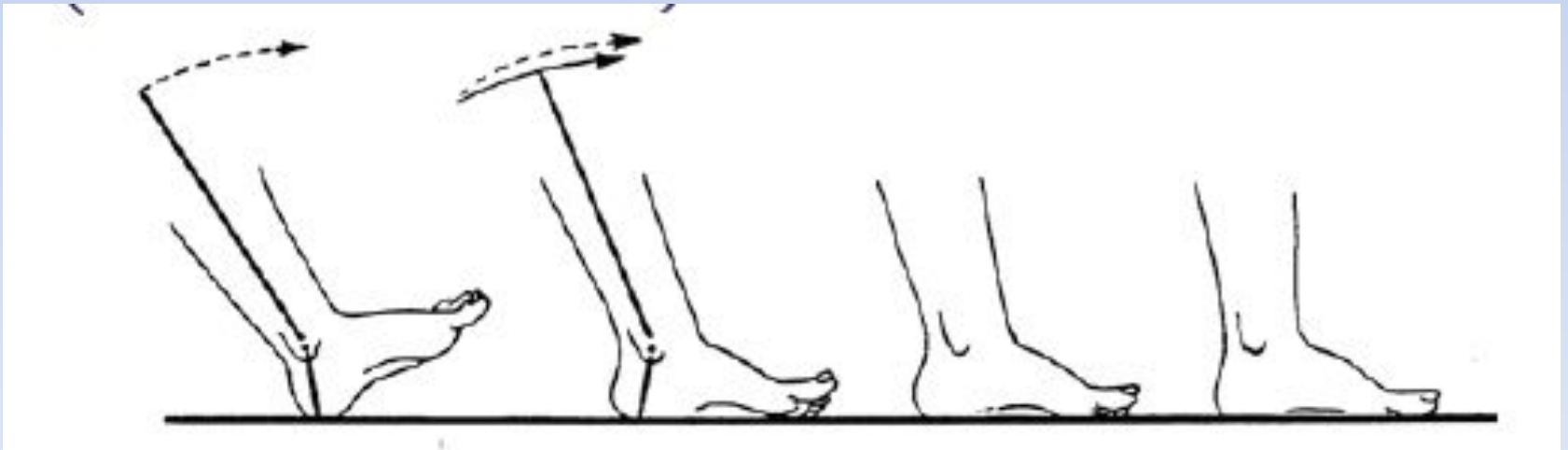
Траектория движения ОЦТ
без сгибания колена



Траектория
движения
ОЦТ со
сгибанием
колена

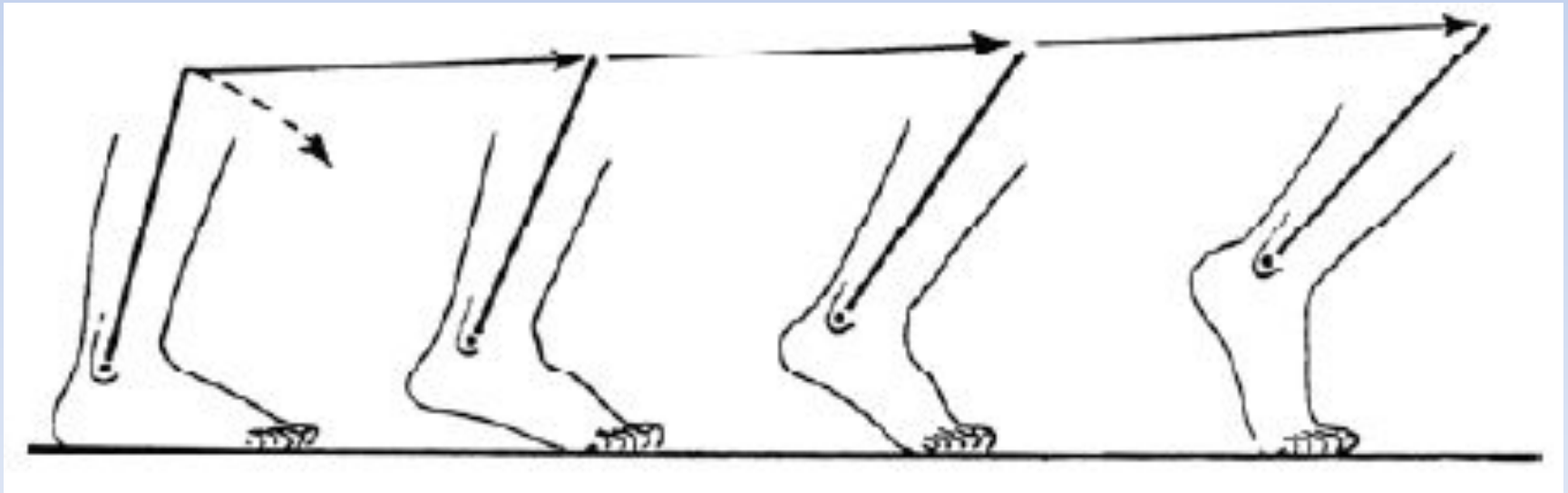
4. Подошвенное сгибание в голеностопном суставе при контакте пяткой (heel strike)

- При контакте пяткой опоры начинается подошвенное сгибание стопы, что способствует опусканию колена (сгибание в коленном суставе), уплощению траектории движения ОЦТ (непрерывная стрелка) и полному контакту стопы с опорой.
- Без сгибания произойдёт поднятие ОЦТ (пунктирная стрелка).



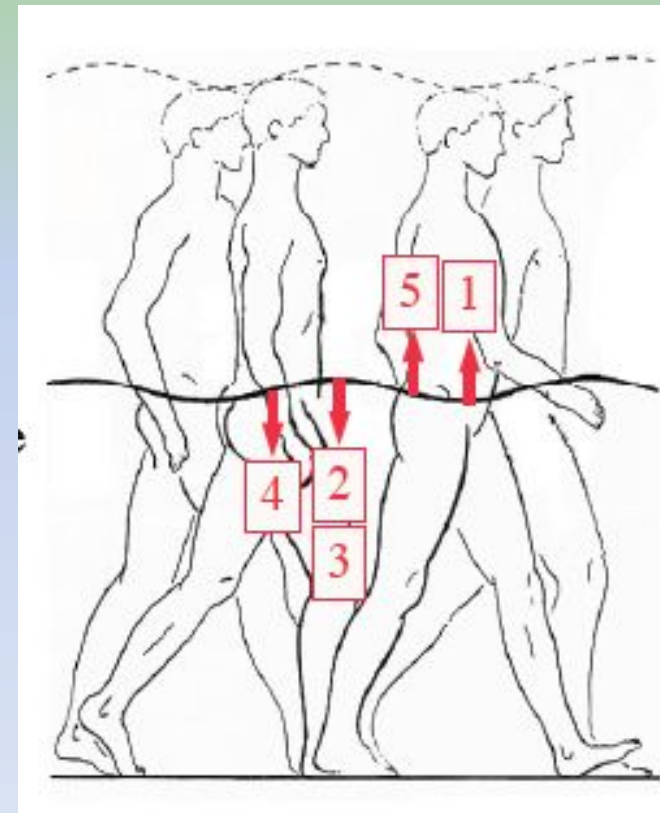
5. Подошвенное сгибание в голеностопном суставе при отрыве пятки от опоры (heel off)

- При отрыве пятки от опоры пятка поднимается за счёт подошвенного сгибания стопы в голеностопном суставе, что обеспечивает более горизонтальную траекторию движения ОЦТ (непрерывная линия).
- При отсутствии поднятия пятки нога будет совершать вращение вперёд вокруг коленного сустава, а траектория движения ОЦТ начнёт совершать резкое падение (пунктирная линия).



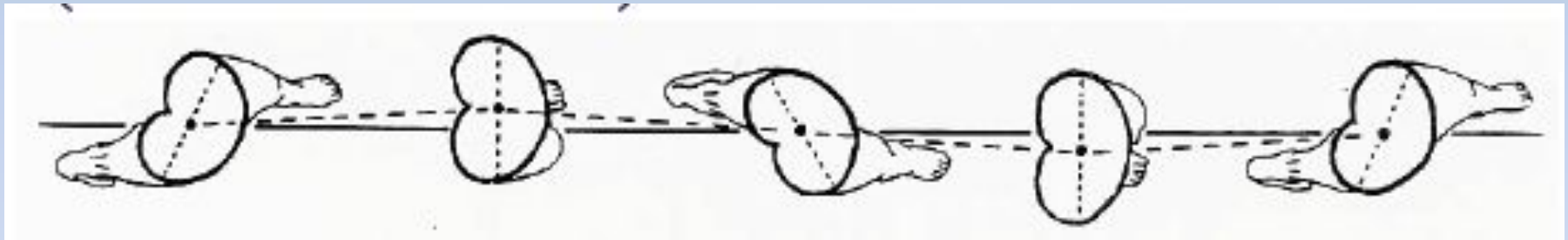
Детерминанты контролирующие траекторию движения ОЦТ в сагиттальной плоскости

- Детерминанты поднимающие нижнюю часть траектории:
 - Вращение таза (1)
- Детерминанты понижающие вершину траектории:
 - Наклон таза (2)
 - Сгибание в коленном суставе при периоде опоры (3)
- Детерминанты уменьшающие крутизну подъёма траектории:
 - Подошвенное сгибание в голеностопном суставе при контакте пяткой (heel strike) (4).
- Детерминанты уменьшающие крутизну падения траектории:
 - Подошвенное сгибание в голеностопном суставе при отрыве пятки от опоры (heel off) (5).



6. Боковое смещение таза

- Во время периода опоры происходит латеральное смещение таза в сторону опорной ноги, что приближает ОЦТ к опорной ноге.
- В результате происходит горизонтальное колебание (осцилляция) ОЦТ.

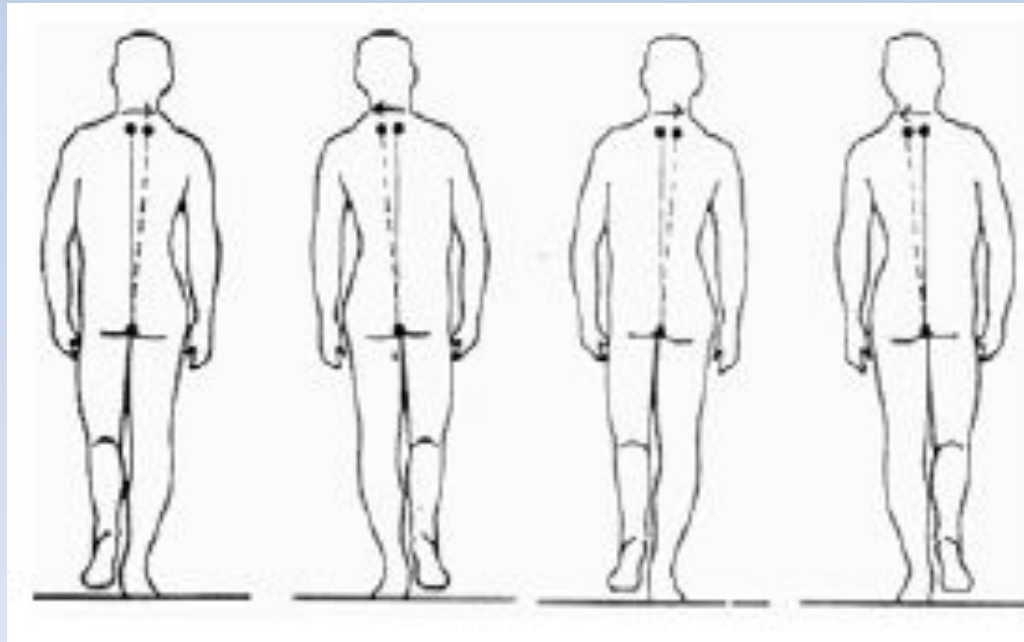


7. **Инверсия- выворот-инверсия в голеностопе** (Inversion-Eversion-Inversion at Ankle (Subtalar) Joint)

- В норме небольшая инверсия отмечается во время пяточного контакта, которая сменяется выворачиванием стопы во время большей части периода опоры. Инверсия снова отмечается во время отрыва пятки. Данная последовательность способствует амортизации за счёт уплощения продольного свода стопы.

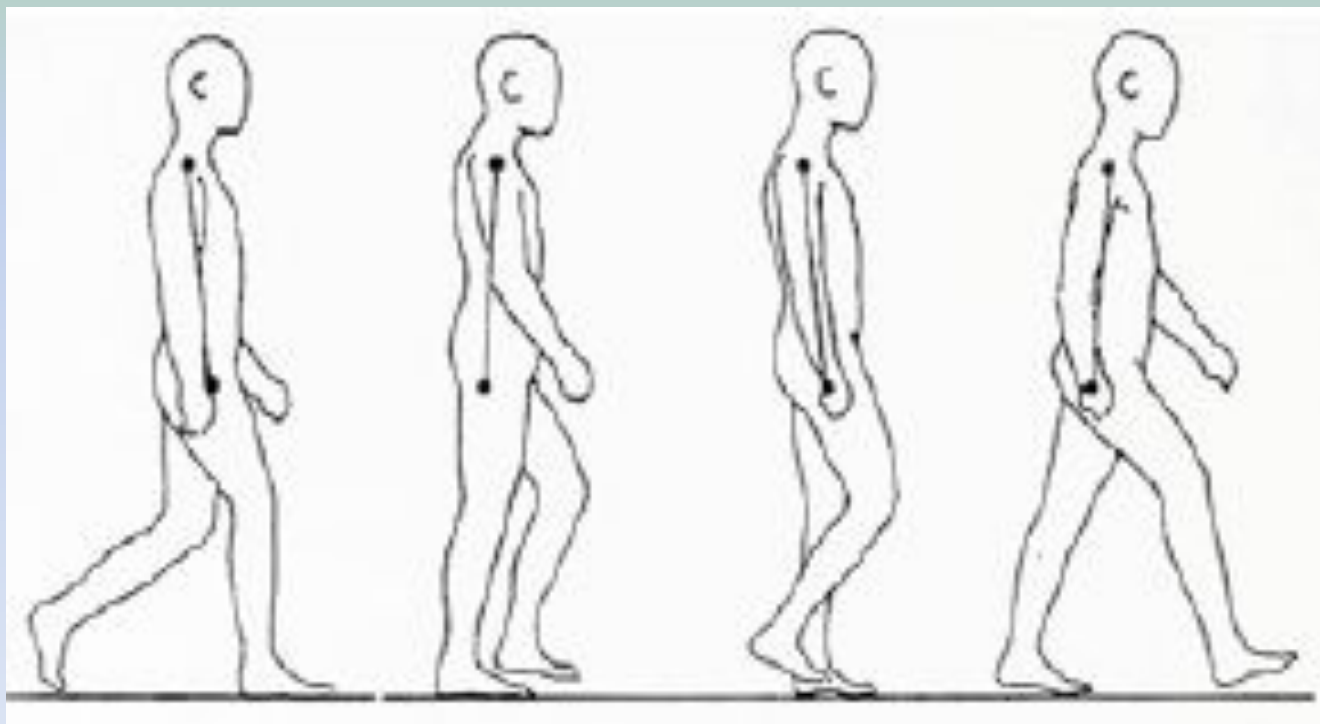
8. Боковое сгибание туловища

- Ипсилатеральное сгибание позвоночника в сторону опоры с соответствующим боковым смещением таза в опорную сторону



9. Передне-заднее сгибание туловища

- Максимальное сгибание туловища кзади происходит в начале периода опоры.
- Максимальное сгибание туловища кпереди происходит в конце периода опоры.



Ходьба с позиции физического маятника

- **Ходьба - «управляемое падение».** При каждом шаге человек наклоняется вперед и начинает падение, которому препятствует выдвинутая вперед нога.
 - После касания опоры на ногу переносится вес тела, колено подгибается, амортизируя падение, и выпрямляется, возвращая тело на исходную высоту.



- Ходьбу рассматривают с позиции модели **прямого и обратного маятника**; сегменты конечностей и тело - система физических маятников

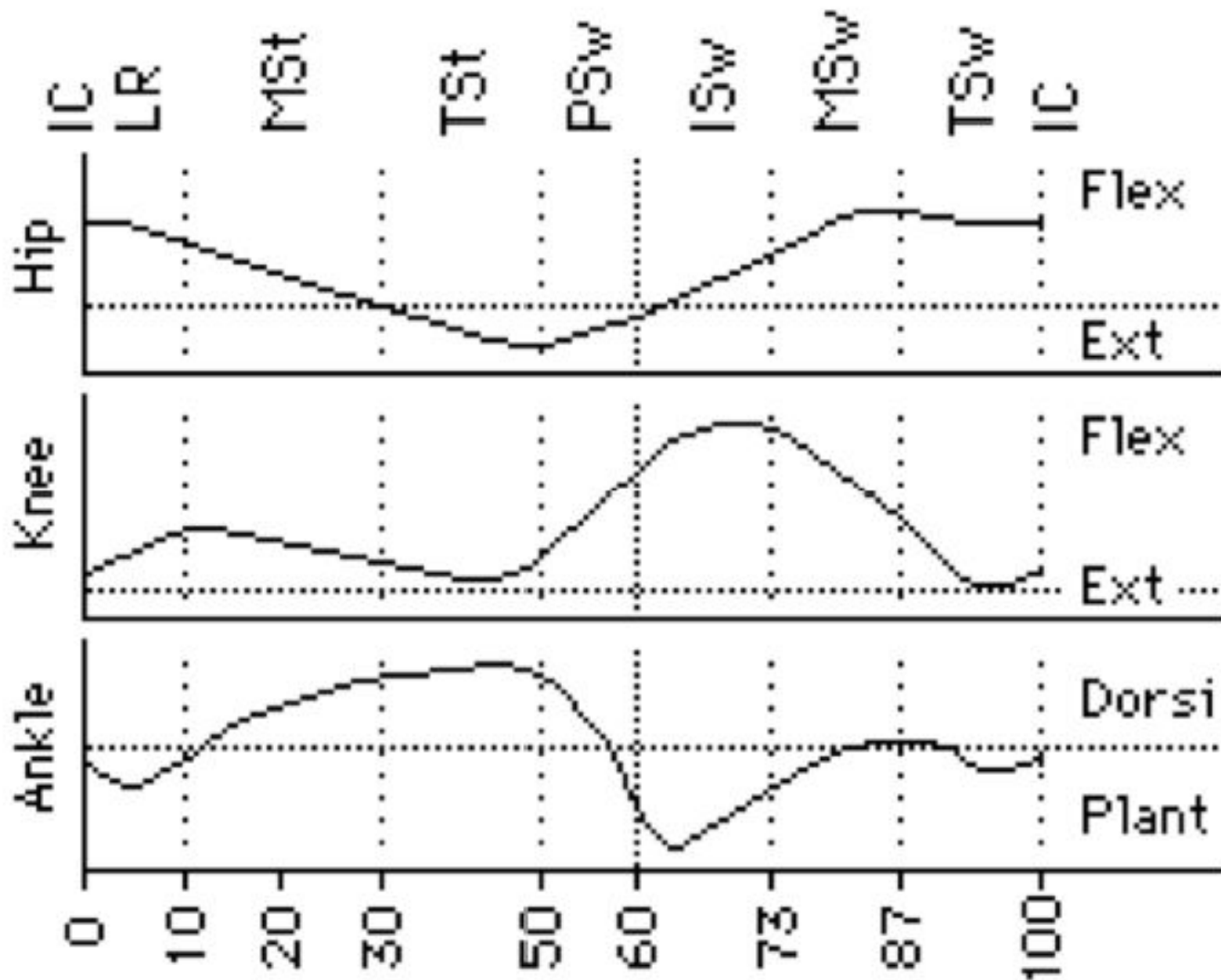
Кинематика ходьбы

- **Кинематические параметры** описывают движения без учёта сил, их вызывающих.
- Отражают объем движений в основных биокинематических звеньях при ходьбе (линейные и угловые перемещения), перемещение ОЦТ в 3 анатомических плоскостях тела, скорости и ускорения перемещений.

Движения нижней конечности в сагиттальной плоскости

| Фазы | Опора | | | | | Перенос | | |
|------------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| | Первое касание | Начало опоры | Середина опоры | Окончание опоры | Пред-маховая | Начало | Середин а | Окончание |
| Таз | 5 вперёд рот. | 5 вперёд ротация | 0 | 5 назад ротация | 5 назад ротация | 5 назад ротация | 0 | 5 вперёд ротация |
| Тазоб. сустав | 25 сгиб. | 25 сгиб. | 0 | 20 разгиб. | 0 | 25 сгиб. | 25 сгиб. | 25 сгиб. |
| Колен. сустав | 0 | 15 сгиб. | 0 | 0 | 40 сгиб. | 60 сгиб. | 25 сгиб. | 0 |
| Голеност оп | 0 | 10 ПС | 5 ТС | 10 ТС | 20 ПС | 10 ПС | 0 | 0 |
| Пальцы | 0 | 0 | 0 | 30 ПФС разг. | 60 ПФС разг. | 0 | 0 | 0 |

Degrees of Motion



ALL CURVES

Кинетические параметры (динамика ходьбы)

- Кинетические параметры отражают силы, вызывающие движение.
- В настоящее время отсутствуют доступные методы прямого измерения силы тяги работающих мышц.
Единственная сила, которую можно измерить при ходьбе, - это сила реакции опоры.

Действующие силы при ходьбе

- 1. Внешние – приложены к человеку извне** (источник за пределами тела). Действие этих сил изменяет движение тела.
 - Сила реакции опоры; сила тяжести; сила сопротивления среды; сила инерции внешних тел.
- 2. Внутренние силы** - возникают при взаимодействии частей тела; источник находится внутри тела. Сами по себе они не изменяют движения тела, но управляют движениями звеньев в суставах
 - **Пассивные:** напрямую **не связаны с физиологическими процессами** и являются результатом пассивного взаимодействия между структурами ОДА.
 - сила упругой деформации тканей; сила инерции звеньев тела при движении; сила трения вследствие смещения компонентов тела при движении; сила сопротивления пассивной части ОДА, ограничивающая движения: сила, обусловленная вязкостью мышц, замедляющая их растяжение и сокращение.
 - **Активные:**
 - сила сокращения (тяги) мышц

Сила реакции опоры:

- Действует на тело со стороны опоры; приложена в точке опоры.
- Точка приложения вектора силы реакции опоры называется **центром давления**.
- Во время цикла ходьбы происходит перемещение центра давления – от наружного отдела пятки вдоль наружного края стопы в медиальном направлении к точке между 1 и 2 пальцем стопы.



HS



FF



HO



TO

Сила реакции опоры (прод.)

- Равна и противоположно направлена силе, которую оказывает тело на опору.
- При стоянии равна и противоположна силе тяжести.
- **При движении СРО** увеличивается на величину силы инерции и силы тяги мышц, создаваемую при отталкивании от опоры;
- Может быть разложена на **три составляющие**:
 - вертикальная – порождена силой тяжести и силой мышц (отталкивание от опоры ступней)
 - продольная (передне-задняя) – равна силе трения, удерживающей стопу от передне-заднего скольжения.
 - поперечная (медиально-латеральная) – порождена силой трения.

Сила тяжести:

- равна произведению массы тела и ускорения свободного падения;
- придаёт телу вес;
- приложена к ОЦТ;
- направлена вертикально вниз.

Сила сокращения (тяги) мышц

- создается физиологическими процессами в самой мышце (сокращением/напряжением).
- приложена к костным рычагам и вызывает движения в суставах.
- **зависит от** анатомического и физиологического сечений мышцы, угла прикрепления мышцы к кости и типа рычага.
- **находится под контролем нервной системы человека.**

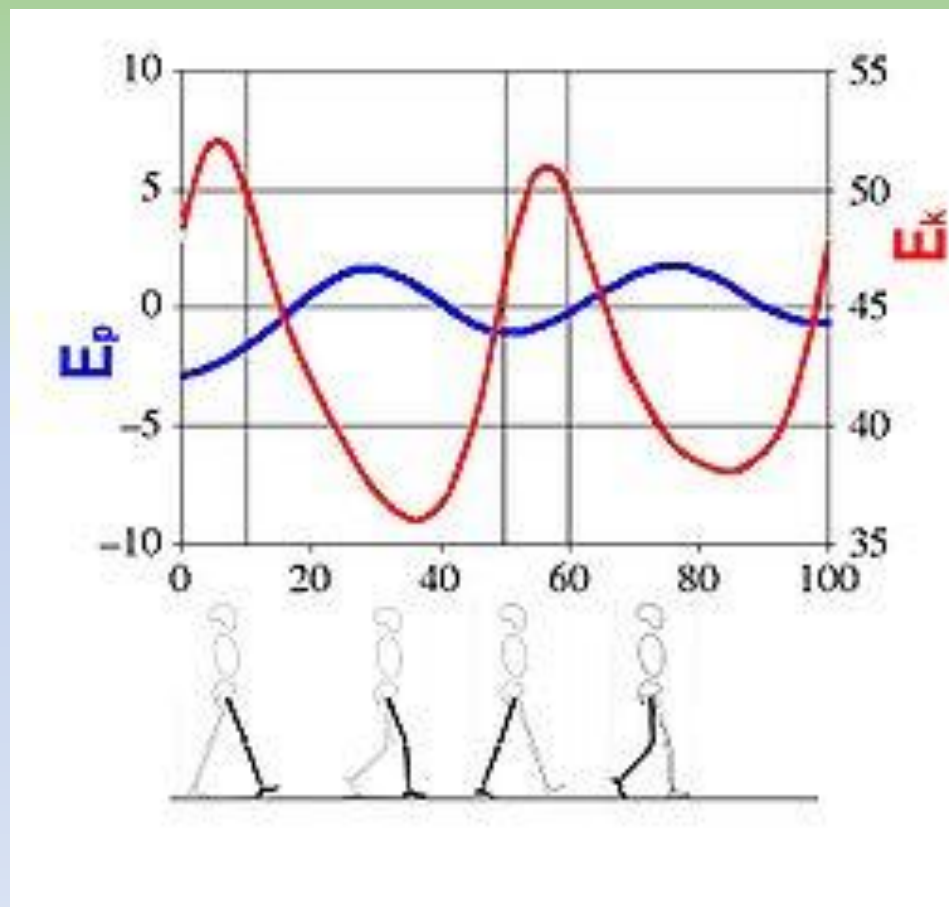
Режимы сокращения мышц при ходьбе

Мышцы, участвующие в акте ходьбы сокращаются в 2 режимах – концентрическом и эксцентрическом.

- **Концентрический режим** – уменьшение длины мышечных волокон (укорочение мышцы).
- **Эксцентрический режим (уступающий, удлиняющее сокращение)** - мышца сокращается, но приложенная нагрузка растягивает (удлиняет) её несмотря на развиваемое напряжение. В этом случае удлинение мышечных волокон не активный процесс, осуществляемый сократительными белками, а результат действия на мышцу внешней силы.

Эффективность ходьбы

- Основным механизмом, определяющим эффективность ходьбы - **перемещение ОЦМ**
- Во время периода опоры ОЦМ поднимается и **кинетическая энергия движения превращается в потенциальную**, и наоборот, переходит в кинетическую, когда ОЦМ опускается → **сохранение около 65 % энергии.**
- **Мышцы** включаются для перемещения центра масс из нижнего положения в верхнее, **восполняя утраченную энергию.**

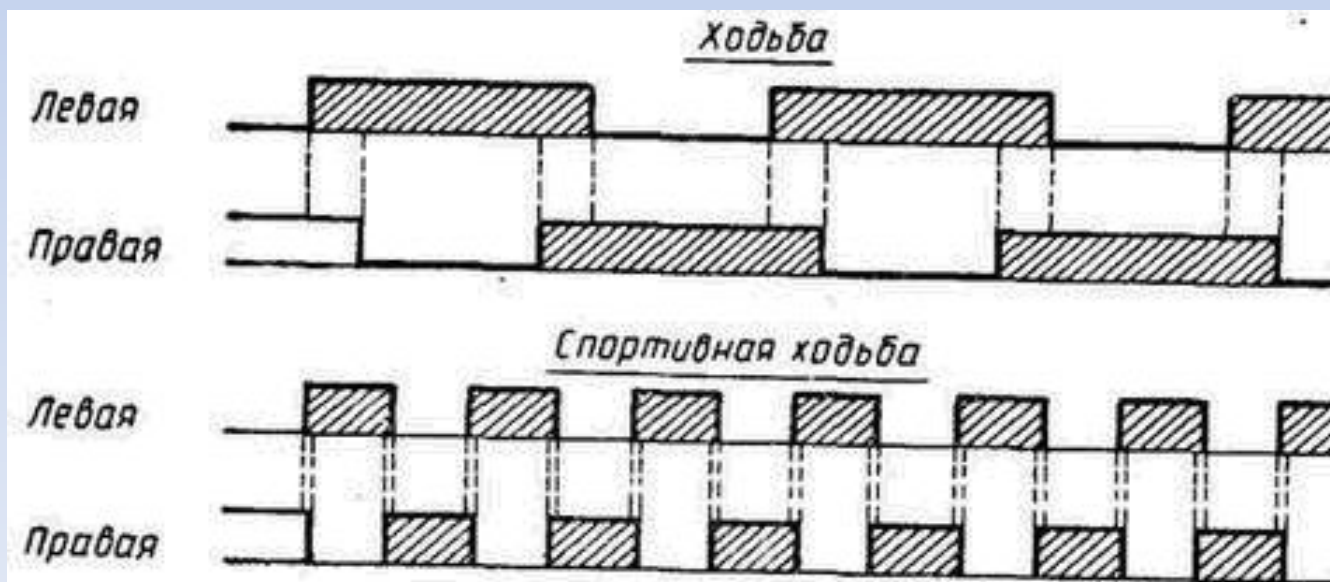


Оптимизация ходьбы

- **Минимизирование непроизводительных энергозатраты**
 - Выбор оптимальной скорости, длины шага и темпа.
 - Снижение вертикальных и поперечных колебаний ОЦТ.
 - Использование поворотов таза при движении для уменьшения вертикальных и боковых колебаний тела, удлинения шага и ускорения постановки стопы на опору.

Особенности «спортивной ходьбы»

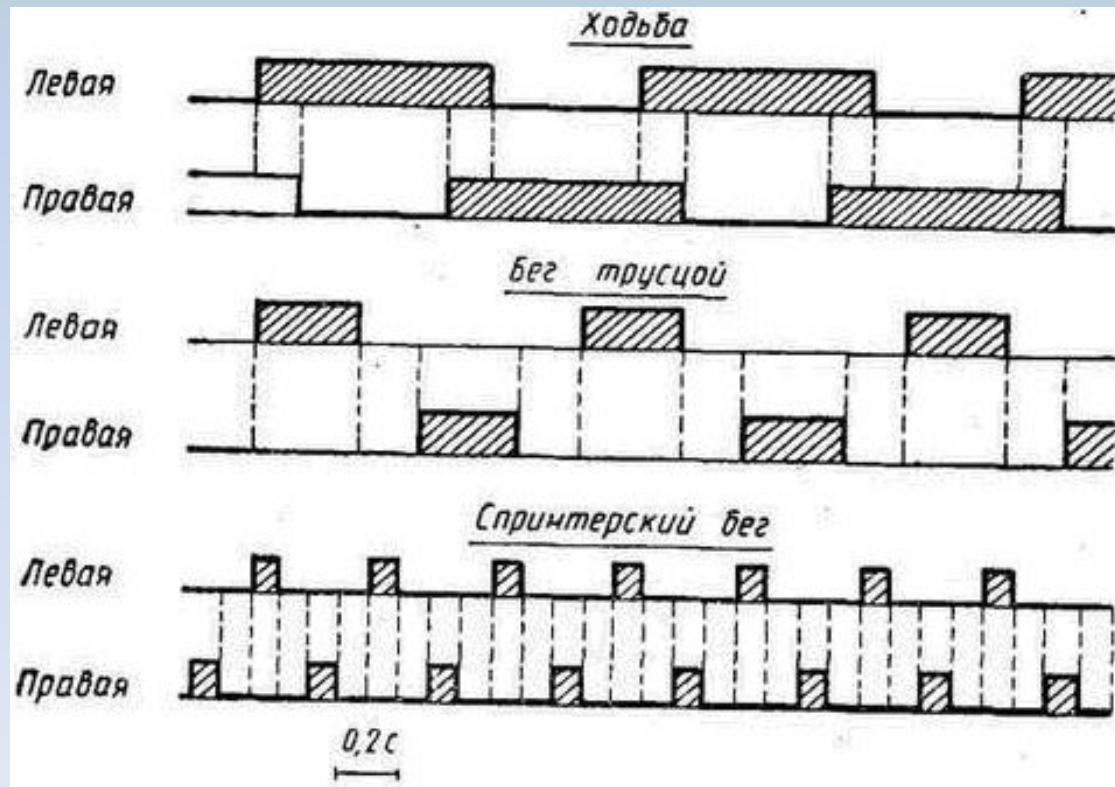
- Приземление на более выпрямленную, чем при обычной ходьбе, ногу. При этом коленные суставы находятся почти все время в разогнутом положении.
- Движения рук, отведенных и приподнятых, порывисты.
- Период двойной опоры очень сокращен, но в то же время нет фазы полета.



4. Биомеханика бега

Особенности биомеханики бега

- Цикл движения похож на ходьбу, те же силы и группы мышц.
- Отсутствие фазы двойной опоры
- Наличие фазы полета (вместо двойной опоры)



- **Более быстрое отталкивание** и под более острым углом, чем при ходьбе.
- **Большой наклон туловища.**
- При приземлении **нога частично согнута в коленном суставе** (амортизация).
- **Приземление может быть:**
 - **С носка** (при большой скорости): больше длина шага, **больше амортизация**, но больше напряжение сгибателей стопы и пальцев, которые выполняют толчок, следовательно, они не отдыхают и быстро устают
 - **С пятки** (при небольшой скорости). **слабая амортизация**, сильный удар.
 - **С латерального края стопы** (это лучше, чем с пятки), но для этого нужно в фазу полета расслабить все мышцы голени (это умеют только квалифицированные спортсмены)

5. Биомеханика прыжка

Прыжок с места

- **Сложное, ациклическое, переместительное, одновременно – симметричное движение**, связанное с отталкиванием тела от опорной поверхности, полетом и приземлением.
- **ОЦТ описывает параболу** (аналогичен броску).
- Для прыжка важно, чтобы в момент отделения от земли все **части тела оставались неподвижными относительно друг друга**, иначе часть энергии расходуется зря.
- **Силы: сила тяжести** – во все фазы, **сила реакции опоры** – кроме фазы полета.

Фазы прыжка

I. Подготовительная фаза.

- Приседание
- Разгибание в голеностопном суставе, сгибание – в коленном и тазобедренном суставах.
- Тело выдвигается вперед, ОЦТ выносится за площадь опоры, начинается падение.

II. Фаза отталкивания.

- Сгибание в голеностопном суставе, разгибание в коленном и тазобедренном суставах, взмах руками вверх (поднимает ОЦТ).
- Передача толчка на центр тяжести тела
- Сокращение мышц создаёт силу, которая преодолевает силу тяжести

III. Фаза полета.

- Траекторию центра тяжести задана (изменить ее могут внешние силы)
- Изменение в положении ОЦТ (сгибание ног, взмах рук) удлиняет фазу полета.

IV. Фаза приземления.

- Мышцы нижней конечности производят уступающую работу, уменьшая сотрясение тела.
- Амортизация сгибанием в коленном и тазобедренном суставах
- ОЦТ вынесен назад, но падению препятствует инерция верхних частей тела.
- Вдох – в момент отрыва (подъем рук), выдох – при приземлении.

Особенности различных видов прыжков

- **Прыжок в длину с разбега**
 - Дальность прыжка зависит от угла полета и скорости разбега.
- **Прыжок в высоту с разбега**
 - При техничном прыжке ОЦТ должен находиться на уровне перекладины («перекидной» способ прыжка менее техничен, чем прыжок спиной)
- **Прыжок с шестом**
 - Используется кинетическая энергия разбега и упругая потенциальная энергия шеста.

6. Биомеханика плавания

Особенности биомеханики плавания

- Плавание (наряду с греблей) относится к **циклическим локомоциям, осуществляемым по принципу отталкивания от жидкой среды**
- Взаимодействие пловца с водой создаёт силы, продвигающие его в воде и удерживающие на ее поверхности.
- Силы, тормозящие продвижение, значительны, переменны и действуют непрерывно.
- Отсутствие постоянной опоры для отталкивания вперед, опора создается во время гребковых движений и остается переменной по величине.

Динамика плавания: силы, действующие на тело человека в воде*

Вертикально-направленные силы:

- Сила тяжести
- Выталкивающая (архимедова) сила
- Подъемная сила

Горизонтально-направленные силы

- Продвигающая сила (или сила тяги)
- Сила лобового сопротивления
- Сила сопротивления вихреобразования
- Сила трения о воду
- Сила сопротивления волнообразования

Силы инерции

- Не относятся к горизонтальным или вертикальным, поскольку направлены противоположно ускорению.

Топография работающих мышц при плавании

- Напряжения мышц живота и спины придаёт туловищу жёсткую конструкцию и увеличивает эффективность плавания. Остальные мышцы туловища должны быть расслаблены.
- При плавании кролем наиболее активны мышцы, сгибающие кисть. В брасе высока активность мышц ног.

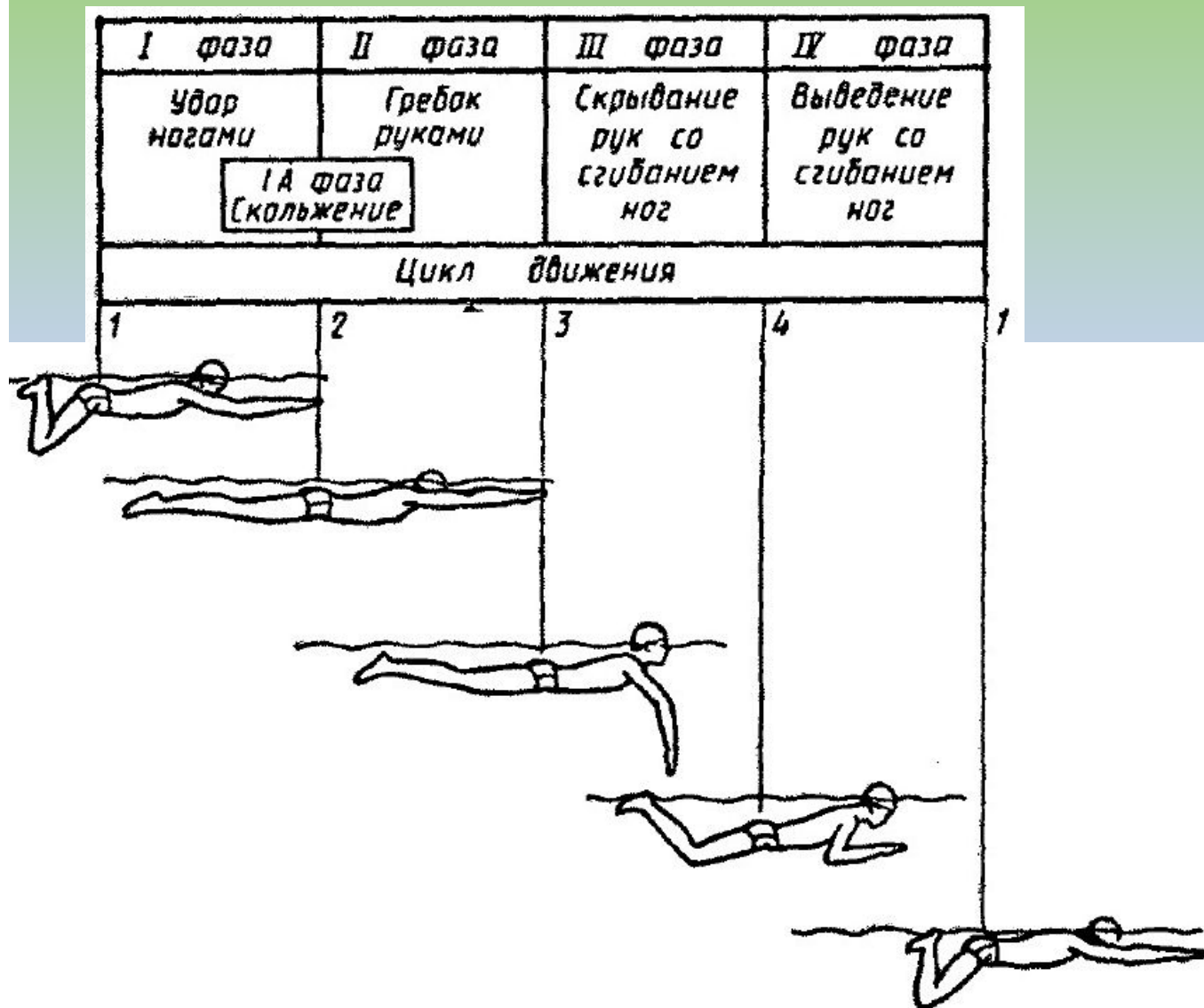
Энергетика плавания

- Сопротивление воды являются основными фактором, который пловец должен преодолевать.
- **КПД пловцов** 1-7%; при наземных локомоциях человека - 20-40%; у золотой рыбки – 40%, у человека в ластах около 17%.
- Брасс на 30% более экономичен, чем кроль.

Кинематика плавания брассом

I и II фазы — повышение скорости за счёт гребков — основные действия. При **гребковых движениях** гребущие звенья движутся относительно тела назад, а тело относительно гребущих звеньев — назад.

III- IV фазы — снижение скорости и подготовка к последующим гребковым движениям.



Кинематика плавания кролем

Цели пловца в каждой фазе:

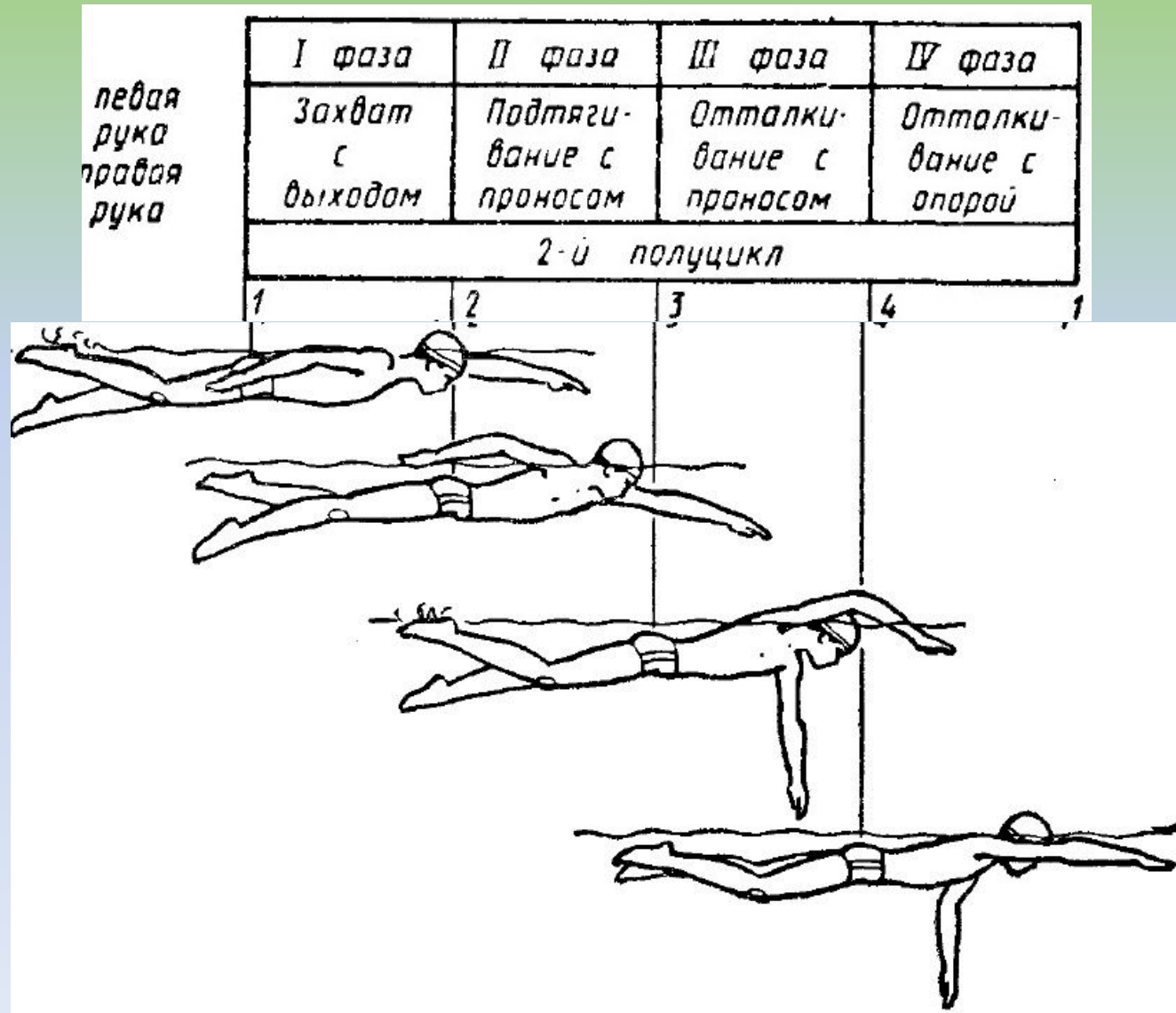
I фаза — как можно меньше терять скорость продвижения вперед;

II фаза — начать увеличение скорости;

III фаза — повысить скорость;

IV фаза — как можно более поднять скорость.

Выдох (при повороте головы) - в III и IV фазах первого полуцикла, а **вдох** — в I и II фазах второго полуцикла.



Оптимизация плавания

Исключение непроизводительные затраты энергии

- Устранение лишних движений.
- Выбор оптимального (наиболее экономичного) темпа движений.
- Снижение величины тормозящих сил:
 - силы лобового сопротивления воды и силы сопротивления вихреобразования – за счёт уменьшения угла атаки.
- Устранение непроизводительных мышечных напряжений.
- Уменьшение внутрицикловые колебания скорости.

7. Биомеханика перемещающих движений

Перемещающие движения

- **Задача** – перемещение какого-либо тела (метания, удары по мячу, броски партнера в акробатике и т. п.)
- **Требования:** достичь максимальных
 - Силы действия (при подъеме штанги),
 - Скорости перемещаемого тела (в метаниях),
 - Точности (броски в баскетболе).
- **Виды:**
 - **Движения с разгоном перемещаемых тел** (например, метание копья)
 - **Движения с ударным взаимодействием** (например, удары в теннисе или футболе).

Параметры перемещающих движений

- Действующие силы;
- Скорость перемещения;
- Точность перемещения;
- Направление перемещения;
- Взаимодействие тел.

Сила действия в перемещающих движениях

- Проявляется конечными звеньями многозвенной кинематической цепи.
- Способы взаимодействия отдельных звеньев:
 - **Параллельное** – к телу приложено две и более силы, которые действуют взаимосвязано и одновременно и могут компенсировать друг друга
 - Возможно лишь в разветвляющихся кинематических цепях (действия двух рук или двух ног)*.
 - **Последовательное** – взаимокompенсация сил невозможна: слабое звено ограничивает проявление максимальной силы всей цепи.**

Полёт спортивных снарядов

Факторы определяющие движение снаряда и его траекторию (путь перемещения)

- **Начальная скорость:** чем больше начальная скорость, тем лучше результат;
- **Место вылета снаряда:** прямая зависимость между высотой вылета и дальностью полёта;
- **Угол вылета**
 - **Угол места** – угол между горизонталью и вектором скорости вылета (определяет движение снаряда в вертикальной плоскости: выше – ниже).
 - **Азимут** – угол вылета в горизонтальной плоскости (правее – левее).
 - **Угол атаки** – угол между вектором скорости вылета и продольной осью снаряда*.
- **Вращение снаряда**
 - Стабилизирует положение снаряда в полете (не позволяет кувырнуться)
 - Искривляет траекторию полета;
- **Лобовое сопротивление** - сила, с которой среда препятствует движению тела

Характеристика силы сопротивления воздуха

2 составляющие

- **Сила лобового сопротивления** (направлена по потоку)

$$\bar{R}_x = S * C_x * \rho * \bar{V}_2$$

- S - площадь поперечного сечения,
 C_x - коэффициент лобового сопротивления (коэфф. формы тела),
 ρ – плотность среды,
 V - скорость движения тела относительно среды.
- **Подъёмная сила** (направлена перпендикулярно потоку)
 - Условие возникновения - наличие скорости и угла (атаки) наклона тела навстречу направлению движения



Несовпадение центра тяжести снаряда и центра давления воздушного потока на снаряд → **вращательный момент силы** → потеря устойчивости снаряда

Точность перемещения

- **Точностью перемещения** - степень близости движения к требованиям двигательной задачи.
- **Виды заданий по точности:**
 - **Обеспечение точности всей траектории движения** (фигурное катание, обязательная программа);
 - **Обеспечение конечной точности попадания в цель** (стрельба, баскетбол) - характеризуется средним отклонением от цели (**систематической ошибкой**)* и **кучностью попаданий** (величина обратная стандартному отклонению).
 - Достижение **высокой точности** - правильное сочетание угла и скорости выпета

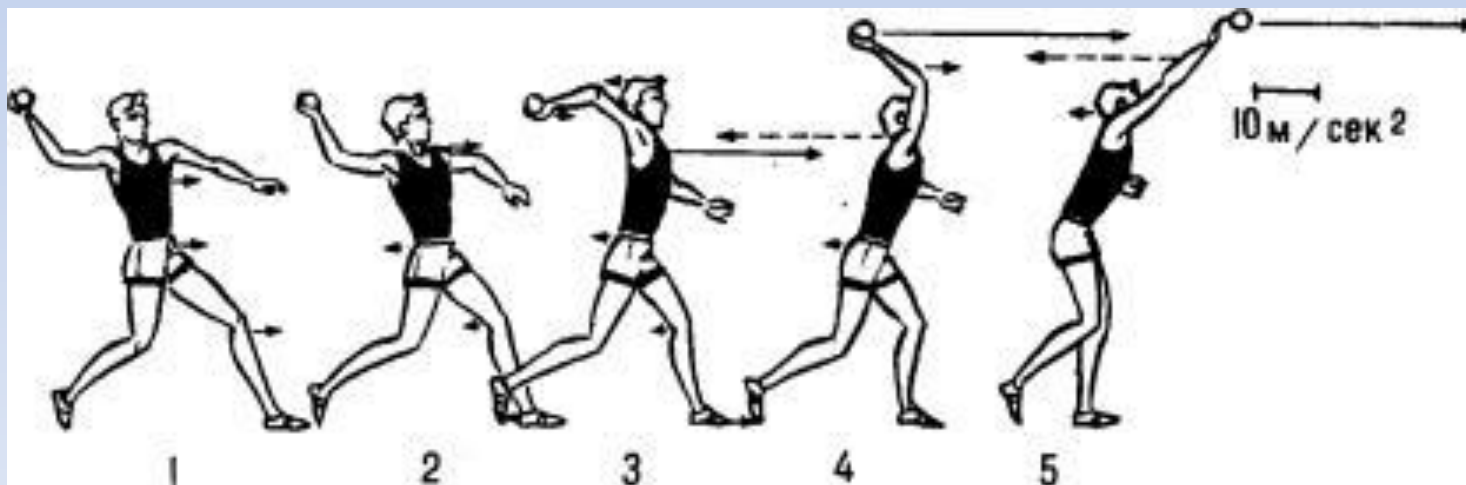


Скорость в перемещающих движениях

- При движении необходимо **сообщить скорость рабочему звену тела**
- Движения рабочего звена (и скорость) является результатом суммирования движений (и скорости) отдельных звеньев тела
- **Виды движений в цепях при перемещающих движениях**
 - **Вращательные движения** относительно оси сустава за счёт
 - действия момента силы тяги мышц, проходящих через сустав
 - ускоренным движением самого сустава за счёт суставной силы, линия действия которой проходит через суставную ось
 - **Поступательные движения (переносные)** этого же сустава

- «Хлёт» в быстрых перемещающихся движениях
 - Проксимальный сустав быстро движется в направлении метания или удара, а затем резко тормозится → быстрое вращательное движение дистального звена тела.

Изменение ускорения плечевого сустава с положительного на отрицательное



При этапа увеличение скорости снаряда (при перемещении тел с разгоном)

Скорость вылета снаряда представляет собой сумму скоростей, приобретенных им на каждом этапе:

1. Скорость сообщается **всей системе «спортсмен—снаряд»** (разбег в метании копья, повороты при метании диска и молота и т. п.)
2. Скорость сообщается только **верхней части системы «спортсмен—снаряд»**: туловищу и снаряду
3. Скорость сообщается только **снаряду и метавшей руке** (вторая половина финального усилия).

8. Биомеханика ударных движений

Понятие и примеры ударов

- **Удар в механике** - кратковременное взаимодействие тел в результате которого резко изменяются их скорости.
- **Ударные действия** - результат действий достигается механическим ударом.
- **Примеры ударов:**
 - **Удар по мячу, шайбе** (происходит быстрое изменение скорости по величине и направлению)
 - **Приземление после прыжка** (снижение скорости до нуля);
 - **Вылет стрелы из лука, акробатика** (скорость до взаимодействия равна 0 и резко возрастает после взаимодействия)

Последовательность механических явлений при ударе

Удар → деформация тел

Кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругой деформации

Потенциальная энергия переходит в кинетическую с неизбежными потерями (тепловую энергию).

3 вида ударов

(в зависимости от размера части потенциальной энергии, которая переходит в кинетическую):

Вполне упругий удар –

вся механическая энергия сохраняется (отсутствуют в природе)

Неупругий удар –

энергия деформации полностью переходит в тепло (Пример: приземление в прыжках и соскоках).

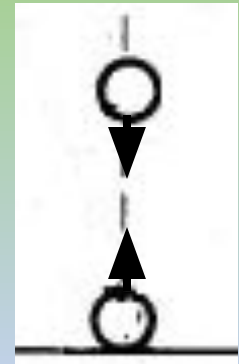
Не вполне упругий удар —

лишь часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения.

Виды ударов в зависимости от направления движения мяча до удара ударного импульса

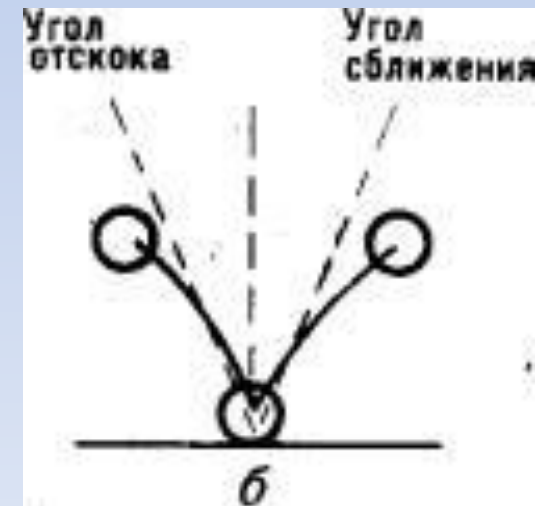
- **Прямой удар**

- Угол сближения до удара – 90° (Пример: падение мяча сверху на горизонтальную поверхность).
- После отскока мяч летит в обратном направлении.



- **Косой удар**

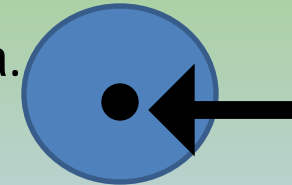
- Угол сближения отличен от нуля.
- При упругом ударе углы сближения и отскока равны.
- При не вполне упругих ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от преграды меньше, чем до удара.



Виды ударов в зависимости от направления ударного импульса

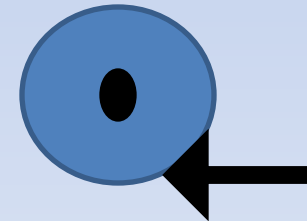
- **Центральный удар**

- Ударный импульс проходит через ЦМ мяча.
- Мяч летит не вращаясь



- **Касательный удар**

- Ударный импульс не проходит через ЦМ мяча
- Мяч после удара летит с вращением → изменение траектории полета и отскока мяча.



Фазы ударных действий

1. Замах – движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар.



2. Ударное движение – от конца замаха до начала удара.



3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) – столкновение ударяющихся тел.

$$\text{Эффективность ударного взаимодействия} = \frac{\text{скорость мяча после удара}}{\text{скорость ударяющего сегмента до удара}}$$



4. Послеударное движение – движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.

Вопросы для контроля

- Чем отличаются циклические локомоции от ациклических?
- Какие силы действуют на человека при отталкивании от опоры?
- Чем передний шаг при ходьбе отличается от заднего шага?
- Опишите полный цикл движений при ходьбе.
- Из каких подфаз состоит фаза опоры при ходьбе?
- Что такое база опоры при ходьбе?
- Какое взаимоотношение существует между скоростью и темпом ходьбы?
- Какие силы действуют на человека при ходьбе?
- В чем заключается эффективность ходьбы?
- В чем состоят особенности биомеханики спортивной ходьбы?
- Чем биомеханика бега отличается от биомеханики ходьбы?
- Перечислите фазы прыжка с места.
- Опишите силы, действующие на человека в воде.
- Перечислите основные параметры перемещающих движений.
- Опишите последовательность биомеханических явлений при ударе.
- Опишите фазы ударных действий.

Тестовые вопросы для контроля

1. К смешанным (циклическим и ациклическим локомоциям) относятся
 - а. бег.
 - б. ходьба.
 - в. прыжок в длину с места.
 - г. прыжок в длину с разбега.
 - д. подъем штанги.

2. Уменьшение наклона тела во время стартовых движений спортсмена достигается за счет
 - а. стартовой силы
 - б. стартового момента
 - в. силы тяжести
 - г. силы реакции опоры

3. База опоры при ходьбе - это

- а. угол, образованный линией перемещения и линией, проходящей через середину стопы.
- б. расстояние между двумя параллельными линиями, проведёнными через центры опоры пяток параллельно линии перемещения.
- в. расстояние между двумя параллельными линиями, проведёнными через центры опоры носков параллельно линии перемещения.
- г. длина короткого шага.

4. Вертикально-направленной силой, действующей на человека во время плавания является сила

- а. тяги.
- б. лобового сопротивления.
- в. трения о воду.
- г. инерции.
- д. тяжести.

5. Фаза переноса ноги при ходьбе включает подфазы

- а. амортизации и отталкивания.
- б. амортизации, отталкивания и маха вперёд.
- в. отталкивания и маха вперёд.
- г. отталкивания и маха назад.
- д. маха назад и маха вперёд.

6. Бег отличается от ходьбы
- а. укорочением фазы двойной опоры.
 - б. меньшим наклоном туловища.
 - в. наличием фазы полёта.
 - г. отталкиванием от опоры под менее острым углом.
7. В полном цикле спокойной ходьбы
- а. присутствует фаза полета.
 - б. фаза опоры длится меньше фазы переноса конечности.
 - в. двойная опора длится дольше, чем одинарная опора.
 - г. короткий шаг представляет собой расстояние между точкой опоры пятки одной ноги и центром опоры пятки контралатеральной ноги.
8. Угол между вектором скорости вылета и продольной осью снаряда называется
- а. углом отражения.
 - б. углом падения.
 - в. углом атаки.
 - г. углом места.
 - д. азимутом.

9. При вполне упругом ударе

а. вся механическая энергия тела сохраняется.

б. энергия деформации тела полностью переходит в тепло.

в. часть энергии деформации тела переходит в тепло.

г. часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения.

10. Эффективность ударного взаимодействия при ударе по мячу определяется

а. произведением скорости мяча после удара и скорости ударяющего сегмента до удара.

б. суммой скорости мяча после удара и скорости ударяющего сегмента до удара.

в. разностью между скоростью мяча после удара и скоростью ударяющего сегмента до удара.

г. отношением скорости мяча после удара и скорости ударяющего сегмента до удара.

Вопросы для самостоятельной работы

- Биомеханика лыжного хода.
- Биомеханика передвижений с механическим преобразованием энергии.

Литература

Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. Биомеханика, стр. 192-194, 197-198.

Г.И. Попов. Биомеханика, стр. 176-178.