

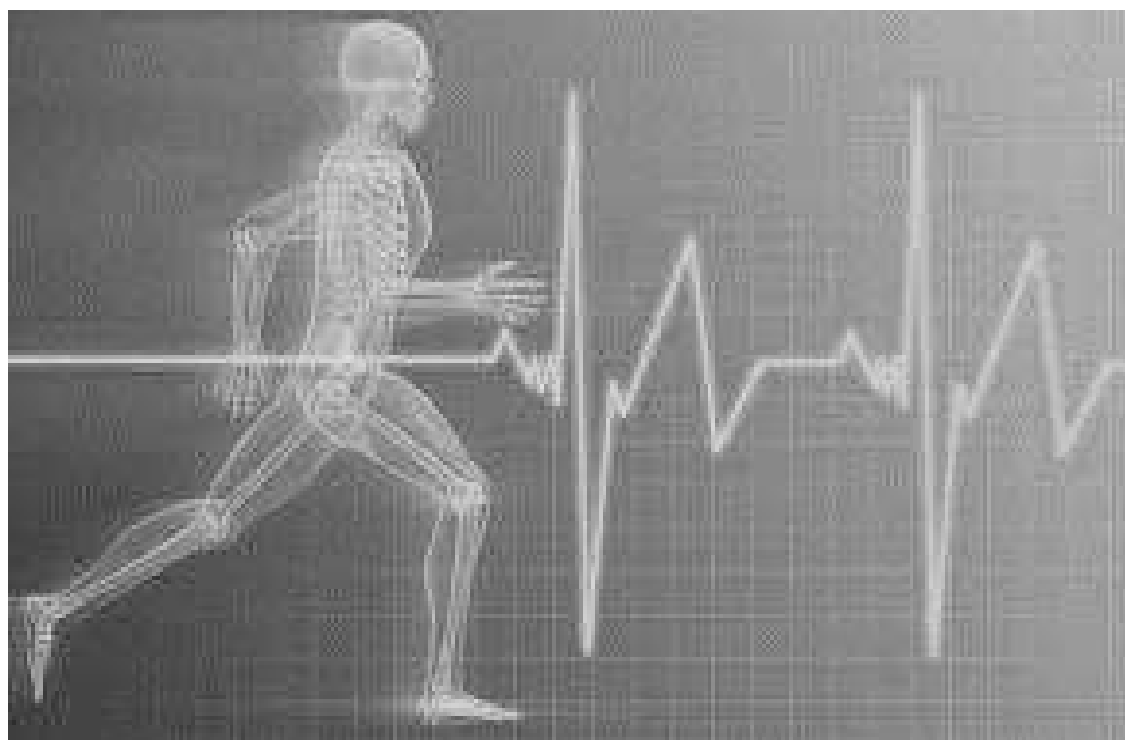
ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний  
університет імені Григорія Сковороди»

Кафедра теорії та методики фізичного виховання і спорту

**Наталія Базилевич**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
БІОМЕХАНІКИ  
(курс лекцій)**

**Навчально-методичний посібник**



Переяслав  
2020

**Затверджено**

на засіданні ради факультету фізичного виховання  
(протокол № 2 від 11.02.2020 р.)

**Рецензенти:**

**Пангелова Н.Є.** – доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор, завідувач кафедри теорії та методики фізичного виховання і спорту, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», м. Переяслав

**Хомич В.Ф.** – кандидат педагогічних наук, доцент, професор кафедри математики, інформатики та методики навчання, перший проректор ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», м. Переяслав

**Базилевич Н.О.** Теоретичні основи біомеханіки (курс лекцій): навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів спеціальності 014 Середня освіта (фізична культура). Переяслав: ФОП Домбровская Я.М., 2020. 150 с.

Методичні рекомендації підготовлено відповідно до навчальної програми з дисципліни «Біомеханіка» з метою забезпечення систематизації і поглиблення знань студентів з біомеханіки для оволодіння теоретичними знаннями біомеханічних основ фізичних вправ. В методичному посібнику розкривається сутність рухів людини, закономірності яких використовуються при вдосконаленні рухової діяльності школярів і спортсменів.

Рекомендовано для студентів, які навчаються за спеціальністю 014 Середня освіта (фізична культура).

**Bazylevych N.O.** Theoretical Foundations of Biomechanics (lecture course): teaching aid for students of higher educational institutions of specialty 014 Secondary education (physical education). Pereyaslav FOP Dombrovskaya Ya.M., 2020.150 s.

Methodological recommendations were prepared in accordance with the curriculum in the discipline "Biomechanics" in order to ensure the systematization and deepening of students' knowledge of biomechanics for mastering the theoretical knowledge of the biomechanical foundations of physical exercises. The methodical manual reveals the essence of human movements, the laws of which are used to improve the motor activity of students and athletes.

Recommended for students enrolled in specialty 014 Secondary education (physical education).

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
ТЕМА 1. Предмет, завдання і методи біомеханіки .....	5
ТЕМА 2. Тіло людини як біомеханічна система .....	16
ТЕМА 3. Біомеханічні характеристики рухових дій .....	28
ТЕМА 4. Біомеханічні аспекти рухових здібностей .....	49
ТЕМА 5. Особливості моторики. Біомеханічні закономірності навчання фізичним вправам .....	67
ТЕМА 6. Біомеханіка локомоторних рухів .....	85
ТЕМА 7. Біомеханіка локомоцій у водному середовищі .....	104
ТЕМА 8. Біомеханіка переміщувальних дій .....	115
ТЕМА 9. Біомеханіка обертальних рухів. Збереження положення тіла .....	134
СПИСОК ВИКОРТИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	147

## ВСТУП

У циклі професійно-орієнтованих дисциплін навчального плану напряму підготовки студентів 2 і 1МС курсів у галузі знань 014 – Середня освіта (фізична культура) вивчається дисципліна «Біомеханіка».

Головна **мета** навчальної дисципліни «Біомеханіка» полягає в озброєнні студентів теоретичними знаннями законів механічного руху у живих системах, зокрема законам механічного руху тіла людини і окремих його частин. Навчити студентів закономірностям рухів людини під час фізичних вправ. Навчити організовувати і проводити основні види вимірювань у фізичному вихованні та спорті.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен оволодіти наступними компетенціями.

### **Загальні компетентності (ЗК)**

- ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 3. Здатність спілкуватися українською мовою (усно та письмово).
- ЗК 4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК 5. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 6. Здатність використовувати іноземну мову у професійній діяльності.

### **Фахові компетентності спеціальності (ФК)**

- ФК 1. Здатність використовувати під час навчання та виконання професійних завдань знань про будову тіла людини та механізми життєдіяльності її організму, фізіологічні та біохімічні основи адаптації до фізичних навантажень різної спрямованості.
- ФК 2. Здатність використовувати під час навчання та виконання професійних завдань базові знання з теорії і методики фізичного виховання та спортивної підготовки.
- ФК 7. Здатність визначати закономірності, розвиток і форми психічних проявів людини, а також формувати мотиваційно-ціннісні орієнтації особистості.
- ФК 9. Здатність використовувати спортивні споруди, спеціальне обладнання та інвентар.
- ФК 11. Здатність здійснювати виміри у відповідності до метрологічних вимог, біомеханічний аналіз, синтез, моделювання фізичних вправ та керування рухами людини.

Дисципліна «Біомеханіка» складається з теоретичного розділу, який містить курс лекцій, і практичного розділу, що охоплює семінарські і практичні заняття, на яких студенти поглиблюють і закріплюють отриманні знання. Даний навчально-методичний посібник присвячений детальному ознайомленню студентів з теоретичними відомостями з біомеханіки фізичних вправ.

**ТЕМА 1**  
**ПРЕДМЕТ, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИ БІОМЕХАНІКИ**  
**ЗМІСТ**

1. Завдання, методи і зміст біомеханіки.
2. Історія розвитку біомеханіки.
3. Взаємозв'язок з іншими науками і галузі застосування.
4. Основні розділи і рівні біомеханіки.
5. Етапи біомеханічного аналізу.
6. Критерії оптимальності рухової діяльності.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Адашевський В.М. Конспект лекцій з біомеханіки спорту. Харків : НТУ «ХПІ», 2019. 72 с.
2. Андрєєва Р. Біомеханіка і основи метрології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2015. 224 с.
3. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ: Навч. посібник. Житомир, 2004. 124 с.
4. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
5. Донской Д.Д. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264с.
6. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
7. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
8. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
9. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
10. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
11. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
12. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 205 с.
13. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
14. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
15. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

**Завдання, методи і зміст біомеханіки.**

*Механіка* – це розділ фізики, який вивчає механічний рух і механічну взаємодію матеріальних тіл.

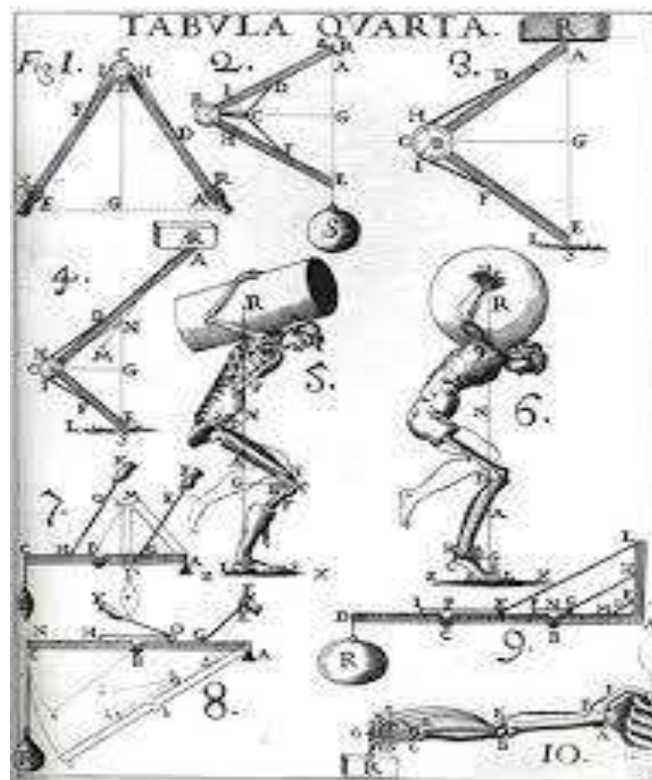
**Біомеханіка**, як розділ біофізики, займається вивченням законів механічного руху в живих системах, наука про рухові можливості людини і тварин. Термін «біомеханіка» утворений двома грецькими словами: «*bios*» –

життя, та «техане» – знаряддя. У широкому науковому плані **біомеханіка** вивчає просторові рухи біологічних макро- та мікрооб'єктів. Незважаючи на те що біомеханіка вивчає переважно механічні форми рухів, вона не може не урахувати біологічні (насамперед анатомічні та фізіологічні) особливості об'єкта, котрий рухається (людина або тварина).

В основу теорії рухів закладено такі основні *принципи*:

1. Принцип структурності – всі рухи в системі взаємопов'язані, цей зв'язок забезпечує цілісність і досконалість рухів.
2. Принцип цілісності – всі рухи в руховому акті утворюють єдине ціле.
3. Принцип цілеспрямованості – людина попередньо ставить ціль, застосовує цілеспрямовані рухи і керує ними для досягнення цієї цілі.

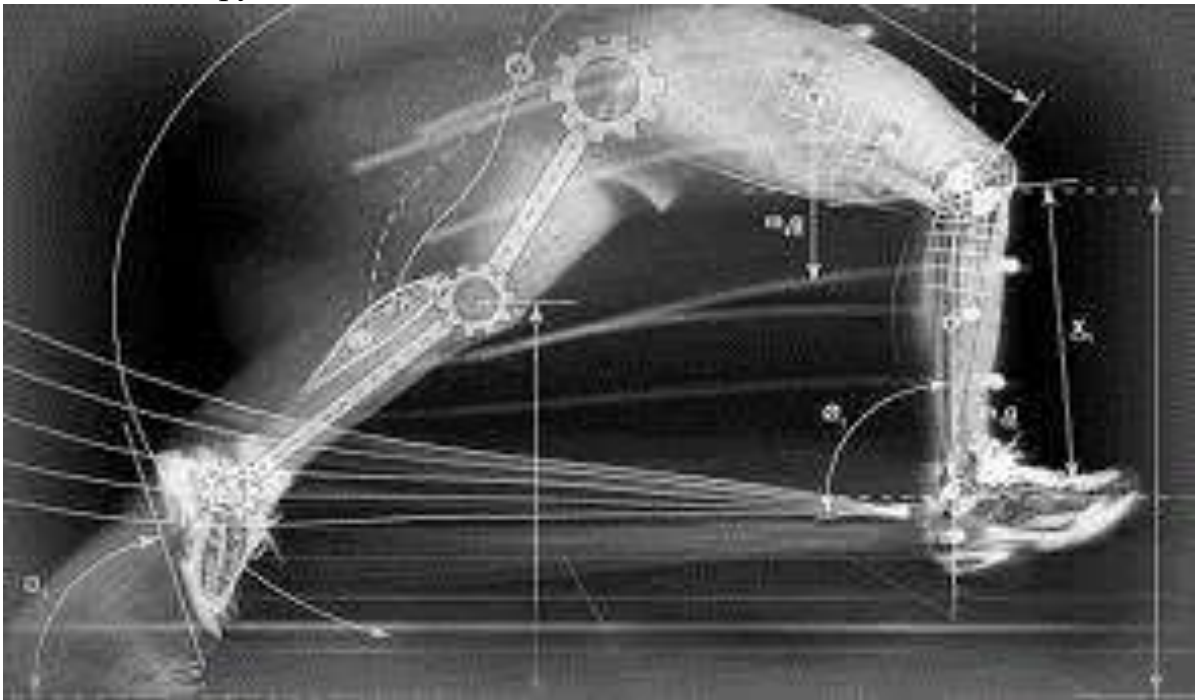
**Предметом біомеханіки** є закони механічного руху в живих системах, механічні і біологічні причини виникнення рухів та особливості їх виконання в різних умовах (рис. 1.1).



*Рисунок 1.1. Закони механічного руху*

**Об'єктом вивчення біомеханіки** є рухова діяльність людини (рис. 1.2). Біомеханіка вивчає рухові дії людини з метою виявлення їх найдосконаліших способів і навчання ним. Рухи частин тіла людини являють собою переміщення в просторі і часі, що виконуються в багатьох суглобах одночасно і послідовно. Рухи в суглобах за своєю формою і характером дуже різноманітні, вони залежать

від дії безлічі прикладених сил. Усі рухи закономірно об'єднані в організовані дії, якими людина керує за допомогою м'язів.



*Рисунок 1.2. Рухова діяльність людини*

**Основним завданням біомеханіки як науки є:** вивчення об'єктивних закономірностей і вдосконалення рухової функції людини, оптимізація рухової діяльності людини на основі вимірювання та контролю її якісних та кількісних характеристик, а також розробка критеріїв ефективного управління станом її рухової функції. Однак, відразу оцінити ефективність прикладених людиною сил неможливо: для цього необхідно пройти ряд етапів. Тому головне завдання біомеханіки розбивається на три конкретні завдання:

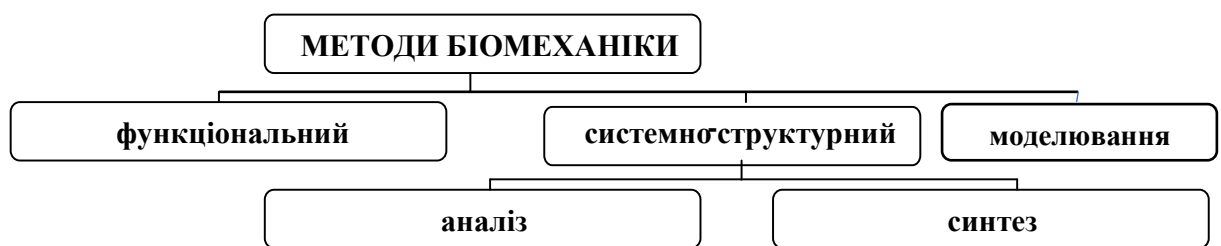
1. Вивчення індивідуальних особливостей будови і функцій рухового апарату людини (визначення тотальних розмірів тіла, пропорцій, конституціональних особливостей, мас-інерційних характеристик окремих частин тіла, а також рівня розвитку силових та швидкісних якостей, витривалості, гнучкості, спритності та специфічних якостей, потенційних можливостей та динаміки систем дихання, кровообігу тощо).
2. Розробка індивідуального для конкретної людини зразку індивідуальної раціональної техніки ураховуючи дані, отримані в ході вирішення першого завдання й опираючись на результати педагогічних експериментів, кількісні та якісні характеристики досліджень у даному виді рухової діяльності, практику й досвід фахівців.
3. Оцінка ефективності прикладених людиною зусиль та розробка методики індивідуального рухового удосконалення (в тому числі підборка засобів і спеціальних тренажерів, засобів та способів

контролю), яка виконується шляхом порівняння конкретних характеристик реалізації рухових дій людини з розрахованими зразковими.

**Завдання біомеханіки як навчальної дисципліни полягає:**

- в ознайомленні майбутніх вчителів з основами техніки рухових дій і тактики рухової діяльності;
- в озброєнні теоретичними знаннями і практичними навичками, які необхідні для науково-обґрунтованого здійснення навчального та тренувального процесу.

**Методи** – це шляхи дослідження та отримання нових знань і виявлення нових закономірностей. В біомеханіці застосовуються наступні методи (рис 1.3)



*Рисунок 1.3. Методи біомеханіки*

- **функціональний метод** – вивчення функціональної залежності між властивостями та станом рухових явищ, між будовою окремих елементів опорно-рухового апарату та їх функцією у забезпеченні рухової функції, або характеристиками самого спортсмена і спортивним результатом. За допомогою даного методу вивчають функціональну залежність між властивостями і станом системи, явища чи процесу. Функціональний підхід дозволяє констатувати ті чи інші недоліки техніки і тактики. Але він не дає відповіді на запитання «чому», тобто не дає змоги розробити чіткі рекомендації для їх усунення; педагог вимушений діяти навмання;
- **метод системного аналізу** – виявлення складу рухових дій, для чого рухову дію розчленовують на частини або окремі елементи;
- **метод системного синтезу** – пізнання структури рухових дій, тобто взаємодій елементів системи, отже системний синтез виявляє причини цілісності рухових дій;
- **метод моделювання** – це процес відображення певних закономірностей її організації, зокрема гравітаційних взаємодій тіла людини, та відтворення їх за допомогою фізичних вправ або технічних засобів із дотриманням основних положень теорії подібності та її принципів;

### **Історія розвитку біомеханіки**

Біомеханіка як наука виникла на стикові класичної механіки, біології, динамічної анатомії, фізіології, психології, педагогіки, математики та теорії



управління. До передумов виникнення біомеханіки як самостійної науки відноситься нагромадження знань в галузі фізичних і біологічних наук, а також розвиток техніки.

*Аристотель* (384-322 рр. до н.е.) перший увів термін «механіка», описав важіль та інші найпростіші машини, і присвятив багато часу вивченню причин і закономірності рухів. *Архімед* (287-212 рр. до н.е.) написав перші наукові праці про рухи у воді. Клавдій Гален (130-201 рр. н.е.) та Авіценна (980-1037 рр. н.е.) спостерігали рухи людини та тварин й по-своєму описували та аналізували їх.

Розвитку механіки в середні віки сприяли дослідження *Леонардо да Вінчі* (1452-1519 рр.) про теорії механізмів, тертя між ланками й іншим питанням. Найважливіший розділ механіки – динаміка, був створений працями геніальних вчених *Галілео Галілея* (1638 р.) і *Ісака Ньютона*. Разом з тим виникненню біомеханіки сприяла і біологічна передумова – при вивченні розвитку будови і форми тіла почали виникати питання про функції органів і тканин та їх взаємозв'язок.

Новітня історія біомеханіки починається з видатної праці італійського лікаря і математика Джовані Альфонсо Бореллі (1608-1679 рр.) У 1679 р. було написано першу книгу по біомеханіці «Про локомоції тварин», в якій представлено відомості про центр тяжіння тіла людини й дано першу класифікацію локомоторних рухів як активних переміщень тварин у просторі. З поглибленням анатомічних знань усе більш розвивався підхід до вивчення морфології людини. Розвитку біомеханіки багато в чому сприяли розробки методик вивчення рухів.

На початку ХІХ ст., німецькі біологи брати Едуард та Вільгельм Вебери на досить сучасному для свого часу рівні продовжили вивчення положення центра тяжіння у тілі людини, біомеханіки ходьби, бігу, стрибків та інших локомоцій. Вже наприкінці ХІХ ст. їх співвітчизники Вільгельм Браун та Отто Фішер удосконалили ряд методів вимірювань біомеханічних характеристик рухів та суттєво доповнили ці дослідження.

Значний внесок у розвиток біомеханіки як науки зробив видатний французький дослідник Етьєн-Жюль Марей (1830-1904 рр.). Працюючи укупі з відомим педагогом, автором одного з найфундаментальніших теоретичних та практичних курсів фізичного виховання Жоржем Демені, він винайшов хронофотографію, котру використав для вивчення рухів тварин та людини.

Велику роль у розумінні єдності структури та функцій органів опори і руху людини відіграли праці І.М. Сеченова та П.Ф. Лесгафта. Кожний з цих видатних дослідників зі свого погляду зробив вагомий внесок у сучасне розуміння біомеханіки як науки. Розвиток біомеханіки фізичних вправ почався з курсу теорії тілесних рухів, що розробив *П.Ф. Лесгафт*, який у 1874р. опублікував відому працю «Основи природної гімнастики», котра поклала початок його курсу «Теорія тілесних рухів», де він встановив так звану абетку рухів тіла людини.

Професор М. Ф. Іваніцький та його учень професор М. А. Джафаров започаткували українську школу динамічної анатомії, розробивши теорію єдності та взаємообумовленості форми і функції живого організму. У 1928 р. виходить перша книга видатного професора М.Ф. Іваницького «Записки з динамічної анатомії», а у 1938 р. друга монографія «Рухи тіла людини».

На той час біомеханіка сформувалася як самостійна навчальна дисципліна, яку традиційно викладали в інститутах фізичного виховання та на відповідних факультетах педагогічних вузів і університетів. Цьому сприяло видання в 1957 р. учнем М.О. Бернштейна Д.Д. Донським спеціалізованого підручника з біомеханіки, а у 1979 р. – перевидання його у співавторстві з В.М. Заціорським.

На Україні систематичне викладання біомеханіки почалося в Київському державному інституті фізичної культури (КДІФК) з 1960 року при кафедрі анатомії. У 1969 р. А.М. Лапутін розробив першу біомеханічну класифікацію опорно-рухового апарату, принципи біомеханічного моделювання його суглобів та окремих ланок; було сформульовано принципи аналізу так званих локомоторних механізмів.

У 80-ті роки минулого століття почали розробляти новий науковий напрям у галузі вивчення рухів людини — «дидактичну біомеханіку». У 1981 р. в КДІФК було створено першу в Україні кафедру біомеханіки, яку очолив А.М. Лапутін. Це допомогло узагальнити досвід викладання рухів у різних галузях професійної рухової діяльності людини й на такій основі створити методологію ефективної побудови педагогічного і тренувального процесу.

На сьогодні триває подальший розвиток біомеханічних досліджень з різних **видів спорту** завдяки працям науковців, зокрема В.В. Гамалія (легка атлетика), А.А. Тесленка (велосипедний спорт), Т.О. Хабінець (лижний спорт), О.А. Архипова (гімнастика), М.О. Носко (волейбол), В.П. Ляпіна, З.Ю. Чочарай (вільна боротьба), В.М. Смирнова (дзюдо), А.А. Македона (вільна боротьба) та ін. У 90-ті роки за цією тематикою найбільш цікаві біомеханічні дослідження були проведені В.О. Кашубою (кульова стрільба), Т.А. Поліщук (художня гімнастика), В.І. Бобровником (легка атлетика), А.М. Ратовим (лижний спорт).

З середини 90-х років В.О. Кашуба під керівництвом А.М. Лапутіна почав розробляти новий науковий напрям у вивченні рухових можливостей людини – дослідження динаміки зміни її геометрії мас в онтогенезі.

З тих часів склалися три основних **напрями біомеханіки**:

- **механічний напрям** – сформувався на стикові механіки і математики завдяки працям Л. Давінчі, Мікеланджело, Галілея Галілео, Ісака Ньютона. Цей напрямок ставив за мету визначення кількісної міри руху людини. Механічний напрям до вивчення рухів людини дозволяє визначити кількісну міру рухових процесів, пояснює фізичну сутність механічних явищ, розкриває величезну складність будови тіла людини і його рухів з точки зору фізики. Хронологічно першим визнано

механічний напрямок у розвитку біомеханіки. Першу книгу з біомеханіки «Про рухи тварин» (1679) написав учень Галілея італійський лікар і математик Джовані Альфонсо Бореллі. Дослідження дії і протидії, визначення центру ваги тіла людини, класифікація локомоторних рухів за джерелом сил проводилися з позицій механіки. Фізіологи брати Вебер (1836) вивчали ходьбу людини теж з позицій механіки, порівнюючи руху крокування з гойданнями маятників (їх гіпотези в подальшому в чому не підтвердилися);

- **функціонально-анатомічний напрям** – створений працями І.М. Сеченова, М.Ф. Іваницького, П.Ф. Лесгафта. Цей напрям характеризується описовим аналізом рухів у суглобах, збережень положень тіла при рухах та виявленням участі м'язів при виконанні роботи. Вивчаючи форму і будову органів опори, а також руху людини в тісному зв'язку з їх функцією, анатоми досліджували переважно руховий апарат. Аналітичне вивчення тіла людини переважало в роботах О. Фішера, Р. Фіккі, Г. Браус, С. Моллі та інших зарубіжних анатомів. Разом з тим, розширювалося вивчення функцій рухового апарату як цілого. Один із засновників функціональної анатомії П.Ф. Лесгафт розглядав всі системи та органи перш за все у взаємодії, як частини єдиного цілісного живого організму. Високо оцінюючи можливості формотворного впливу функцій, П.Ф. Лесгафт одним з перших почав розробляти наукові основи фізичної освіти дітей та молоді. Функціонально-анатомічний напрям розвивався учнями П.Ф. Лесгафта та послідовниками його вчення А.А. Красуської, Є.А. Котикової, Є.Г. Котельникової та іншими. Великий внесок у вчення про рухи вніс М. Ф. Іваницький, який розробляв розділ курсу анатомії – руховий апарат як ціле (динамічна анатомія). У багатьох країнах наука про рухи – кинезіологія – являє собою в даний час своєрідне поєднання механічного та функціонально-анатомічного напрямків. Для анатомічного напрямку в цілому характерний описовий підхід – переважно якісні характеристики при незначному застосуванні кількісної міри. Він забезпечує обґрунтування фізичної і технічної підготовки;
- **фізіологічний напрям** – склався під впливом ідей нейрофізіології (вчення про вищу нервову діяльність). Представники даного напрямку О.Д. Анохін, І.М. Сеченов, М.О. Бернштейн розглядали та досліджували основи управління руховою діяльністю. На розвиток біомеханіки мали істотний вплив фізіологія нервово-м'язового апарату, вчення про вищу нервову діяльність і нейрофізіологія. Визнання рефлекторної природи рухових дій і механізмів нервової регуляції при взаємодії організму і середовища в роботах І.М. Сеченова, І.П. Павлова, М.Є. Введенського, О.О. Ухтомського, П.К. Анохіна, М.О. Бернштейна та інших вчених становить фізіологічну основу вивчення рухів людини. Результати численних досліджень механізмів центральної нервової системи і нервово-м'язового апарату, проведених за останні десятиліття у багатьох

країнах світу, дозволяють найбільш повно представити високу складність управління рухами.

### **Взаємозв'язок з іншими науками і галузі застосування.**

Біомеханіка як синтетична наука ґрунтується на знаннях біології, фізики, математики та прикладної дидактики (педагогіці), а також теорії фізичного виховання. Основні галузі застосування і наукові напрямки біомеханіки:

1. **Інженерна** – дослідження пов'язані з роботобудуванням та розробкою різноманітних тренажерів.
2. **Медична** – досліджує причини та наслідки і засоби профілактики травматизму, міцність опорно-рухового апарату, питання травматизму, а також виконує діагностику при створенні замінників тканин і органів, особливо в протезуванні інвалідів.
1. **Ергономічна** – вивчає взаємодію людини з оточуючими предметами з метою її оптимізації (пристрої робочого місця, оцінка робочих операцій).
2. **Біомеханіка фізичних вправ** – вивчає рухову діяльність людини під час спортивних тренувань, змагань і в процесі занять масовими і оздоровчими формами фізичної культури, і в тому числі й на уроках фізкультури в школі. Є сполучною ланкою між теорією і практикою.

У галузі фізичного виховання і спорту, найбільше наочно виявляються і найбільш гостро випробуються рухові можливості людини.

***Біомеханіка фізичних вправ*** вивчає рухову систему людини і його рухові вправи під час тренувань і змагань, у процесі занять масовими й оздоровчими формами фізичної культури.

**Задачі біомеханіки спорту:**

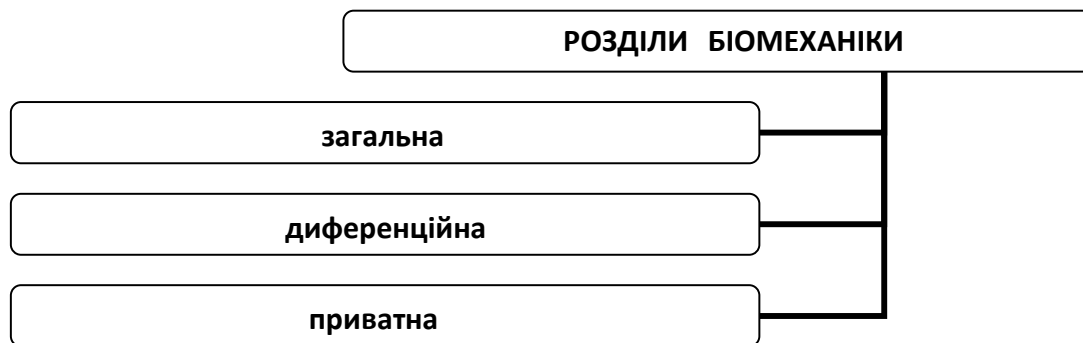
- а) вивчення будови, властивостей та рухової функції тіла спортсмена;
- б) сприяння раціоналізації спортивної техніки;
- в) технічне удосконалення майстерності спортсмена.

Біомеханічне обґрунтування технічної підготовки спортсменів має на меті визначення особливостей та рівня підготовки тренуваних; планування раціональної спортивної техніки, підбір допоміжних вправ та створення тренажерів для спеціальної фізичної та психологічної підготовки, оцінка застосовуваних методів тренувань та контроль за їх ефективністю

### **Основні розділи і рівні біомеханіки:**

- **загальна біомеханіка** – вирішує теоретичні проблеми і допомагає довідатися як і чому людина рухається. Цей розділ біомеханіки дуже важливий для практики фізичного виховання і спорту, оскільки теорія та практика тісно взаємопов'язані;
- **диференціальна біомеханіка** – вивчає індивідуальні і групові особливості рухових можливостей і рухової діяльності людини, які залежать від віку, статі, стану здоров'я, рівня фізичної підготовленості, спортивної кваліфікації;

- **приватна біомеханіка** – розглядає конкретні питання технічної і тактичної підготовки в окремих видах спорту. Основне питання приватної біомеханіки – як навчити людину правильно виконувати різноманітні рухи або як самостійно освоювати культуру рухів (рис. 1.4).



*Рисунок 1.4. Структура біомеханіки, як науки*

На трьох **рівнях** біомеханіки вивчають: *послідовність вивчення рухів - рухових дій – рухову діяльність* (рис. 1.5.).

На першому рівні вивчають окремі рухи людини, які представляють собою механічне переміщення живого організму. Фактичні дані для дослідження рухів беруться найчастіше в експериментах з ізольованими м'язами й іншими частинами тіла тварин. Психічно здорова людина відтворює не просто рухи, що мають сенс, а як правило, систему активних, цілеспрямованих гармонійних рухів або рухових дій.



*Рисунок 1.5. Рівні біомеханіки.*

На другому рівні (вивчення рухових дій) біомеханіка вивчає й удосконалює техніку рухових дій (наприклад: техніку стрибка, удару, кроку та ін.).

Третій рівень біомеханіки присвячений тактиці рухової діяльності. При виконанні фізичних вправ рухова діяльність складається з рухових дій як ланцюг з ланок. Наприклад: біг складається з окремих кроків; стрільба з приготування, прицілювання і пострілу; штрафний удар у футболі – з розбігу й удару по м'ячу; кидки

з захопленням, виведенням з рівноваги і т.д. Рухові дії в такому ланцюгу взаємозалежні. Тому можна зробити висновок, що: *рухова діяльність, як момент заключного етапу вивчення біомеханіки, являє собою систему рухових дій.*

### Етапи біомеханічного аналізу

**Біомеханічний аналіз** являє собою один із способів вивчення рухової діяльності людини. Це ефективний логічний прийом вивчення складних і багатомірних систем, за допомогою якого рухи ніби розчленовують на складові частини, що потім досліджують диференційовано для більш глибокого їх пізнання як єдиного цілого. Біомеханічний аналіз – це тільки початок об'єктивного дослідження руху, за яким слідує біомеханічний синтез – моделювання складних систем рухів з метою використання їх у різних напрямках трудової та рухової діяльності людини.

Починається біомеханічний аналіз із вимірювання систем біомеханічних характеристик руху. Потім встановлюються закономірності їх взаємозв'язків та системоутворюючі елементи руху як єдиного цілого. Далі при необхідності визначають внесок кожного елемента у реалізацію його цільової функції, або кінцевої мети.

Практично без біомеханічного аналізу неможливо розробити жодної ефективною програми підготовки людини до розв'язання будь-яких координаційно складних рухових завдань. Існують три способи визначення рухів тіла людини як матеріальної точки: *природний, координатний, та векторний.*

Біомеханіка служить сполучною ланкою між теорією і практикою фізичного виховання, але для цього необхідно вміти аналізувати рухову діяльність. Біомеханічний аналіз складається з наступних етапів:

- I етап – вивчення зовнішньої картини рухової діяльності** (реєструють кінематичні характеристики, тривалість та інтенсивність окремих частин руху).
- II етап – з'ясування причин, що викликають і змінюють рух** (реєструють динамічні характеристики сил, що діють на людину ззовні і створені його власними м'язами).
- III етап – визначення топографії працюючих м'язів** (виявляють, які м'язи і яким чином беруть участь у виконанні даної вправи).
- IV етап – визначення енергетичних витрат** (реєстрування енергетичних характеристик і кількісне виявлення економічності працюючих м'язів).
- V етап – виявлення оптимальних режимів** (найкращої техніки рухових дій і найкращої тактики рухової діяльності).

### Критерії оптимальності рухової діяльності

**Оптимальним руховим режимом** називається найкращий варіант із усіх можливих. А *оптимізацією* називають вибір найкращого варіанта з числа можливих. Для того, щоб зробити правильний вибір, необхідно враховувати

критерії оптимальності.

До *критеріїв оптимальності рухової діяльності* відносяться (рис. 1.6):



Рисунок 1.6. Критерії оптимальності рухової діяльності

- **економічність** рухової діяльності, яка обернено пропорційна енергії, затрачуваної на одиницю виконуваної роботи або метр пройденого шляху.;
- **механічна продуктивність**, яка тим вище, чим більший обсяг роботи виконується за визначений час або чим швидше виконується даний обсяг роботи;
- **точність** рухових дій, що має два різновиди: цільова точність (наприклад у стрільбі) або відношенням числа успішно виконаних ударів, кидків, передач до їх загального числа. І точність відтворювання заданої зовнішньої картини рухів (наприклад при виконанні «школи» у фігурному катанні);
- **естетичність**, яка оцінюється близькістю кінематики, тобто зовнішньою картиною руху до естетичного ідеалу – загальноприйнятому або прийнятому у даному виді спорту (фігурному катанні, гімнастиці, синхронному плаванні);
- **комфортабельність**, яка буде тим вищою, чим менше тіло буде трястись при ходьбі, бігу, кидках, падіннях;
- **безпека**, яка буде тим вищою, чим меншою буде імовірність травми (велоспорт, єдиноборства, шахи).

**ТЕМА 2**  
**ТІЛО ЛЮДИНИ ЯК БІОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА**  
**ЗМІСТ**

1. Склад і структура рухового апарату.
2. Ланки тіла, як важелі і маятники.
3. Механічні властивості кісток і суглобів.
4. Біомеханічні властивості м'язів.
5. Режими скорочення і різновиди роботи м'язів.
6. Види групової взаємодії м'язів.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Андреева Р. Біомеханіка і основи метрології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2015. 224 с.
2. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ: Навч. посібник. Житомир, 2004. 124 с.
3. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
4. Донской Д.Д. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264с.
5. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
6. Зацюрский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
7. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
8. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
9. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
10. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
11. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 205 с.
12. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
13. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
14. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

**Склад і структура рухового апарату**

**Руховий апарат людини** – це саморухливий механізм, що складається з 640 м'язів (400 з них – м'язи скелету), 207 кісток, декількох сотень сухожилів. Ці цифри приблизні, тому, що деякі кістки хребетного стовпа та грудної клітини зрослись одна з одною, а багато м'язів мають кілька голівок (наприклад двоголовий м'яз плеча, чотирьохголовий м'яз стегна). Рухова діяльність людини настільки складна, що для того, наприклад, щоб зробити один крок необхідно привести в дію 56 різних м'язів (рис. 2.1).

Біомеханіка вивчає в тілі людини, в його опорно-руховому апараті



переважно ті особливості будови і функції, які мають значення для удосконалення рухів. Біомеханічна система – це спрощена копія, модель тіла людини, за допомогою якої можна вивчати закономірність рухів.

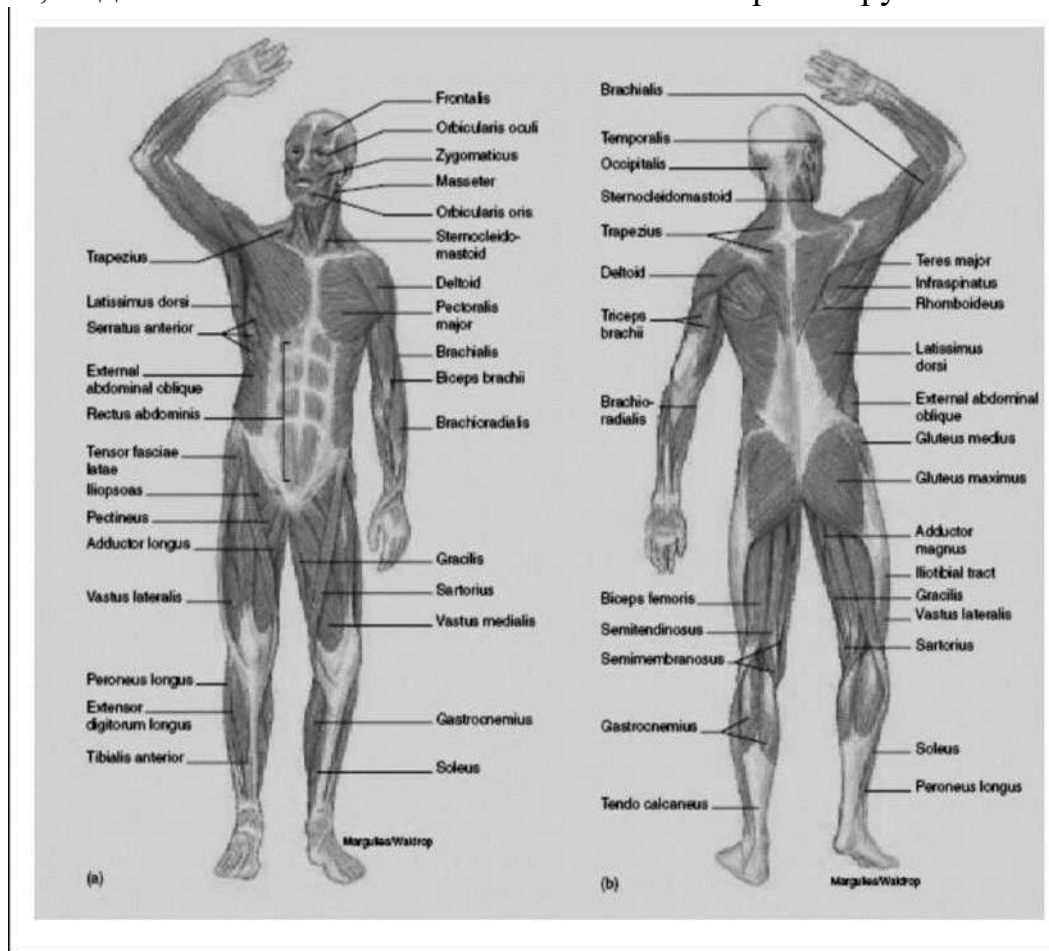


Рисунок 2.1. Руховий апарат людини

Руховий апарат людини складається з біоланок. **Ланки** – це структурні частини рухового апарату, які розташовані між двома сусідніми суглобами або між суглобом і дистальним кінцем. У людському тілі близько 70 ланок, але для вирішення практичних задач досить 15-ланцюгової системи (голова, тулуб, плече, передпліччя, кисть, стегно, гомілка, стопа та ін.)

Опорно-руховий апарат людини складається з наступних елементів:

- **біокінематична пара (БКП)** – це рухоме з'єднання двох кісткових ланок, в якому можливості руху визначаються його будовою і управляючим впливом м'язів;
- **біокінематичний ланцюг (БКЛ)** – це послідовне або незамкнуте (розгалужене), чи замкнуте з'єднання ряду біокінематичних пар.

У незамкнутих ланцюгах є вільна (кінцева) ланка, що входить лише в одну пару. У замкнутих ланцюгах немає вільної кінцевої ланки, кожна ланка входить у дві пари. У незамкнутому ланцюгу можливі ізольовані рухи в кожному окремо взятому суглобі.

**Ступені свободи і зв'язки рухів.** Якщо у фізичного тіла немає ніяких обмежень (зв'язків), воно може рухатись в просторі в усіх трьох вимірах, тобто

відносно 3-х взаємно перпендикулярних осей (поступально), а також навколо них (обертально). Отже у такого тіла 6 ступенів свободи руху. Кожний зв'язок зменшує кількість ступенів свободи. Зафіксувавши одну точку вільного тіла, зробивши його ланкою пари, відразу позбавляють його 3-х ступенів свободи – можливих лінійних переміщень вздовж трьох головних координат. Закріплення 2-ох точок ланки говорить про наявність осі, що проходить через ці точки. В цьому випадку залишається одна ступінь свободи.

При розгляді питання про склад і структуру рухового апарату слід визначитись з таким поняттям, як геометрія мас людини. І ми знаємо, що *маса тіла* – це міра інертності тіла при поступальному русі. *Момент інерції тіла* – це міра його інертності при обертальному русі.

*Геометрією мас людини* називається розподіл мас між ланками тіла й усередині ланок. Геометрія мас кількісно описується інерційними характеристиками. Основні з них: маса, радіус інерції, момент інерції і координати центра мас (рис.2.2).

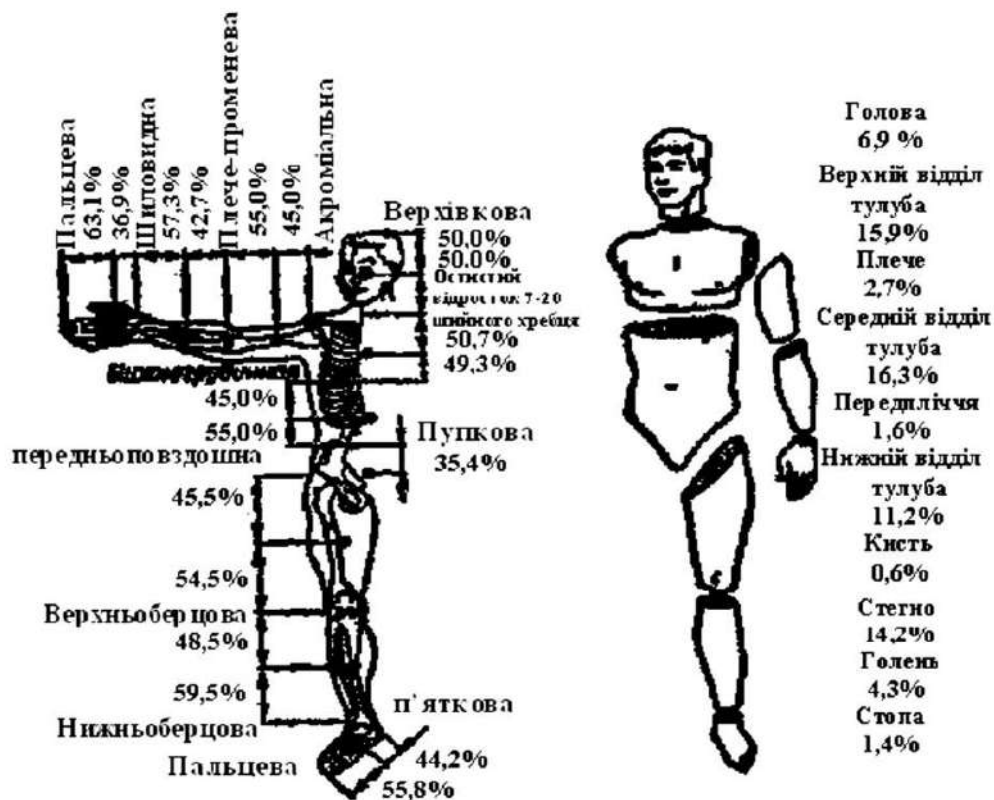


Рисунок 2.2. 15-ланкова модель тіла людини

(зліва – місця розташування ЦТ ланок,

справа – відносні маси ланок опорно-рухового апарату людини)

**Маса** – це кількість речовини (кг), що міститься в тілі або в окремій біоланці. Маса біоланок тіла у відсотках по відношенню до всього тіла: голова

6,9 %, верхній відділ тулуба 15,9%, плече - 2,7%, середній відділ тулуба 16,3%, передпліччя - 1,6%, нижній відділ тулуба - 11,2%, кисть - 0,6%, стегно -14,2%, гомілка-4,3%, стопа - 1,4%.

**Радіус інерції** – це середня відстань від вісі обертання (наприклад від вісі суглоба) до матеріальних точок тіла.

**Центром мас** є точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, які приводять тіло до поступального руху і цим самим і не викликають обертань (перекидань) тіла.

**Центр ваги** – точка, до якої прикладена рівнодіюча сил ваги всіх частин тіла. Коли діє сила ваги - центр мас збігається з центром ваги. Положення ЗЦМ (загального центра мас) визначається тим, де знаходяться центри мас окремих ланок і залежить від пози людини.

### Ланки тіла, як важелі і маятники

Дві сусідні ланки, сполучених між собою суглобом, утворюють біокінематичну пару. Наприклад, біокінематичною парою є стегно і гомілка, сполучені колінним суглобом.

Сполучені між собою біокінематичні пари називають біокінематичним ланцюгом. Так, наприклад, на рис. 2.3 показані різні біокінематичні ланцюги.

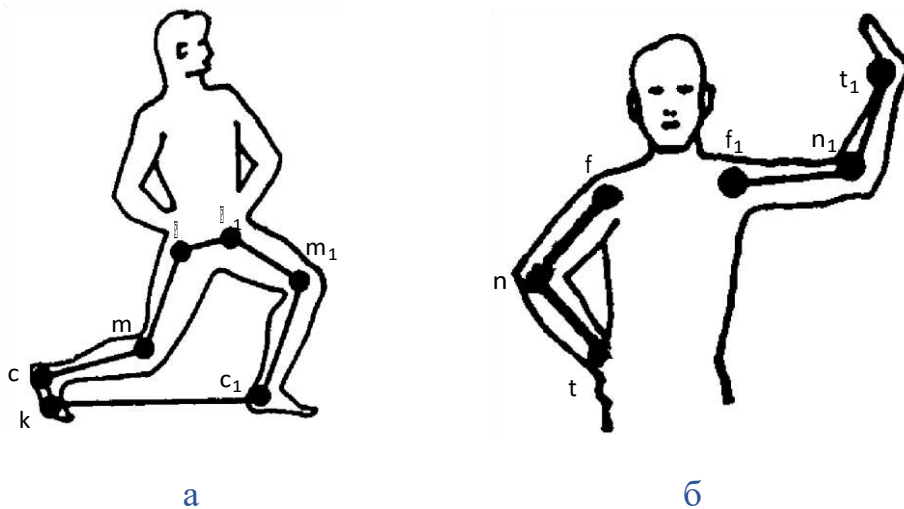


Рисунок. 2.3 Біомеханічні ланцюги:

*А – замкнутий через опору; б – замкнутий на собі і вільний*

Ланцюг нижніх кінцівок, замкнутий через опору (ланцюг: k; c; m; l; l<sub>1</sub>; m<sub>1</sub>; c<sub>1</sub> на рис.2.3, а), замкнутий на собі, як наприклад, ланцюг: f, n, t і незамкнутий, як наприклад ланцюг: f<sub>1</sub>; n<sub>1</sub>; t<sub>1</sub> на рис.2.3, б. Характерною для замкнутих ланцюгів є неможливість для них ізольованих рухів в окремих суглобах без залучення до руху інших з'єднань. У незамкнутих ланцюгах можливі ізольовані рухи в окремих суглобах.

Рухливе з'єднання кісток скелету, тобто їх біомеханічні ланки, із прикладеними до них силами м'язової тяги, у біомеханіці розглядаються як система складних важелів. Як найпростіший механізм – важіль служить для

передачі руху і сили на відстань.

Кісткові важелі – ланки тіла рухомо з'єднані в суглобах під дією прикладених сил, можуть або зберігати своє положення, або змінювати його. Вони необхідні для передачі руху і роботи на відстані. Кожен важіль має наступні елементи:

- точку опори;
- точку прикладення сил;
- плечі важеля;
- плечі сил.

Мірою дій сил на важіль є її момент відносно точки опори (добуток сили на її плече).

**Важіль I роду** – «**важіль рівноваги**», це важіль у якого сили розташовані з обох сторін від точки опори (осі обертання) і спрямовані в одну сторону (рис. 2.4).

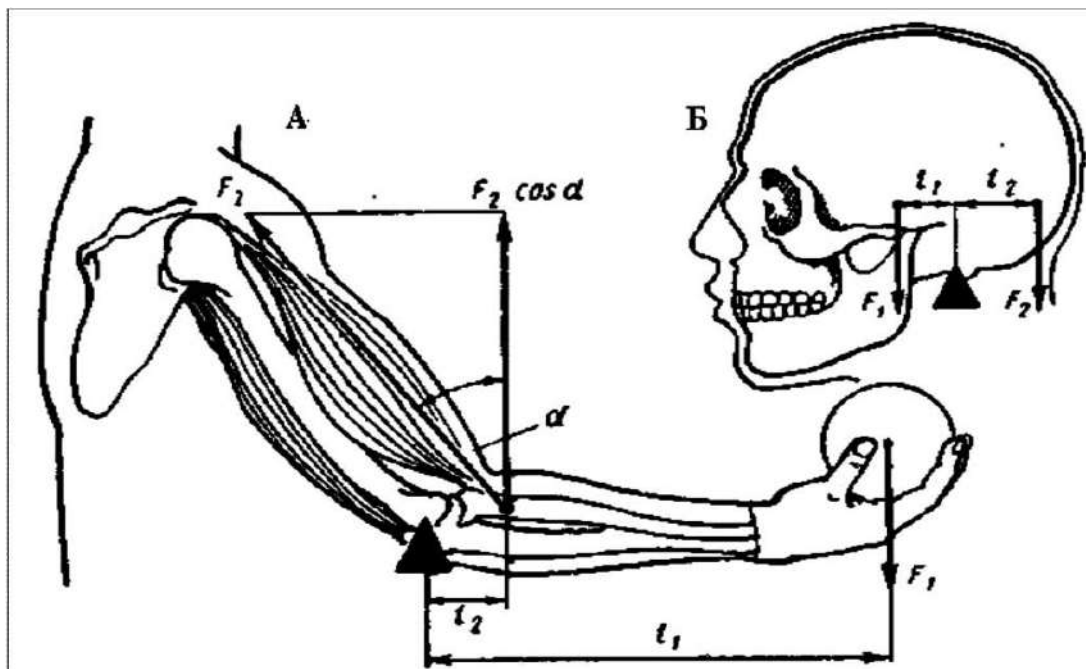


Рисунок 2.4. Приклади важелів різного роду:  
А – передпліччя – важіль II роду, Б – голова – важіль I роду

Плечем важеля вважають перпендикуляр, опущений з точки опори важеля (осі обертання) на напрямок м'язової сили або ваги; плече важеля відповідає відстані від точки опори важеля до точки прикладення сил. Такі важелі в організмі людини використовуються при збереженні положення стоячи (голова, таз). За законом важеля I роду відбуваються рухи голови, хребта. При асиметричній зміні м'язової сили, сили ваги кісткової ланки виникає порушення рівноваги важеля, і це клінічно виявляється порушенням постави в сагітальній або фронтальній площині.

**Важелем II роду** називається такий важіль, у якого сили, прикладені до нього розташовані з одного боку від точки опори або осі обертання і спрямовані різні сторони. Цей важіль має два різновиди в залежності від того, яка сила (сила ваги і або м'язова) буде розташована ближче до точки опори (осі обертання). Якщо сила ваги знаходиться ближче до точки опори і плече її важеля менше плеча важеля м'язової сили, то такий важіль II роду називається «**важелем сили**».

Якщо м'язова сила розташована ближче до точки опори і плече її важеля менше ніж плече важеля сили ваги, то такий важіль II роду називається «**важелем швидкості**».

**«Золоте правило» механіки у рухах людини.** Важільний устрій рухового апарату дає людині можливість кидати тіла на великі відстані, виконувати сильні удари тощо. Але ми виграємо у швидкості і потужності руху ціною підвищення сили м'язового скорочення. Наприклад, для того, щоб згинати руку у ліктьовому суглобі, переміщувати тіло масою 1 кг (тобто із силою тяжіння 10 Н), двоголовий м'яз плеча повинен розвивати силу 100200 Н. Обмін сили на швидкість є тим більше вираженим, чим більшим є співвідношення плечей важеля. Робота, що здійснюється силою, прикладеної на одному плечі важеля, передається на інше плече.

Однією з завдань біомеханіки є завдання розуміння та вміння зберігати рівновагу – **рівновагу важеля**, де необхідна рівність моментів прикладених сил протилежної дії щодо осі важеля, а для **прискорення важеля** – нерівність моментів цих сил.

Руки і ноги людини можуть дуже часто, по роду діяльності у видах спорту, робити коливальні рухи (згинання, які чередуються з розгинаннями), тому наші кінцівки являють собою певні маятники. Наближаючи частоту кроків або гребків при ходьбі, бігу, плаванні до резонансної, тобто близької до власної частоти коливань рук або ніг, ми приближаємось до основної нашої мети – мінімального витрачання енергії.

Проте, що стосується коливальних рухів, то тут можна не тільки зберігати, але і накопичувати енергію. Це відбувається за рахунок **рекуперації** механічної енергії (отримання її знову і знову або повторного її використання). Найпростіша форма рекуперації – це перехід потенціальної енергії в кінетичну (наприклад – ходьба, біг, гімнаст, що виконує на поперечині вправу «сонечко»).

### **Механічні властивості кісток і суглобів**

Механічні властивості кісток насамперед визначаються їх *функціями*: опорна, рухова і захисна. **Опорно-рухову** функцію виконують кістки кінцівок і хребта. **Захисну** функцію внутрішніх органів несуть кістки черепа, грудної клітини, тазу.

Кістки рук і ніг, по своїй будові, є довгасті і трубчасті. Така будова забезпечує їхню міцність і легкість. Скелет дорослої людини важить усього лише 8 кілограмів, вага м'язів приблизно в три рази більше. Кістки скелета і м'які тканини при деформації під дією прикладених сил (навантажень) протидіють

їм. Розрізняють **чотири види механічного впливу на кістку**: розтяг, стиск, вигин і крутіння (рис. 2.5).

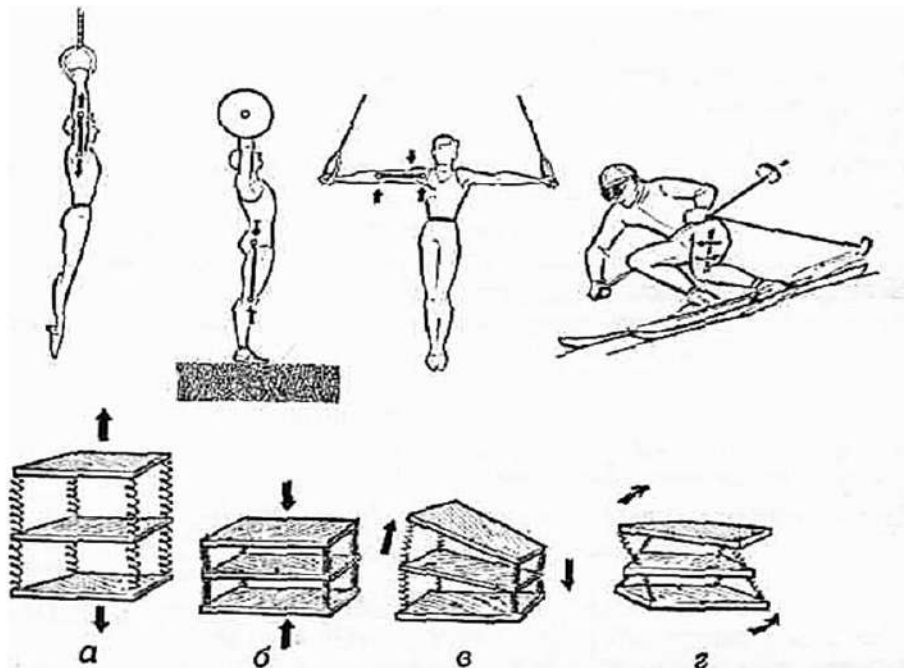


Рисунок 2.5. Види механічного впливу, що викликають деформацію:  
а – розтягнення; б – стискання; в – вигин; г – кручення.

1. Навантаження, що викликають **розтяг**, виникають при висах або під час утримання вантажу в опущених руках. Міцність кістки на розтяг дорівнює міцності чавуну.
2. Навантаження, що створюють **стиск** кісток і хрящів звичайно, діють на тіло при вертикальному положенні (сила ваги тіла і тиск опори). При стиску міцність кісток ще вище (16000 – 18000 Н).
3. Навантаження, що викликають **вигин**, виникають, коли кістки виконують роль важелів (наприклад утримання положення «хрест» у вису на кільцях, виконання деяких видів кидків, больових технік). Сили 12000 ньютон (1,2 тонни) недостатньо, щоб зламати стегнову кістку.
4. Навантаження, що створюють **крутіння**, найчастіше зустрічаються при обертальних рухах ланки навколо подовжньої осі.

Особливо великі припустимі механічні навантаження у спортсменів; регулярні тренування приводять до робочої гіпертрофії кісток (у штангістів – кістки ніг і хребта, у тенісистів – кістки передпліччя і т.д.).

**Механічні властивості суглобів** залежать від їхньої будови (рис. 2.6). Суглоб – це рухливе з'єднання частин тіла або ланок. Звичайно в суглобі з'єднуються дві суглобні поверхні – дистальна (опукла) і проксимальна (увігнута).

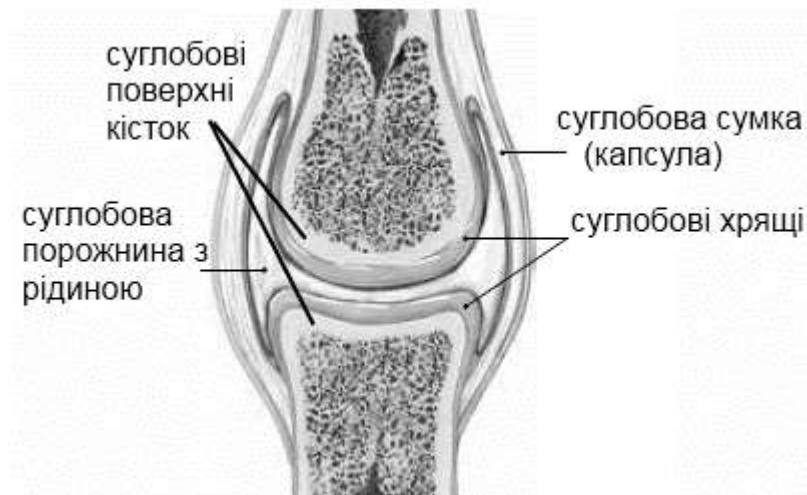


Рисунок 2.6. Будова суглоба людини

Для того, щоб зменшити силу тертя в суглобі, суглобна поверхня змочується синовіальною рідиною, яка, як у капсулі, зберігає суглобна сумка. Синовіальна рідина не тільки зменшує коефіцієнт тертя в 20 разів, але може виділятися більше або менше при збільшенні або зменшенні фізичного навантаження. А при зниженні навантаження, надлишки рідини поглинаються губчатою поверхнею суглоба. Ще більші сили діють на колінний суглоб, при масі тіла 90 кг вони досягають: при ходьбі 7000 Н, при бігу 20000 Н.

Міцність суглобів порушується, якщо тиск у суглобному хрящі перевищує 350 Н/см<sup>2</sup>, змащення припиняється і виникає небезпека його механічного стирання. З віком змазування суглобної сумки зменшується.

### Біомеханічні властивості м'язів

Виконання будь-яких фізичних вправ вимагає руху тіла, який здійснюється скороченням скелетних м'язів. До складу скелетних м'язів входить м'язова, нервова і сполучна (зв'язки, сухожилля) тканини. Загальна маса м'язів в чоловіків середнього рівня натренованості біля 38% ваги тіла (327 парних скелетних м'язів і 2 м'язи непарні, 49 м'язів внутрішніх органів і органів відчуття). М'язи містять 75-80% води, 18% білка, 0,2% жиру, 0,7% глікогену, 0,45% креатинфосфату. Скелетні м'язи – це основне джерело механічної енергії тіла людини.

Головним структурно-функціональним елементом нервово-м'язового апарата є *рухова одиниця* (РО). Функціонально РО поділяють на *повільні* (тип I) і *швидкі* - (тип II). Всі м'язові волокна, які входять до складу діючої РО, за своїми властивостями ідентичні. Кількісне співвідношення м'язових волокон цих двох типів РО має генетичне походження і змінюється в онтогенезі за спадковою програмою. У дітей дошкільного і молодшого шкільного віку основна маса скелетних м'язів складається з волокон типу I. В період статевого визрівання під впливом статевих гормонів, особливо тестостерону, в скелетних

м'язах настають значні зміни в розвитку м'язових волокон. Починають швидко збільшуватись у поперечному розрізі і в кількості волокна типу II. Абсолютна кількість волокон типу I при цьому залишається незмінною (Д.А. Фарбер та ін., 1990).

Сила, швидкість скорочень і витривалість повільних і швидких м'язових волокон різні, що зумовлено їх морфологічними і біохімічними особливостями. Повільні м'язові волокна (**«червоні» м'язи**) мають багато капілярів, міоглобіну і мітохондрій. Вони повільно стомлюються, забезпечуючи довготривалі м'язові скорочення порівняно невеликої сили (стаєрський і марафонський біг, лижні гонки, велосипедний спорт тощо). Чим більше генетично обумовлених повільних волокон, тим вищий спадковий показник максимального споживання кисню. Робоча гіпертрофія повільних волокон лежить в основі розвитку витривалості.

Швидкі м'язові волокна (тип II) називаються гліколітичними, це — **«білі» м'язи**. На відміну від повільних окислювальних волокон вони працюють в безкисневому (анаеробному) режимі. Розвиваючи велику силу статичних і динамічних скорочень швидкі м'язові волокна зумовлюють «вибухову» силу і високу швидкість рухів (спринтерський біг, стрибки, підняття штанги). В процесі спортивних тренувань на витривалість можна досягнути перетворення частини швидких чисто гліколітичних анаеробних білих волокон (тип II) у другу частину швидких волокон – у волокна окислювально-гліколічні цього ж типу (ПА), які можуть скорочуватись сильно, інтенсивно протягом тривалого часу в аеробних і анаеробних умовах повільно стомлюючись

М'язи як фізичні тіла мають свої **властивості**:

- ◆ **скорочення** – це здатність м'язів скорочуватися при збудженні, при цьому м'яз коротшає і виникає сила тяги.
- ◆ **пружність** – це здатність м'яза при розтягуванні відновлювати первісну довжину, при цьому в м'язі виникає енергія пружної деформації. Тобто, м'яз можна порівняти з пружиною або гумовим джгутом, де, чим вона більше розтягнута, тим більша енергія в ній запасена. Наприклад, при метанні, у фазі розтягування м'яза, у ньому запасається потенційна енергія пружної деформації, яка у фінальній частині метального руху перетворюється в кінетичну енергію руху снаряда. За законом Гука для м'яза при його подовженні ми бачимо процес нелінійності, яка обумовлюється залежністю величини сили від розтягування. Ця крива – а її називають «сила-довжина» є однієї з залежністю, що пояснює закономірності м'язового скорочення.
- ◆ **твердість** – це здатність м'яза протидіяти силам, що прикладаються.
- ◆ **піддатливість, повзучість** – це властивість м'яза, зворотна твердості.
- ◆ **міцність** м'яза оцінюється величиною сили, що розтягує, при якій відбувається розрив м'яза.
- ◆ **релаксація** – відбудовна (відновна) властивість м'яза, що виявляється в поступовому зменшенні сили тяги при постійній довжині м'яза.



## Режими скорочення і різновиди роботи м'язів.

М'язи прикріплюються сухожиллями до кісток і працюють у різних режимах (рис.2.7).

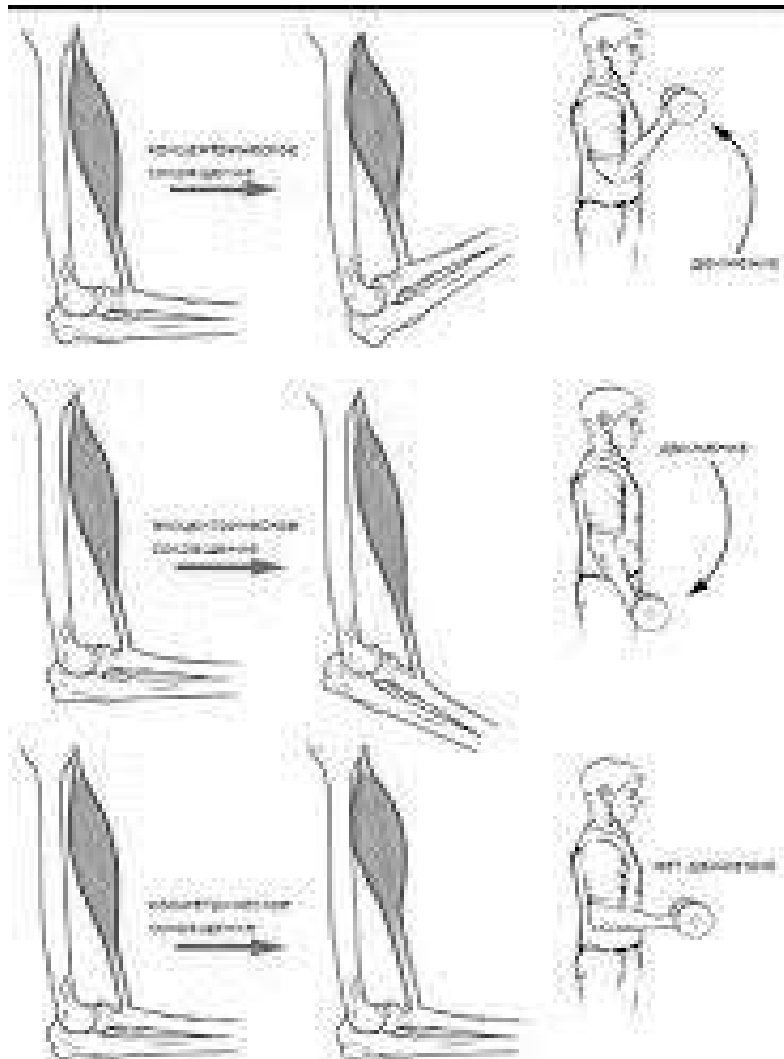


Рисунок 2.7. Режими роботи м'язів

При **анізометричному** скороченні м'яз коротшає або подовжується. У цьому режимі працюють м'язи бігуна, плавця, велосипедиста. Анізометричний режим має два різновиди. У **долаючому** режимі м'яз коротшає в результаті скорочення (фаза відштовхування при бігу), а в **поступаючому** режимі м'яз розтягується зовнішньою силою (фаза амортизації при взаємодії ноги з опорою).

При **ізометричному** (утримуючому) режимі довжина м'яза не змінюється (наприклад утримання штанги). Скорочення м'язів, при яких вони розвивають напруження, але не змінюють своєї довжини, ще називають **статичними**. Такі скорочення забезпечують підтримання тіла в просторі, вони направлені на протидію земному тяжінню і сприяють збереженню відповідної пози тіла. Підтримання природної пози спортсмена здійснюється маловтомлюваними тонічними напруженнями м'язів. Більшість же статичних вправ (положень, поз),

які зустрічаються у спортивній практиці, пов'язані з тетанічними напруженнями м'язів.

Залежність між силою і швидкістю м'язового скорочення («**сила-швидкість**») називають кривою Хілла (рис.2.8). Залежність сили тяги від швидкості скорочення м'яза надзвичайно важлива, адже добуток сили на швидкість дає потужність його роботи – основний показник при виконанні рухових дій спринтерського характеру. Істотний внесок у вивчення згаданої залежності зробив відомий спортсмен легкоатлет і вчений А.В. Хілл (1938 р.), іменем якого часто називають залежність «сила тяги – швидкість скорочення м'яза». Між цими показниками роботи м'яза – обернено-пропорційна залежність, яка може бути описана формулою:

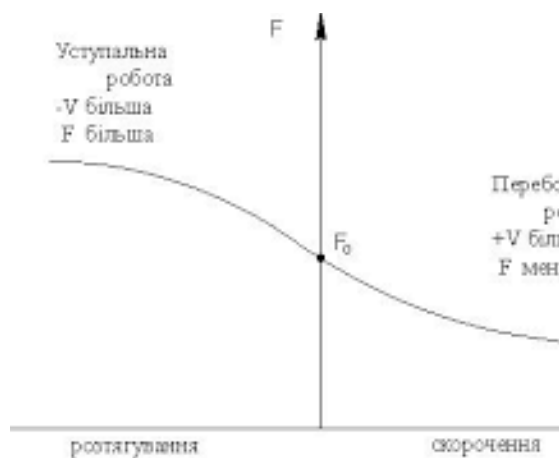
$$(F - a) \times (V - b) - (F_0 - a) b = \text{constanta},$$

- де  $F$  – сила тяги на кінці м'яза;  
 $V$  – швидкість скорочення м'яза;  
 $F_0$  – максимальна ізометрична сила;

На кривій Хілла ізометричному режиму роботи м'яза відповідає величина статичної сили  $F_0$ , при якій швидкість скорочення м'яза дорівнює нулю. Права частина кривої Хілла відображає закономірності **долаючої** роботи, при якій зростання швидкості скорочення м'яза викликає зменшення сили тяги. А ліва частина кривої Хілла відображає закономірності **поступаючого** режиму роботи, при якому збільшення швидкості розтягання м'яза викликає збільшення сили тяги. Це є причиною численних травм у спортсменів (розрив Ахіллового сухожилля в спринтерів і стрибунів у довжину).

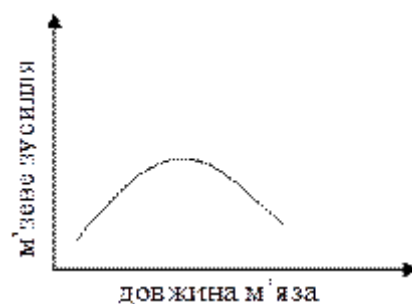
Якщо провести аналогію між м'язами і пружиною, то за законом Гука, подовження пружини нелінійно залежить від величини сили, що розтягує. Криву роботи м'яза в цьому випадку називають «**сила-довжина**» (рис.2.8).

### КРИВА ХІЛЛА



**А**

### ЗАКОН ГУКА



**Б**

Рисунок 2.8. А – залежність між силою і швидкістю м'язового скорочення  
 Б – залежність між силою і довжиною м'яза.

### Види групової взаємодії м'язів.

Існує два види групової взаємодії м'язів: синергізм і антогонізм.

**М'язи синергісти** (рис. 2.9) переміщують ланки тіла в одному напрямку (наприклад у згинанні руки беруть участь двоглавий м'яз плеча, плечовий і плечепроменевий м'язи). Результатом синергічної взаємодії м'язів служить збільшення сумарної сили дії. Але цим значення синергізму м'язів не вичерпується. При наявності травми, а також при локальному стомленні будь-якого м'яза його синергісти забезпечують виконання рухової дії.

**М'язи антагоністи** (рис. 2.10) мають різноспрямовану дію: якщо один з них виконує долаючу роботу, то інший – поступливу. Наявністю м'язів-антагоністів забезпечується висока точність руху і зниження травматизму.

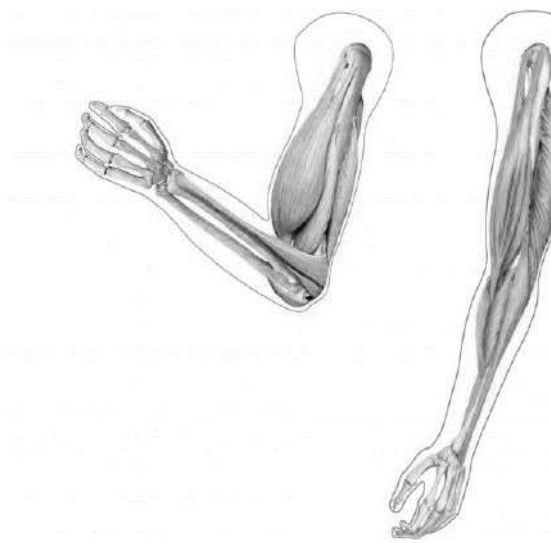


Рисунок 2.9. М'язи синергісти



Рисунок 2.10. М'язи антагоністи

### ТЕМА 3

## БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХОВИХ ДІЙ

### ЗМІСТ

1. Біомеханічний контроль у процесі фізичного виховання.
2. Біомеханічні характеристики:
  - a) біокінематичні характеристики;
  - b) біодинамічні характеристики;
  - c) енергетичні характеристики.
3. Кількісна оцінка техніко-тактичної майстерності.
4. Вимірювальні системи в біомеханічному контролі.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Андрєєва Р. Біомеханіка і основи метрології: навчально-методичний посібник. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2015. 224 с.
2. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ: Навчальний посібник. Житомир, 2004. 124 с.
3. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. К.: Олімп. література, 2005. 319с.
4. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. М.: ФиС, 1979.С. 16-37.
5. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
6. Зациорский В. Спортивная метрология. М.: ФиС, 1982 С. 11-14, 124-126.
7. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Метод. посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
8. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: метод. посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
9. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник Миколаїв, 2015 – 215с.
10. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
11. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М., 1989. 205 с.
12. [http://www.spinesurgery.ru/netcat\\_files/383/271/h\\_84c9202b01cf195304641c61c23](http://www.spinesurgery.ru/netcat_files/383/271/h_84c9202b01cf195304641c61c23)
13. <http://www.vinci.ru/3/tezaurus/9/index.html>

### Біомеханічний контроль у процесі фізичного виховання

При вивченні рухів тіло людини часто умовно беруть за так звану матеріальну точку. Це припустимо тільки у тому випадку, якщо його розміри настільки малі порівняно з відстанню, на котру воно переміщується, що ними можна знехтувати. У фізичному вихованні об'єктом біомеханічного контролю є моторика людини, тобто рухові (фізичні) здібності та їх прояви. У спортивній метрології, контроль є одним з основних предметів вивчення, тобто контроль – це збір інформації про фізичний стан об'єкта керування і порівняння його дійсного стану з взірцем.

У біомеханіці під **контролем** розуміють випробування (вимір результатів), а також постійне спостереження з метою перевірки отриманих вимірів. У результаті біомеханічного контролю ми одержуємо відомості :

- ◆ про техніку рухових дій і тактику рухової діяльності;
- ◆ про витривалість, силу, швидкість, спритність і гнучкість, високий рівень яких забезпечує техніко-тактична майстерність.

Біомеханічний контроль складається з тестування (виміру), а також оцінювання результатів виміру або тестування. При здійсненні контролю в процесі фізичного виховання і спорту використовуються три види контролю:

- **етапний контроль** – дозволяє оцінити етапний стан, що є наслідком тривалого тренувального ефекту (підготовчий, базовий, втягуючий, тощо);
- **поточний контроль** використовують для оцінки поточних станів, що є наслідком навантажень після серії занять в мікроциклі тренувального заняття або після контрольних вправ (рухових тестів);
- **оперативний контроль** передбачає оцінку оперативних станів – термінових реакцій організму на навантаження в процесі змагань або після серії тренувальних занять.

### Біомеханічні характеристики

**Біомеханічні характеристики** – показники, що використовуються для кількісного опису й аналізу рухової діяльності. Біомеханічні характеристики рухів тіла людини – це міри механічного стану біосистеми та його зміни (поведінки). На практиці звичайно використовують біомеханічні характеристики двох типів – якісні та кількісні (рис. 3.1).



Рисунок 3.1. Класифікація біомеханічних характеристик

**Якісні характеристики** дають змогу розрізняти рухи, принципово різні за типами, видами, біомеханічними закономірностями, принципами побудови та особливостями виконання (приклад якісно різних типів рухів – рухи навколо осі та *локомоторні рухи* – це рухи, які виникають у системі біокінематичних пар та ланцюгів, що забезпечують розв’язання людиною певного рухового завдання).

**Кількісні характеристики** дають змогу розрізняти та співставляти рухи всередині кожного їх типу, виду, тощо. Ці характеристики використовують найчастіше для порівняння зразків одних і тих самих рухів, але виконуваних різними особами. Вимірювання кількісних характеристик таких рухів дає об’єктивну можливість порівнювати якість виконавчої діяльності та визначити рівень рухової майстерності виконавців.

Однак, якщо *якісні характеристики* при певному досвіді можна визначити без спеціальної апаратури за допомогою візуального спостереження, то встановлення *кількісних характеристик* цих рухів вимагає використання досить складної вимірювальної техніки та методики. Кількісні характеристики рухів тіла людини методично зручно розділити на два основних види – *біокінематичні* та *біодинамічні*. Біокінематика (від грецьк. *bios* – життя, *kinematos* - рух) вивчає рух живих тіл та біологічних систем.

**Кінематика** – це розділ механіки, що вивчає механічні рухи тіл у природі. Рухи тіл у кінематиці вивчаються без урахування їхньої інертності та діючих сил. Тому кінематику іноді називають геометрією рухів. В основу поняття кінематики рухів включають засоби опису зміни положення тіла в просторі у відношенні до інших тіл протягом певного часу. Кінематика ставить перед собою мету аналізувати різні види руху та встановлювати закони, що відображаються між величинами, які характеризують ці рухи; фізичні ж особливості матеріальних об’єктів у їх взаємодії (маси, сили) – матеріальна природа, а також фізичні процеси не розглядаються. Отже, кінематичні характеристики змальовують тільки зовнішню картину рухів, а причини виникнення та зміни самих рухів і їх особливостей не розкривають.

◆ **Кінематичні характеристики** описують зовнішню картину рухової діяльності, форму і характер руху. Вони поділяються на:

**Просторові: лінійне переміщення відстань,  $s$  (метр);**

**кутове переміщення кут повороту, (градус).**

Для об’єктивного вивчення характеристик рухів людини необхідно якимсь чином моделювати його тіло. В біомеханіці відомо два основних способи моделювання тіла людини. Перший – уявити тіло за *матеріальну точку*. Другий – уявити тіло людини як *систему матеріальних точок*. В залежності від умов завдання вибір випадає на ту чи іншу *систему відліку*. При відліку відстаней потрібно встановити: а) початок; б) напрямок; в) одиниці відліку. Дуже важливо доцільно вибрати тіло й початок відліку.

Обробляючи стробосфотографію, кінограму чи відеограму, зручно вивчати розташування окремих точок тіла людини, а також їхнє переміщення в просторі, відносно якоїсь нерухомої системи координат. Найчастіше – це

**горизонтальна вісь**, яка, як правило, паралельна площині підлоги, майданчика, доріжки тощо. Перпендикулярна відносно неї **вертикальна вісь**, спрямована удовж стіни будівлі, стовпа чи краю фотознімка (при умові нерухомості камери), точка перетину яких прив'язана до якогось нерухомого предмета в площині зйомки – тіла відліку. У деяких випадках система координат повинна мати і третю вісь з метою вивчення складних рухових дій у кількох площинах (вперед-назад, праворуч-ліворуч та вгору-додолу, або обертання відносно вказаних осей). Інколи систему координат прив'язують до центра маси тіла людини або транспортного засобу (велосипеда, човна, саней).

У тій чи іншій системі відліку всі точки тіла людини володіють такими **біокінематичними характеристиками**: траєкторія руху; форма руху; шлях руху; час руху; швидкість руху; прискорення руху.

Всі просторові характеристики мають розмірності, пов'язані з мірами простору – метри (сантиметри, міліметри, кілометри, милі, фути, ярди тощо), радіани (градуси),  $1/m$  – для кривизни, відсотки чи відношення – для ухилу, крутизни чи перепаду висот. **Траєкторія** – це уявна лінія в просторі, уздовж якої рухається конкретна точка (рис. 3.2).

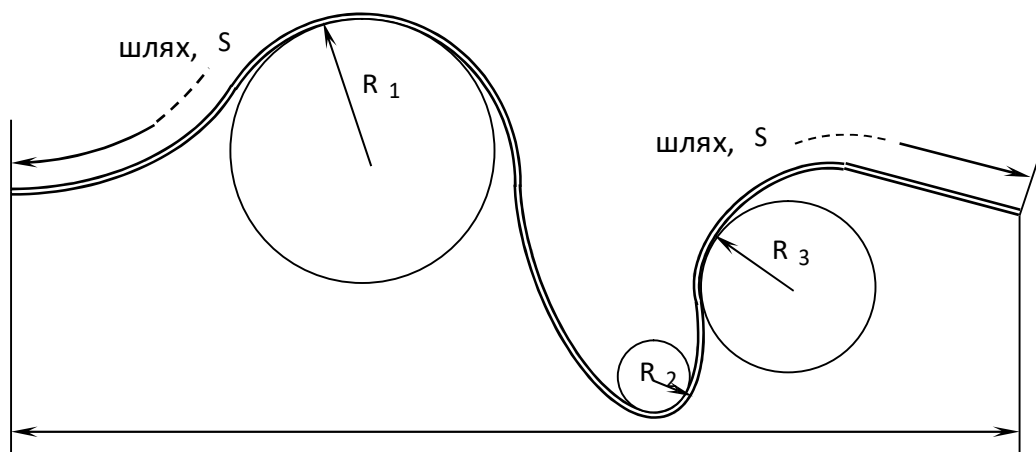


Рисунок 3.2. Траєкторія руху точки, її кривизна, шлях та відстань, яку проходить точка

**Шлях** – це реальна відстань, яку проходить точка під час руху уздовж певної траєкторії: у метаннях спортивних приладів – ядра, диска, списа, гранати тощо – вони пролітають значно більший шлях, ніж відстань (дальність), за якою оцінюється результат. Це саме стосується польоту м'яча, стрибків у довжину, а також руху трасою – виявляється, що шлях (траєкторія), яким рухаються санкарі, велосипедисти, гірськолижники, автотогонщики тощо, у повороті – коротший, а на прямій – довший, ніж відстань, виміряна уздовж осі траси.

Дуже рідко траєкторії руху точок є прямими лініями. Частіше під впливом відхиляючих сил (тяжіння, інерції, реакції опори, дії інших тіл тощо), або утримуючих тіл при обертових рухах, траєкторії руху точок мають змінну

кривизну – величину, обернену до величини радіуса кола, дугою якого на даній ділянці є траєкторія.

У систему відліку часу входить визначений початок та одиниці відліку.

**Часові характеристики** розкривають рух у часі, коли він почався і коли закінчився (момент часу), як довго продовжувався (тривалість руху), як часто виконувався рух (темп), як вони були побудовані в часі (ритм). Визначаючи, де знаходилась та чи інша точка тіла людини в просторі, необхідно визначити, коли вона там була.

**Момент часу** – це часова міра положення точки тіла і системи. Момент часу визначають проміжком часу до нього від початку відліку. Момент часу визначають не тільки для початку й закінчення руху, але і для інших важливих миттєвих положень. У першу чергу це моменти істотної зміни руху: закінчується одна частина руху і починається наступна. За моментами часу визначають тривалість руху.

**Тривалість руху** – це час виконання усієї рухової дії від її початку до кінця:

$$\Delta t = t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}, [\Delta t] = T$$

Тривалість руху є проміжок між двома обмежувачими його моментами часу. Знаючи відстань, пройдену точкою, і тривалість її руху, можна визначити її швидкість. Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм.

**Темп рухів** – це кількість виконаних циклів фізичної вправи за одиницю часу – біомеханічна характеристика, що має застосування лише у циклічних видах рухової діяльності, а також при оцінюванні циклічних фізіологічних процесів (наприклад, ЧСС, ЧД). Він вимірюється кількістю рухів, які повторюються за одиницю часу (частота рухів).

$$N = \frac{1}{t}; [N] = T^{-1}$$

Темп – величина обернена тривалості рухів. Чим більша тривалість кожного руху, тим менший темп і навпаки. В циклічних рухах темп може служити показником досконалості техніки. Так у спортсменів високої кваліфікації частота рухів більша ніж у менш підготовлених. Частота рухів необхідна для оцінювання їхньої інтенсивності та потужності м'язової роботи, що виконується. Між частотою рухів та частотою циклічних фізіологічних процесів існує тісний взаємозв'язок.

**Ритм рухів** (часовий) це часова міра співвідношення тривалості частин рухів (рис.3.3).

**Ритм** – величина безрозмірна, він визначається за співвідношенням тривалості частин рухів. Записується часовий ритм так:

$$\Delta t_1 : \Delta t_2 : \Delta t_3 : \Delta t_4 \dots = 2 : 4 : 6 : 3 : \dots$$

де  $\Delta t_i$  - час (в секундах, долях секунди, кадрах кінограми тощо) кожної фази фізичної вправи.



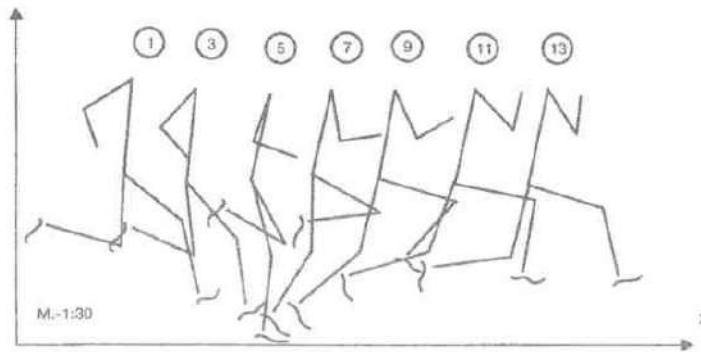


Рисунок 3.3. Біокінематична модель рухів спринтера щодо зовнішньої (нерухомої системи відліку)

Ритм рухів характеризує наприклад, відношення часу опори до часу польоту в бігу, чи часу амортизації до часу відштовхування в опорі. Із зміною темпу кроків змінюється і їх ритм. Крім часових можна визначити ще і просторові показники ритму. Ритм відображає прикладені зусилля, залежить від їх величини, часу прикладення та інших особливостей рухів. За ритмом рухів можна в певній мірі судити про їх досконалість. У ритмі особливо важливі акценти – більше зусилля і прискорення – їх розміщення в часі.

За **просторово-часовими характеристиками** визначають, як змінюється положення руху людини в часі, як швидко людина міняє свої положення і рухи.

**Швидкісні характеристики :**

- ◆ лінійна швидкість,  $v$  (метр у секунду );
- ◆ кутова швидкість,  $w$  (градус у секунду);
- ◆ лінійне прискорення,  $a$  (м/с<sup>2</sup>);
- ◆ кутове прискорення,  $e$  (град/с<sup>2</sup>);

**Швидкість точки** – це просторово-часова міра руху точки (швидкості і вимірювання її положення). **Швидкість** рівна першій похідній в часі від відстані в системі підрахунку, що розглядається:

$$V = \frac{S}{t} \text{ (м/с)}$$

Швидкість точки визначається за заміною її координат в часі (рис. 3.4).

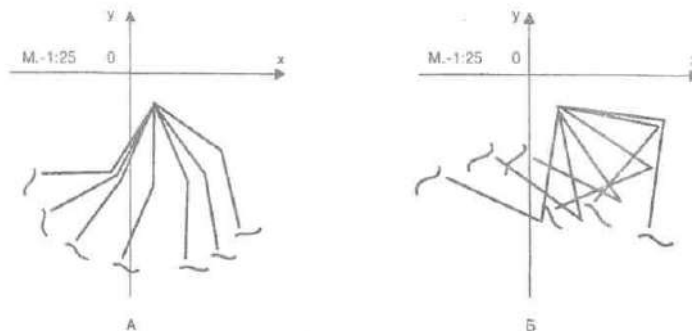


Рисунок 3.4. Біокінематична схема рухів опорної (А) і махової (Б) ніг спринтера в соматичній системі.

**Швидкість** – величина векторна, вона характеризує швидкість руху та його напрямок. Точки тіла людини практично ніколи не рухаються прямолінійно та рівномірно: навіть протягом виконання однієї вправи величина і напрямок швидкості руху окремих його точок постійно змінюються, тому поняття середньої швидкості в біомеханічному аналізі практично не використовується. Замість середньої швидкості, беручи до уваги основні способи реєстрації фізичних вправ, розраховується так звана **миттєва швидкість** – це швидкість руху точки в даний момент часу, або у заданій точці траєкторії.

**Прискорення точки** – це просторово-часова міра зміни руху точки. Прискорення точки дорівнює похідній за часом від швидкості цієї точки в системі відліку, яка розглядається. Будь-яку зміну лінійної швидкості руху можна охарактеризувати прискоренням – векторною величиною, що характеризує напрямок та інтенсивність зміни швидкості точки у даній системі відліку. Миттєве прискорення подібно, як і миттєва швидкість, у заданій точці траєкторії чи у заданий момент часу, визначається за формулою:

$$|a_i| \approx \Delta V_i / \Delta t \text{ [м/с}^2\text{]}$$

### **Просторово-часові характеристики обертового руху.**

**Обертним рухом** називають рух твердого тіла, при якому усі його точки рухаються по колах із спільним центром. Мірою **переміщення тіла** при обертальному русі є кут повороту (рис. 3.5).

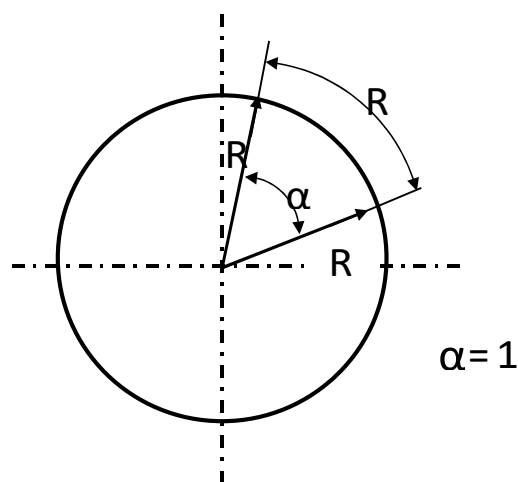


Рисунок 3.5. Радіан, як міра кута повороту.

Мірою кута повороту є радіан – центральний кут, довжина дуги якого дорівнює радіусу. Враховуючи, що довжина кола

$$S = \pi D, \text{ або } S = 2 \pi R,$$

$$1 \text{ рад.} \approx 57,3 \text{ град.}, \text{ а } 1 \text{ град.} \approx 0,017 \text{ рад.}$$

**Кутова швидкість** – це вектор, що характеризує інтенсивність і напрямок обертання тіла у даній системі відліку. В обертальному русі тіла визначають кутову швидкість як міру швидкості зміни його кутового

положення. Вона рівна за величиною першій похідній за часом від кутового переміщення.

**Кутове прискорення** – це вектор, що характеризує інтенсивність і напрямок зміни кутової швидкості у даній системі відліку.

У процесі виконання фізичних вправ ні інтенсивність обертання біологів та всього тіла, ні розташування осей обертання в просторі не залишаються постійними, тому, як і у випадку поступального руху, поняття середньої кутової швидкості чи середнього кутового прискорення не мають сенсу. При біомеханічному аналізі фізичних вправ користуються поняттям миттєвої кутової швидкості та миттєвого кутового прискорення.

**Динамічні характеристики** несуть інформацію про механізм руху і причини зміни руху. Рухи людини відбуваються в результаті дії сил. Власне вони є наслідком взаємодії її тіла з іншими тілами. **Біодинамічні характеристики** дозволяють розкрити основні особливості цих взаємодій. Біодинамічні характеристики включають:

- *інерційні характеристики* (особливості тіла людини й тіл, які вона рухає);
- *силові* (особливості взаємодії біологів тіла й інших тіл);
- *енергетичні* (стани та зміни працездатності біомеханічних систем).

Інерційні характеристики найбільше повно розкриваються в 1-ому законі Ньютона. Інертність – властивість фізичних тіл, виявляється в поступовій зміні їхньої швидкості з часом під дією сил. Інакше кажучи, усяке тіло зберігає швидкість, поки її не змінять сили, що на нього діють.

**Інерція** – властивість тіла зберігати швидкість незмінною при відсутності зовнішніх впливів. Різні тіла змінюють швидкість під дією сил по-різному. Ця властивість, отже, має міру: її називають інертністю. Властивість тіл поступово та по-різному змінювати свою швидкість при їх взаємодії називається **інертністю**. Чим більша інертність тіла, тим повільніше змінюється швидкість його руху під дією інших тіл. Кількісною характеристикою інертності тіла при його поступальному русі є його маса.

**Маса тіла** – це міра інертності тіла при поступальному русі. Вона вимірюється відношенням величини прикладеної сили до прискорення, яке вона викликає:

$$m = \frac{F}{a} \text{ (кг)}$$

де:  $m$  – маса,  $F$  – сила,  $a$  – прискорення.

При дослідженні обертальних рухів необхідно враховувати не тільки величини маси, але й її розподіл у тілі. На розподіл матеріальних точок у тілі вказує місце розташування центра маси тіла.

**Центром маси тіла (ЦМТ)** називається точка перетину прямих, уздовж яких повинні бути спрямовані сили, щоб тіло рухалося поступально (без обертання). Ні в якому разі не можна казати, що це точка, в якій сконцентрована вся маса тіла, або що це точка, до якої прикладена сила тяжіння: ЦМТ – це чисто уявна, розрахункова точка. Розташування ЦМТ тіла

людини обумовлюється анатомофізіологічними особливостями, позою, функціонуванням органів травлення, дихальної, транспортної та інших систем, що забезпечують переміщення певних речовин в організмі в процесі його життєдіяльності.

**Момент інерції тіла** – це міра його інертності при обертальному русі. Момент інерції тіла щодо осі дорівнює сумі добутків мас усіх матеріальних точок тіла на квадрати їхніх відстаней від даної осі обертання:

$$I = m^2 \cdot r^2 \text{ [кг} \cdot \text{м ]}$$

де  $I$  – момент інерції матеріальної точки (малого тіла);

$m$  – маса матеріальної точки (малого тіла);

$r$  – відстань матеріальної точки від осі обертання.

Оскільки матеріальні точки в тілі розташовані на різних відстанях від осі обертання, то момент інерції тіла дорівнює сумі моментів інерцій всіх його частин, відносно цієї ж осі:

$$I = \Sigma m_i \cdot r_i^2 \text{ [кг} \cdot \text{м}^2]$$

де  $\Sigma$  – знак суми;

$m_i$  – маса іскомої частини тіла;

$r_i$  – відстань центра мас іскомої частини тіла від осі обертання.

Звідси видно, що момент інерції тіла є більшим, коли його частини знаходяться на більшій відстані від осі обертання. В цьому випадку той самий момент сили  $M(F)$  викличе менше кутове прискорення  $\varepsilon$ . Інерційний опір швидко збільшується з віддаленням частин тіла від осі обертання.

З останньої формули видно, що при обертальному русі інертність тіла людини залежить не лише від маси, але й від положення. На рис. 3.6 зображено фігуристку, що виконує обертання. На рис. 3.6. (а) спортсменка обертається швидко і виконує близько 10 обертів в секунду. У положенні, яке зображено на рис. 3.6. (б), обертання різко уповільнюється і потім зупиняється.

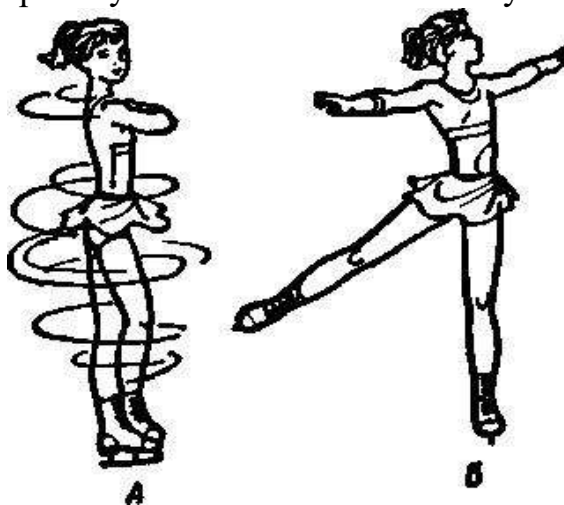


Рисунок 3.6. Обертання при зміні пози: а – менша; б – більша величина радіусу інерції і моменту інерції

Це відбувається тому, що, відводячи руки в боки, фігуристка робить своє тіло більш інертним: хоч маса ( $m$ ) залишається тією ж, збільшується радіус інерції ( $R_i$ ) і, відповідно, момент інерції.

Відомо, що рух тіла може відбуватися як під дією прикладеної до нього рушійної сили, так і без рушійних сил (по інерції, коли прикладена тільки гальмуюча сила). Рушійні сили прикладені не завжди; без гальмуючих же сил руху не буває. Зв'язок дії сили із зміною руху тіла розкривають силові характеристики: сила, градієнт сили, момент сили, імпульс сили та імпульс моменту сили.

**Сила** – це міра механічної дії одного тіла на інше. Чисельно вона визначається добутком маси тіла на його прискорення, викликане даною силою:

$$F = ma \text{ (Н)}.$$

Вимір сили, також як і маси, базується на другому законі Ньютона. Сила, прикладена до даного тіла, викликає його прискорення.

Сили, які діють між тілами однієї системи, називаються **внутрішніми**. Сили, які діють на тіло даної системи з боку інших тіл, що не належать до цієї системи, називаються **зовнішніми**.

У біомеханіці розглядають три **типи зовнішніх сил**:

1. Сили взаємного притягування між тілами, які називаються **гравітаційними** силами. Вони діють на відстані і називаються дистантними.
2. Сили, які обумовлені деформацією контактуючих тіл, вони називаються **пружними** силами. До них відносять сили, які діють на тіло з боку розтягнутої або стиснутої пружини, сила, з якою підвіс діє на прив'язаний до його кінця вантаж тощо.
3. Сили, які виникають лише при контакті тіл і обумовлені поверхневими явищами – **контактні сили тертя**.

До зовнішніх відносять сили дії інших тіл, які не входять у склад даної біомеханічної системи, тому відносно тіла людини сумарна сила тяжіння, викликана земною гравітацією, реакція опори, опір рухові, дія інших тіл (суперників, партнерів, тренера, м'яча тощо), сили інерції тощо – **зовнішні сили**, а м'язові тяги, пружні сили і сили тертя в самому організмі, сили інерції, що виникають при прискореному русі частин тіла, сила ваги одних частин тіла на сусідні – **внутрішні сили**.

Швидкість зміни сили – **градієнт сили** – це інтенсивність зміни сили з плином часу: вираз «швидкість» вживається не лише для характеристики інтенсивності руху, а й як міра інтенсивності зміни інших показників, у тому числі й сили. Сила певних функціональних м'язових груп при виконанні будь-якої вправи безперервно змінюється.

Від швидкості наростання сили часто залежить кінцевий ефект рухової дії (особливо, при швидких рухах в умовах дефіциту часу на виконання окремих фаз вправи тощо). У багатьох рухових завданнях (біг, метання та ін.) максимальну силу необхідно розвивати за малий проміжок часу, так як окремі

фази вправи тривають не більше 0,09 – 0,25с (наприклад, відштовхування від опори в стрибках у висоту або в спринтерському бігу). А час, необхідний для досягнення максимальної сили, коливається у межах від 0,8 до 1,0 с (90% від максимальної сили тяги м'яз людини досягає приблизно за 0,3с).

**Імпульс сили** – це міра впливу сили на тіло за даний проміжок часу (у поступальному русі). Величину  $F \cdot t$  називають імпульсом сили, який дорівнює добутку сили на час її дії  $U$  випадку, коли сила  $F$  і за модулем, і за напрямком постійна ( $F = \text{const}$ ), імпульс сили вираховується за формулою:

$$S = F \cdot t \text{ [Н} \cdot \text{с]}$$

**Момент сили** – це міра обертаючої дії сили на тіло, він визначається добутком модуля сили на її плече. При цьому відбувається зміна кутової швидкості обертання або деформація відповідної частини тіла (рис. 3.7). Якщо імпульс сили визначає приріст лінійної швидкості, то від імпульсу моменту сили залежить зміна кутової швидкості.

$$M = FL \text{ (Нм)}$$

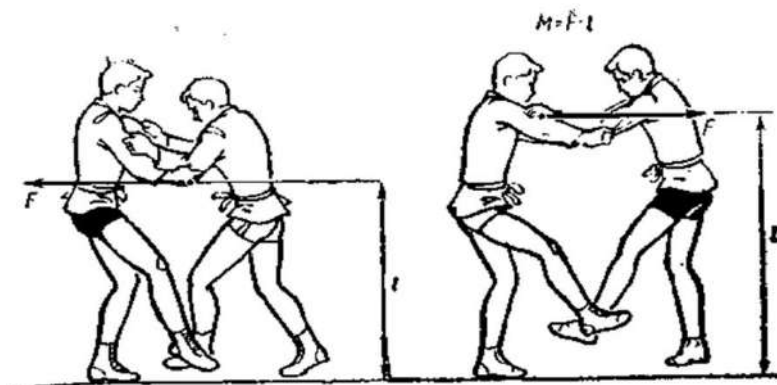


Рисунок 3.7. Приклад з боротьби, який показує, що чим довше плече сили, тим більше момент сили  $M$ , який викликає перекидний момент

Коли одночасно діє декілька сил, сума їх імпульсів дорівнює імпульсу їх рівнодійної за той же час. Будь-яка сила, що діє протягом певного часу (наприклад, сила відштовхування ноги від опорної поверхні), характеризується імпульсом. Величину, рівну добутку маси тіла на його швидкість, називають **імпульсом тіла**. Імпульс тіла – величина векторна і позначається буквою  $p$ :

$$\vec{p} = m \cdot \vec{V} \text{ [кг} \cdot \text{м / с]}$$

**Енергетичні характеристики** дають уявлення про механічну продуктивність і економічність рухових дій. Енергетичні характеристики показують, як змінюються види енергії при русі і протікає самий процес зміни енергії. До енергетичних характеристик відносять:

- ◆ механічну роботу;

- ◆ потужність;
- ◆ кінетичну енергію;
- ◆ потенціальну енергію

**Робота сили** – це міра дії сили на тіло при деякому його переміщенні під дією цієї сили. **Механічна робота** – це добуток сили на переміщення:

$$A = Fs \text{ (джоуль)}$$

**Робота сили тяжіння** тіла дорівнює добутку його ваги на різницю висот ( $h$ ) початкового та кінцевого положень:

$$A_{тяж} = Ph$$

При опусканні тіла робота сили тяжіння позитивна, при підніманні – негативна. При енергетичних розрахунках для оцінки ролі сили визначають потужність сили, що характеризує важливу сторону її ефекту – швидкість виконання роботи.

**Потужність сили** – це міра збільшення роботи сили. Потужність – похідна за часом від роботи.

$$N = A / t = Fv \text{ (Вт)};$$

Ефективність дії сил у механіці визначають по **коефіцієнту корисної дії** (к.к.д.) – відношенню корисної роботи ( $A_{кор}$ ) до усієї затраченої роботи ( $A$ ) сил. Чим більший к.к.д., тим ефективніший рух. Таким чином, поняття роботи являє собою міру зовнішніх впливів, прикладених до тіла на певному шляху, що викликають зміни механічного стану тіла.

**Механічна енергія** тіла людини визначається як запас його працездатності, вона визначається швидкостями рухів тіл та їхнім взаємним розташуванням. Це енергія переміщення та взаємодії – кінетична та потенціальна.

**Кінетична енергія людини** – це енергія його механічного руху, що визначає можливість здійснити ту чи іншу роботу. У поступальному русі:

$$E_{пост} = m v^2 / 2 = [E_{к(пост)}] = ML^2T^{-2} \text{ (Дж)};$$

При обертальному русі:

$$E_{к(об)} = J \omega^2 / 2 \text{ (Дж)};$$

**Потенціальна енергія** – це енергія тіла, що залежить від його відносного розташування, обумовлена взаємним відносним розташуванням тіл або частин того самого тіла і характером їхньої взаємодії. Потенціальна енергія у полі сил тяжіння дорівнює енергії сили ваги:

$$E_{тяж} = mgh = Gh$$

де,  $G$  – сила тяжіння,

$h$  – різниця рівнів початкового і кінцевого положення над землею (відносно якого визначається енергія);

$g$  – прискорення вільного падіння на планеті Земля ( $9,8 \text{ м/с}^2$ ).

Потенціальна енергія тіла, що знаходиться в полі сил тяжіння залежить від розташування його відносно Землі. Потенціальна енергія виникає за рахунок кінетичної (підйом тіла, розтягування м'язів) і при зміні положення (падіння тіла, укорочення м'язів) переходить у кінетичну.

У рухах людини одні види рухів переходять в інші. При цьому енергія, як міра його руху також переходить з одного виду в іншій. Так хімічна енергія в м'язах перетворюється в механічну (внутрішню потенційну пружно деформованих м'язів).

Енергія пружно деформованого тіла:

$$E_{\text{пруж.деф.}} = CL^2/2;$$

$C$  – твердість,  $L$  – зміна довжини.

Породження останньої сили тяги м'язів чинить роботу і перетворює потенціальну енергію в кінетичну енергію ланок тіла, що рухаються, і зовнішніх тіл. Механічна енергія зовнішніх тіл (кінетична) передається при їхній дії на тіло людини, перетворюється в потенційну енергію м'язів, що розтягуються і в теплову енергію, що розсіюється.

**Повна механічна енергія** тіла, що рухається, дорівнює сумі його потенціальної і кінетичної енергії в поступальному й обертальному рухах. При відсутності впливів зовнішніх сил повна механічна енергія тіла не змінюється.

Розглянемо можливі **шляхи збереження енергії** в тілі людини:

1. Перехід кінетичної енергії (енергії руху) окремих його частин у їх потенціальну енергію (енергію розташування в полі сил тяжіння).
2. Перехід механічної енергії від однієї частини тіла до іншої.
3. Накопичення енергії в послідовних пружних компонентах (сухожилках і сарколемі) пасивно розтягуваних м'язів (аналогічно накопиченню енергії у пружинах, що деформуються) з наступним її повернення (ураховуючи часткові втрати на релаксацію з плином часу) в систему з метою виконання рухового завдання;
4. Зворотнє перетворення механічної роботи в хімічну енергію.

Так, не викликає сумніву неможливість переходу енергії від однієї руки до іншої під час їх поперемінного піднімання та опускання. Тому збереження енергії в тілі людини реально можливе лише за рахунок переходу кінетичної енергії конкретних його частин у їх потенціальну енергію, і навпаки (подібно перетворенню енергії при коливаннях маятника).

Таким чином, підсумовуючи вищенаведене, визначаємо, що біомеханічні характеристики описують поступальні і обертальні рухи. Ці характеристики поділяються на: *кінематичні, динамічні, енергетичні* (табл. 3.1.).

Вони мають різне призначення: кінематичні – характеризують зовнішню картину рухової діяльності; динамічні – несуть інформацію про причини змін рухів; енергетичні – дають уяву про механічну продуктивність і економічність.



## Класифікація біомеханічних характеристик

Кінематичні		Динамічні		Енергетичні
Для поступального руху	Для обертального руху	Для поступального руху	Для обертального руху	Для поступального і обертального руху
Переміщення – $S$ , м	Переміщення – $\varphi$ , рад (град.)	Маса – $m$ , кг	Момент інерції – $I = \sum m \cdot R^2$ , кг·м <sup>2</sup>	Робота – $A$ , Дж
Тривалість – $t$ , с	Тривалість – $t$ , с	Сила – $F$ , Н	Момент сили – $M(F) = F \cdot S$ , Н·м	Енергія – $E$ , Дж для поступального руху: $E^k = (m \cdot v^2)/2$ для обертального руху: $E \text{ коберт} = (I \cdot \omega^2)/2$
Швидкість – $v$ , м/с	Швидкість – $\omega$ , рад/с (град/с)	Імпульс сили $I = F \cdot S$ , Н·с	Імпульс моменту сили $I = M(F) \cdot t$ , Н·м·с	Потужність, Вт
Прискорення – $a$ , м/с <sup>2</sup>	Прискорення – $\varepsilon$ , рад/с (град/с)	Кількість руху, (кг·м)/с	Кінетичний момент (кг·м <sup>2</sup> )/с	Економічність (коефіцієнт механічної ефективності, %)
Темп – 1/хв	Темп – 1/хв			Енергетична вартість, Дж/м
Ритм	Ритм			Пульсова вартість, 1/м

## Кількісна оцінка техніко-тактичної майстерності

Технічна майстерність спортсменів визначається тим, як вони володіють самим сучасним зразком існуючої спортивної техніки. Такі зразки називають еталонними. Вони звичайно розробляються за результатами попередніх вимірювань біомеханічних характеристик багатьох ведучих спортсменів. Потім у вигляді трьох видів моделей: статистичних, індивідуальних та ідеальних, пропонуються як предмет для вивчення.

Спортивно-технічна майстерність спортсменів формується у процесі технічної підготовки. Вона характеризується тим, що вміє робити спортсмен і як він володіє освоєними діями. Показники техніко-тактичної майстерності поділяються на дві групи. У першу групу показників входять: а) об'єм (обсяг); б) різнобічність; в) раціональність технічних дій, які вміє виконувати спортсмен. У другу: а) ефективність; б) освоєння виконання.

**Обсяг ТТМ** – це сукупність технічних прийомів і тактичних варіантів, якими володіє спортсмен або спортивний колектив. Розрізняють загальний або тренувальний обсяг ТТМ (реалізується в спокійній, тренувальній обстановці) і змагальний обсяг ТТМ (використовується в стресовій ситуації, на спортивних змаганнях). Змагальний об'єм значно менше загального.

**Різнобічність ТТМ** характеризується ступенем різноманітності рухових дій, якими володіє спортсмен або які він застосовує на змаганнях. Відповідно і тут виділяють загальну чи змагальну різнобічність. Технічні дії, засвоєні спортсменом можуть належати до однієї групи (наприклад, у вільній боротьбі – кидки с захватом руками за руки та тулуб супротивника) або до різних груп (кидки с захватом руками за ноги супротивника з діями ногами за ноги супротивника та ін.). В останньому випадку різнобічність технічної підготовки спортсмена вища. У більш різносторонніх у технічному відношенні

спортсменів більш гармонійна і фізична підготовленість, зокрема, топографія сили.

**Раціональним** називається той варіант техніки або тактики, що є найкращим для більшості людей у тієї чи іншій віковій або кваліфікаційній групі (наприклад, при бігу на довгі дистанції раціональний біг – біг з постійною швидкістю). Раціональність техніки - це характеристика не спортсмена, а самого способу виконання руху, різновидності техніки, яку використовуємо. Та чи інша техніка може бути більш чи менш раціональною (наприклад, при плаванні вільним стилем найбільш раціональним вважається кріль, хоча плавцю не забороняється будь-який інший спосіб).

Розглянуті три показники технічної підготовленості спортсмена (об'єм, різнобічність та раціональність технічних дій) говорять лише про те, що вміє виконувати спортсмен. Але вони не відображають якості виконання - як спортсмен виконує рухи, наскільки добре він володіє ними.

Тому при оцінці технічної підготовленості необхідно враховувати якісну сторону володіння рухами - ефективність та засвоєність його виконання.

**Ефективність ТТМ** – це ступінь відповідності техніки і тактики конкретної людини обраному критерію оптимальності (індивідуально-оптимальний варіант знаходиться шляхом моделювання або шляхом дослідження). Ефективність техніки (на відміну від раціональності) – це характеристика не того чи іншого варіанту техніки, а якості володіння технікою.

Розрізняють абсолютну ефективність ТТМ і порівняльну ефективність, яка заснована на порівнянні з ТТМ спортсмена високої кваліфікації. В більшості випадків спортивний результат не є переконливим показником ефективності техніки, так як, крім техніки, він залежить ще від інших факторів, зокрема, від розвитку рухових якостей. В основі ефективної техніки можуть лежати різні критерії:

а) біомеханічні (наприклад, висота підйому ЗЦТ при ходьбі);

б) фізіологічні – при нераціональній техніці у тих, хто спеціалізується в спортивній ходьбі нерідко виникають різкі больові відчуття в передньому велико-берцовому м'язі із-за погіршення кровообігу внаслідок того, що час її розслаблення в одному кроці виявляється недостатнім);

в) психологічні – техніка спортивних ігор та єдиноборств у вирішальний мірі визначається прагненням виконати рух таким чином, щоб він був більш незручним для супротивника (хоча він може бути незручним для самого спортсмена чи привести до зниження сили та швидкості руху).

г) естетичні – критерії цієї групи є визначаючими у тих видах спорту, де краса рухів – основа майстерності (гімнастика, фігурне катання на ковзанах).

**Порівняльна ефективність.** В цьому випадку за зразок береться техніка спортсменів високої кваліфікації. Ті ознаки техніки, які закономірно відрізняються у спортсменів різної кваліфікації (тобто міняються зі ростом спортивної майстерності), називаються дискримінативними ознаками. Такі ознаки ефективності техніки використовують у якості основних показників

лише тоді, коли техніка рухів дуже складна і на основі біомеханічного аналізу не вдається визначити найбільш раціональний варіант. В інших випадках дискримінативні ознаки доповнюють показники абсолютної ефективності, дуже часто співпадає з ними.

**Реалізаційна ефективність.** Ідея цих показників полягає в порівнянні показаного спортсменом результату або з тим досягненням, котрий він за рівнем своїх рухових якостей потенційно може показати (варіант «А»), або з витратами енергії та сил при виконанні оцінюваного спортивного руху (варіант «Б»).

Варіант «А». У даному випадку ефективність техніки оцінюється по тому, наскільки добре спортсмен застосовував в русі свої рухові можливості. При такому підході опираються на існування зв'язків між трьома показниками: спортивним результатом, рівнем розвитку рухових якостей, ефективністю техніки. Практично це використовується шляхом порівняння результату спортсмена:

- а) у технічно складній дії (як правило це той рух, у якому спеціалізується спортсмен);
- б) в технічно більш простих завданнях, які потребують розвитку тих же рухових якостей, що й основні.

Економічність спортсмена (тобто вміння виконувати роботу з як можливо найменшими витратами енергії) залежить як від його технічної майстерності, так і від таких функціональних показників, як МСК та поріг анаеробного обміну. Показники економічності неможливо розглядати тільки як показники технічної майстерності. Ці комплексні показники залежать як від ефективності техніки, так і від функціональних можливостей спортсмена.

**Освоєнням ТТМ** називається стабільність техніки і тактики в стандартних умовах і стійкість в ускладнених умовах. Технічна дія може бути засвоєна (вивчена, закріплена) спортсменами і різним ступенем. Для добре засвоєних рухів типові:

- 1) стабільність спортивного результату та ряду характеристик руху при виконанні його у стандартних умовах;
- 2) стійкість (порівняно мала мінливість) результату при виконанні руху в умовах, які змінюються, зокрема ускладнених;
- 3) зберігання рухового вміння при перервах у тренуваннях;
- 4) автоматизованість виконання.

### **Вимірювальні системи в біомеханічному контролі**

Аналізуючи техніку виконання спортсменами різних фізичних вправ, тренери, в основному, покладаються на свій досвід та візуальне спостереження. Але окремі елементи рухових дій, особливо такі, що тривають дуже короткий час, залишаються поза можливостями сприйняття людини. У наслідок цього дуже важко об'єктивно оцінити порівняльну чи абсолютну ефективність виконання фізичних вправ, її частин або фаз. Рухи тіла людини можна виміряти, тільки порівнюючи положення його матеріальних точок із

положенням обраного для порівняння тіла (тіло відліку). У якості зручної системи відліку при вивченні біокінематичних характеристик рухової дії по кінограмі придатна декартова інерційна система координат на площині.

Для біомеханічного дослідження природних локомоцій, а також специфічних рухів людини щодо обраної системи відліку потрібно насамперед скласти характерну розрахункову схему (або план) його рухової системи, що визначає біокінематичну структуру того або іншого конкретного досліджуваного руху або дії. На біокінематичній схемі повинні бути зображені тільки ті особливості рухового апарата, що необхідні для визначення шляху, швидкості і прискорення руху тих або інших його частин. Тому локомоторний апарат зображується на схемі у вигляді системи біоланок біокінематичних пар.

Найпростішим способом об'єктивної реєстрації рухових дій є стробофотографія. **Стробофотографія** – це зображення на одному фотознімку кількох послідовних положень тіла спортсмена, який виконує фізичну вправу. Основним і визначальним недоліком цього способу є необхідність фотографування спортсменів у темряві, що практично виключає можливість його застосування в умовах змагань або з метою вивчення техніки спортсменів. Другим недоліком стробофотографії є накладення зображень окремих частин тіла спортсмена та його спорядження одне на одне, що не дозволяє докладно визначити розташування потрібних для біомеханічного аналізу точок. Переваги способу стробофотографії – широка доступність, відносна простота та низька вартість, а також можливість одержати дуже велику кількість зображень об'єкта зйомки за одну секунду.

Найбільш популярним сьогодні способом реєстрації фізичних вправ є **відеозйомка** з наступним покадровим переглядом відзнятого матеріалу на відеомоніторі або телеприймачі (рис. 3.8).

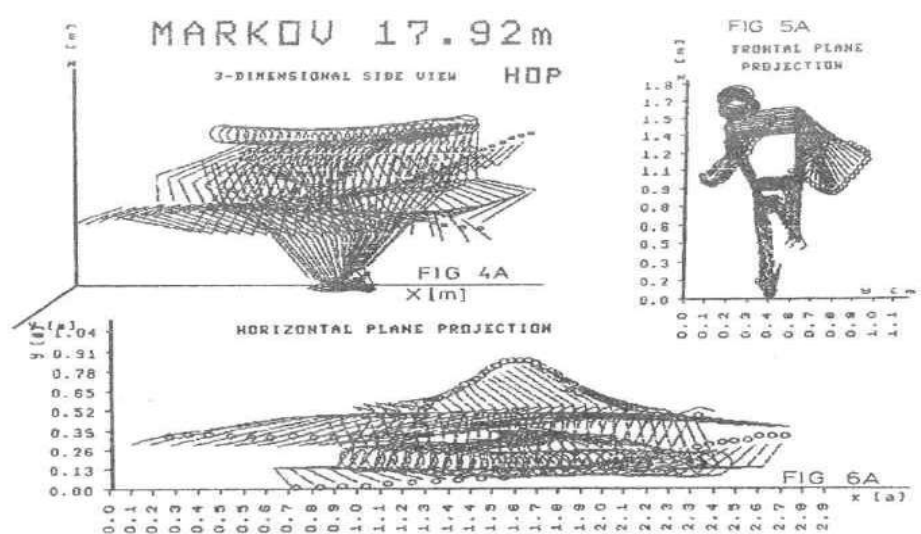


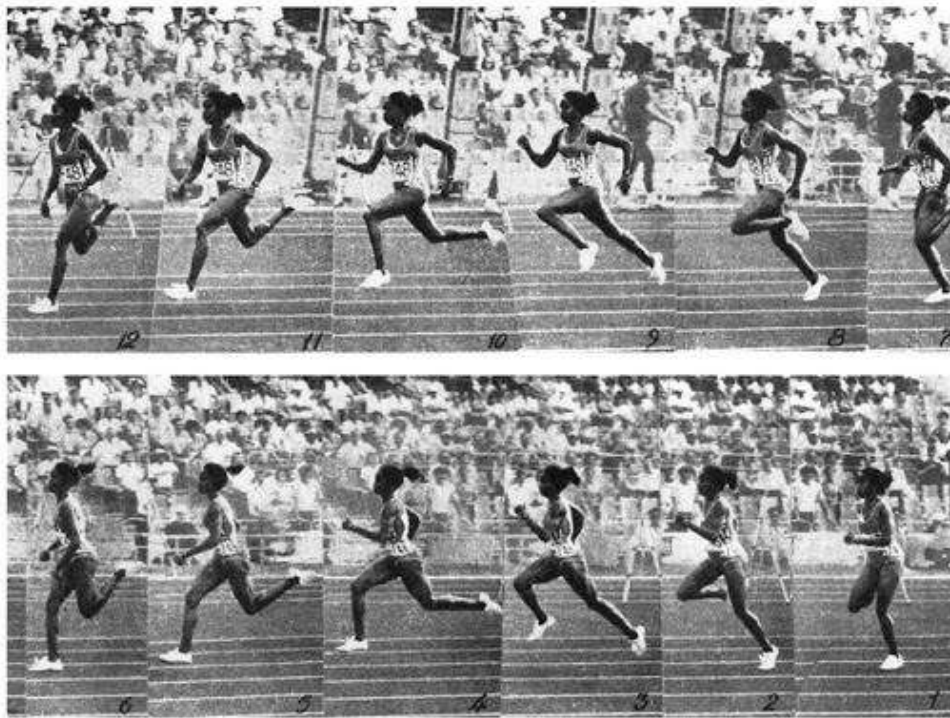
Рисунок 3.8. Біокінематичні схеми рухів стрибуна, отримані в результаті використання трьох площинної відеозйомки

Відеотехніка з успіхом застосовується в умовах тренувань і змагань у

багатьох видах спорту. Одним з недоліків способу, який обмежує його застосування, – відносно невисока максимальна частота стопкадрів, що не дозволяє отримати на відеомоніторі зображення спортсмена частіше, ніж 25 разів за секунду, чого в багатьох видах явно недостатньо.

Єдиним об'єктивним методом реєстрації швидких рухів – короточасних взаємодій спортсменів з опорою (відштовхування в легкоатлетичному бігу, стрибках), ударів в умовах тренувань і змагань є спосіб **кінограм**.

**Кінограма** – це послідовні фотографічні зображення тіла спортсмена, який виконує фізичні вправи, видрукувані з кіноплівки (рис. 3.9).



*Рисунок 3.9. Ккінограма бігу Е. Ешфорд – біг на 100м – 10,91 с  
(частота – 32 кадри/с).*

Побутові кінокамери дозволяють знімати з частотою до 60 кадрів за секунду з відстані до 15 метрів, а спеціальні швидкісні кінокамери розраховані для зйомки зі значно більшою частотою (від 200 до кількох тисяч кадрів за секунду) і з відстані до 50 метрів. Спосіб кінограм сьогодні є одним з найпоширеніших при біомеханічному аналізі більшості рухових дій і використовується провідними науковими інститутами, лабораторіями та біомеханічними центрами.

Для підвищення точності біомеханічного контролю необхідно використовувати вимірювальну апаратуру, тобто автоматизувати процедуру контролю. У процесі автоматизованого (інструментального) контролю реєструються такі показники біомеханічних характеристик:

- час, швидкість і прискорення руху в цілому або його окремих

фазах; зусилля, що виникають при виконанні руху;

- положення тіла або його сегментів.

В основі інструментального контролю лежать вимірювальні системи. Усі **вимірювальні системи** в біомеханічному контролі містять у собі такі блоки (рис.3.10):

1. Об'єкт виміру.
2. Датчики біомеханічних характеристик.
3. Перетворення і посилення сигналу.
4. Передавальну систему (канал зв'язку).
5. Реєструючий та обчислювальний пристрій.

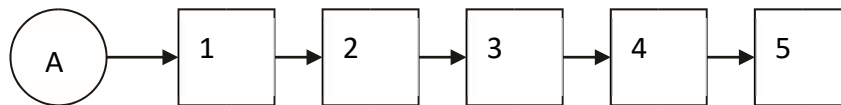


Рисунок 3.10. Функціональна блок-схема вимірювальної системи

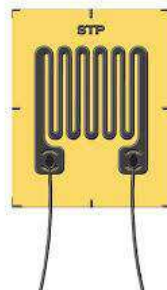
**Перший** – об'єкт вимірювання, це можуть бути дії спортсмена в змаганнях або тренувальних заняттях, діяльність різних функціональних системи організму тощо.

**Другий блок** – пристрій, що сприймає вимірювану величину. Для цього необхідний чутливий елемент засобу вимірювання – **датчик інформації**. Він сприймає інформацію і передає її в наступний блок. Найбільш часто для цього використовують такі датчики:

- **фотодіоди** – вони використовуються в пристроях, за допомогою яких вимірюють час рухів;
- **реостатні датчики** – застосовуються в пристроях, за допомогою яких вимірюють амплітуду рухів у різних суглобах;
- **тензорезистори** – вони є чутливим елементом вимірювальної системи, за допомогою якої оцінюються динамічні показники рухів;
- **акселерометри** – призначені для вимірювання прискорень.



А



Б



В

Рисунок 3.11. Датчики:

А – фотодіоди; Б – тензорезистор; В - акселерометр

Датчики закріплюються або на тілі людини, або поза ним. Датчики, що закріплюються на тілі людини повинні мати мінімальну вагу і невеликі габарити, бути зручними для кріплення і не стискувати рухів. Приклади датчиків: маркери суглобів, датчики суглобного кута і прискорення, тензостельки та інші. Тензодатчики закріплюються на спортивному інвентарі – брусах, кільцях, штанзі, веслах.

*Динамографічні платформи* – ще один приклад датчиків, що дозволяють виміряти всі три складові сили. Встановлюються потай у секторі для стрибків або метань, під біговою доріжкою, ігровим майданчиком.

**Третій блок – перетворювач**, в якому величина, яку вимірюють, перетворюється в електричну (гідравлічну, пневматичну) величину на основі фізичного закону про зв'язок між ними. Тут же відбувається посилення сигналу. Інформацію, сприйняту датчиками, необхідно перетворити у величину, придатну для подальшого аналізу. На це є багато причин: дуже різноманітні вхідні (вимірювані) величини; не для всієї з них є шкала мір; значні труднощі передачі вимірювань величини в її початковому вигляді. Перетворення здійснюється за допомогою пристроїв, на виході яких формується сигнал, зручний для подальшого аналізу. Наприклад, зміна довжини провідника, викликана дією сили, перетвориться в електричну напругу. У процесі перетворення вимірювальної інформації відбувається і посилення сигналу, сприйнятого датчиком.

**Четвертий блок** призначений для обчислювальних операцій. Сприйняте датчиком значення фізичної величини після перетворення і посилення порівнюється з еталоном і через наступний блок – **блок передачі вимірювальної інформації** – передається на наступний блок. *Телеметрія* (передавальна система) – канал зв'язку. Слово «телеметрія» у перекладі з грецького означає вимір на відстані. Найчастіше використовується два види телеметрії (рис. 3.12):

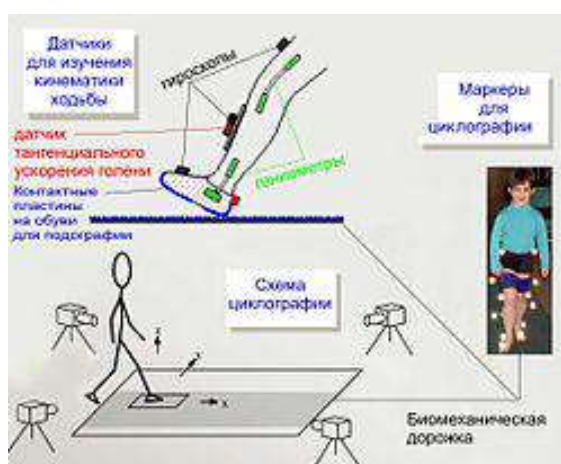


Рисунок 3.12. Використання телеметрії

- **провідна телеметрія** звичайно застосовується в лабораторних умовах, вона проста в застосуванні і має високу стійкість при перешкодах. Її

основний недолік – неможливість використання при русі людини, тому при контролі, провідну телеметрію використовують у сполученні з динамографічною платформою.

- **радіотелеметрія** – це передача інформації про результати виміру по радіо. Радіотелеметрія дає можливість контролювати техніко-тактичну майстерність людини в природних умовах рухової діяльності. Перетворення інформації, сприйнятої датчиками, у величину, доступну для наступного аналізу, здійснюється за допомогою спеціальних приладів. У процесі перетворення також відбувається посилення сигналу.

**П'ятий блок** – пристрій для відображення інформації і, якщо потрібно, для її зберігання й автоматичної обробки на ЕОМ. **Реєстрація й обчислення характеристик**, що містять інформацію про результати виміру – це завершальний етап біомеханічного контролю. **Реєстрація електричних сигналів** здійснюється самописами й індикаторами, у результаті чого ми одержуємо документ у виді графіка на папері, магнітному запису, фотографії або інших документів. **Реєстрація зображення** (рис. 3.13) дає можливість за допомогою відеозйомки і стереозйомки подивитися на себе з боку, проаналізувати тренеру або спортсмену свою рухову діяльність.

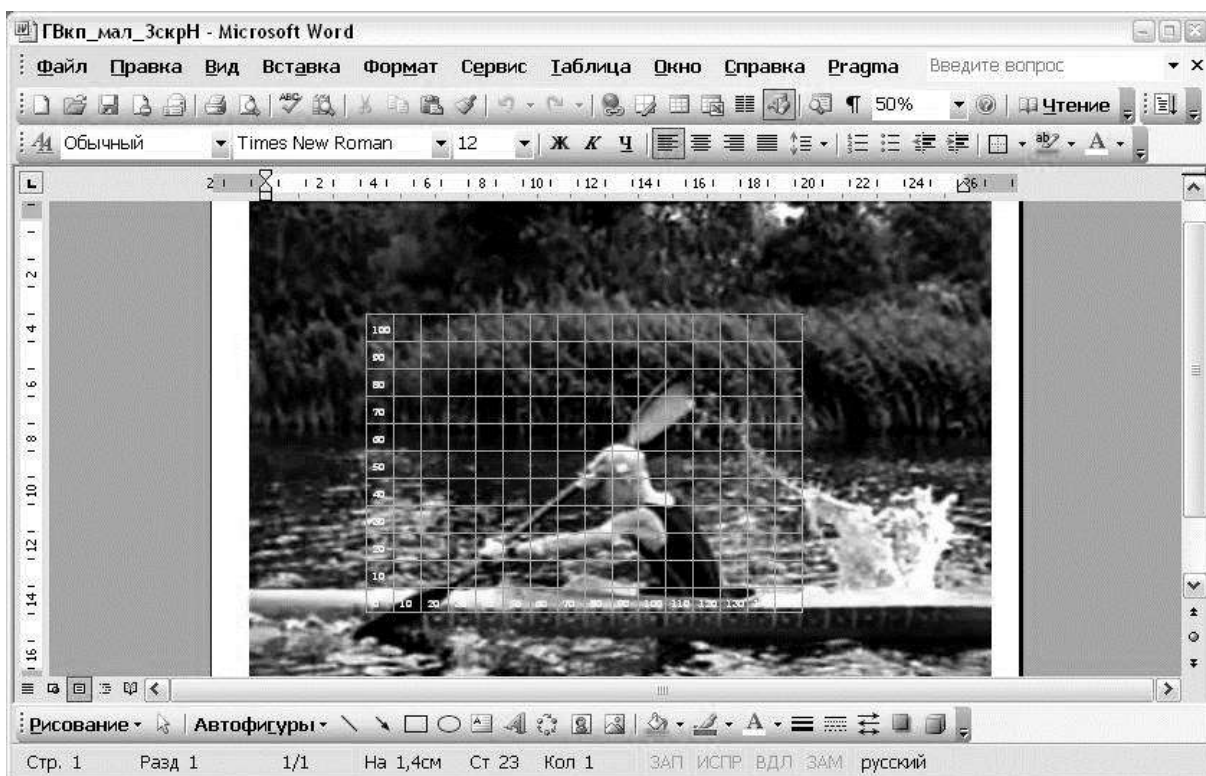


Рисунок 3.13. Реєстрація зображення

Здійснення **обчислювальних операцій** відбувається за допомогою аналогових методів (виконання тільки арифметичних операцій) або дискретних методів обчислення (на екрані приладу відображаються тільки логічні значення «0» або «1»).



**ТЕМА 4**  
**БІОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ РУХОВИХ ЗДІБНОСТЕЙ**  
**ЗМІСТ**

1. Фізичні якості, як основа рухових здібностей людини.
2. Біомеханічні аспекти витривалості:
  - а) витривалість і стомлення.
  - б) етапи перетворення енергії при руховій діяльності.
  - в) біомеханічні шляхи підвищення витривалості.
3. Біомеханічна характеристика силових здібностей.
4. Біомеханічні основи швидкісних здібностей.
5. Біомеханіка гнучкості.
6. Біомеханічне обґрунтування спритності.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264с.
3. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
4. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
5. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
6. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
7. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
8. Теорія і методика фізичного виховання : підруч. для студ. вищ. навч. закл. фіз. виховання і спорту: у 2 т. [Т.Ю. Круцевич, Н.Є. Пангелова, О.Д. Кривчикова та ін.; за ред. Т.Ю. Круцевич]. К. : Олімп. л-ра, 2017. Т. 1. 368с. Т. 2. 448 с.
9. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 205 с.
10. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
11. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
12. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

**Фізичні якості, як основа рухових здібностей людини**

**Фізичними якостями** прийнято називати природжені (успадковані генетично) морфо-функціональні якості, завдяки яким можлива фізична активність людини, що виявляється в руховій діяльності. Кожна людина володіє певними руховими можливостями. Сукупність рухових можливостей називається моторикою. Рухові можливості людей суттєво відрізняються як

кількісно так і якісно. Фізичні якості людини складають основу його рухових здібностей.

**Рухові здібності** – це індивідуальні особливості, що визначають рівень рухових можливостей людини. Поняття «рухові здібності» об'єднує ті сторони моторики, які відповідають двом основним характеристикам:

- проявляються в однакових характеристиках рухів і мають однакову величину вимірювання (наприклад максимальна швидкість);
- мають аналогічні фізіологічні та біомеханічні механізми і потребують прояву однакових властивостей психіки.

До рухових здібностей відносять: силові, швидкісні, швидкісно-силові, рухово-координаційні здібності, гнучкість, загальну і специфічну витривалість. Сукупність рухових здібностей називається моторикою людини.

В основі розвитку рухових здібностей лежать природжені (успадковані) анатоμο-фізіологічні, біологічні, тілесні, генні особливості кожної людини. Крім цього, на процес розвитку рухових здібностей впливають властивості психодинамічних процесів, темперамент, характер, особливості саморегуляції психічних станів. Для розвитку рухових здібностей необхідно створювати визначені умови діяльності, використовуючи відповідні фізичні вправи на швидкість, силу.

### **Біомеханічні аспекти витривалості**

**Витривалість** – це здатність виконувати роботу заданої інтенсивності протягом тривалого часу. Абсолютний показник рівня витривалості – це час, упродовж якого людина може підтримувати задану інтенсивність рухового завдання.

**Ергометрія** – це сукупність кількісних методів вимірювання фізичної роботоздатності людини.

Будь-які рухові завдання завжди задаються однією з трьох перемінних:

1. Інтенсивністю (швидкість руху, темп, потужність роботи або величина сили).
2. Обсягом (дистанція, виконана робота або імпульс сили).
3. Часом виконання.

Ці показники, що використовуються при вимірюванні фізичної роботоздатності людини, називаються **ергометричними**. Один з них задається, а два інші – вимірюються. Якщо величини інтенсивності, обсягу та часу відповідають одне одному, то, як доведено експериментально, при різних варіантах завдань завжди одержують однакові результати. Тому результати, одержані у завданнях одного типу, можна переносити на завдання іншого типу: це так зване **правило оборотності рухових завдань**.

Якщо людина здатна пробігти дистанцію у 3 км за 12 хв. (середня швидкість – 4,1 м/с), то при завданні пробігти найбільшу дистанцію за 12 хв. (тест Купера) вона подолає ті ж 3 км, а у випадку завдання бігти із швидкістю 4,1 м/с вона зможе виконувати завдання заданої інтенсивності лише 12 хв. і при цьому подолає дистанцію у 3 км. Таким чином, конкретний варіант завдання

для ергометричних показників не має значення. Це і є правило оборотності рухових завдань.

Розглянемо витривалість на прикладі зниження інтенсивності м'язової роботи. **Стомленням** називається викликане роботою тимчасове зниження працездатності, яке виражається в неможливості продовжувати, будь яку діяльність з колишньою ефективністю.

Існує декілька видів втоми: розумова, сенсорна, емоційна, фізична. В біомеханіці розглядається лише фізична втома. Втома при м'язовій роботі проходить через дві фази:

- **фаза компенсаторної втоми** – не дивлячись на труднощі, спортсмен зберігає інтенсивність виконання рухового завдання на вихідному рівні. Швидкість руху не знижується за рахунок збільшення частоти рухів, при цьому довжина кроків зменшується.
- **фаза декомпенсаторної втоми** – спортсмен не може зберегти необхідну інтенсивність навантаження, зменшується як довжина, так і частота кроків.

Чим витриваліша людина, тим довше не настає стомлення. Мірою витривалості є час, протягом якого людина здатна підтримувати задану інтенсивність вправи. Показниками витривалості є **коефіцієнт витривалості** – відношення часу подолання всієї дистанції до часу подолання певного відрізка. Іншим показником є **запас швидкості** – різниця між середнім часом подолання еталонного відрізка і найкращим часом на дистанції.

Одна і та ж робота може виконуватися з різними затратами енергії - це визначає економізацію спортивної техніки. Для оцінки економічності роботи використовується такі показники:

1. Валовий коефіцієнт (**брутто-коефіцієнт**) - відношення виконаної роботи до затраченої енергії.

$$K_1 = A/E$$

2. **Нетто-коефіцієнт** – із величини енерговитрат в процесі роботи вираховують енерговитрати в стані спокою.

$$K_2 = A / E - E_n$$

3. **Дельта-коефіцієнт** – використовується для порівняння виконаної роботи і енерговитрат у різних рухових завданнях різної інтенсивності.

$$K_3 = A_2 - A_1 / E_2 - E_1$$

В циклічних локомоціях використовується не ці коефіцієнти, а **величина константи шляху** – величина енерговитрат, що припадає на 1 м шляху.

Витривалість людини залежить не тільки від енергетичного потенціалу (фізичних можливостей), але і від уміння ощадливо витрачати запас енергії. У великому спорті, де енергетичні можливості близькі один одному, економічність навіть більш важлива, чим величина енергетичного потенціалу.

**Економічність техніки**, тобто виконання певних технічних прийомів з мінімальними затратами енергії визначається двома групами факторів:

1. Фізіолого-біохімічними (інтенсивність м'язової роботи).
2. Біомеханічними (техніка і тактика рухової діяльності).

Простежимо етапи перетворення метаболічної енергії м'язового скорочення в корисний результат рухової діяльності (рис. 4.1). Будь-яка форма активності живого організму забезпечується енергією, запасеної в молекулах аденозинтрифосфату. Але лише 25% енергії АТФ переходить у механічну при м'язовому скороченні. Інші 75% енергетичного запасу витрачаються на теплотворення та ін.

### Етапи перетворювання енергії при руховій діяльності.



Рисунок 4.1. Етапи перетворення енергії

Витрати енергії людського організму здійснюються у декількох напрямках, причому питома вага енерговитрат тут неоднакова, і залежить від багатьох чинників, у тому числі й від параметрів рухової діяльності:

- ◆ витрати енергії на виконання **зовнішньої механічної роботи** (подолання сил опору рухові, сил тяжіння та сил інерції, витрати на затухаючі коливання частин тіла, а також спорядження), які інколи досягають 85% від загальних енерговитрат. Зовнішня механічна робота складається з подовжньої роботи, за рахунок якої людина, що рухається, або спортивний снаряд переміщається в потрібному напрямку і непродуктивної поперечної роботи;
- ◆ енерговитрати на переміщення частин тіла – **внутрішня робота** (за кожен цикл рухів необхідно розганяти й гальмувати, а також піднімати й опускати певні частини тіла, як це має місце при ходьбі, бігу, веслуванні, плаванні, їзді на велосипеді тощо);
- ◆ витрати енергії на забезпечення утримуючої, фіксуєної та зміцнюючої роботи м'язів, а також енерговитрати на роботу м'язів-мімічних м'язів, витрати енергії на які досягають від 5 до 20% ;
- ◆ витрати енергії на основний обмін (який найменший лежачи, і найбільший – стоячи);
- ◆ витрати енергії на тертя, коливання внутрішніх органів і тканин.

З біомеханічної точки зору, існують два **шляхи підвищення економічності** рухових дій.

**Перший шлях** – зниження величини енерговитрат у кожному циклі реалізується шляхом дотримання наступних рекомендацій:

- уникати зайвих, непродуктивних м'язових скорочень і напружень, тим самим зменшується енергія, що йде на роботу внутрішніх органів. Навіть при виконанні важкої фізичної роботи рухи повинні бути як найбільш вільними, не закріпаченими;
- зменшувати зайві непродуктивні рухи. Надлишкові розхлябані рухи не менш шкідливі, чим сковані, тому що збільшують витрати енергії на роботу в поперечному напрямку. Наприклад, при ходьбі доросла людина піднімає й опускає себе на 6 см, дитина на 8 – 12 см, а досвідчений спортсмен – ходок усього на 3 см;
- вибирати оптимальну по економічності інтенсивність рухової діяльності. (швидкість пересування, при якій енерговитрати на метр шляху мінімальні);
- здійснювати оптимальні рухові переключення – зміна інтенсивності м'язової роботи або сили, що виявляється в руховій дії, і швидкості (довжини і частоти кроків); перехід з одного способу руху на інший (н/д ходьба – біг, одночасний – поперемінний лижний хід та ін.).

**Другий шлях** – рекуперація енергії (її перехід з кінетичної фракції в потенціальну і навпаки) реалізується наступними діями:

- використовувати енергію, що переходить від одного сегмента тіла до іншого. Так у звичайній ходьбі найвищому положенню тіла відповідає мінімум кінетичної енергії і максимум потенційної. Тобто зовні це виглядає так – на підйомах кінетична енергія переходить в потенційну, а на спусках – навпаки. Повна механічна енергія при цьому зберігається;
- використовувати енергію пружної деформації, накопичену в м'язах у попередніх фазах рухової дії. Кінетична енергія перетворюється в потенційну енергію пружної деформації м'язів, а накопичена потенційна енергія частково знову перетворюється в роботу. У цьому випадку потік рекуперуючої енергії може складати значну частину повної механічної енергії.

Вважається, що людина, і особливо тварини мають здатність інтуїтивно знаходити найбільш економічний режим рухової діяльності. Теоретичною основою цьому служить **принцип мінімуму енерговитрат**, відповідно до якого психічно нормальна жива істота довільно організує свою рухову діяльність так, щоб звести до мінімуму витрати енергії.

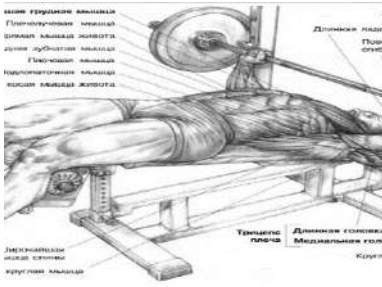
### **Біомеханічна характеристика силових здібностей**

У **біомеханіці силою дії людини** називається міра її впливу на фізичне середовище, який передається через робочі точки тіла. Сила дії людини визначається точкою прикладання, напрямком та модулем (величиною).

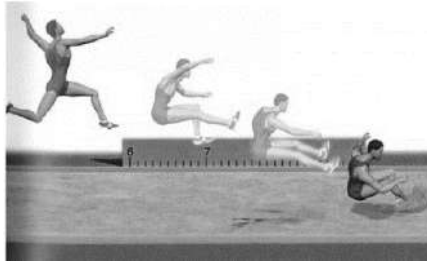
Рухові здібності людини взаємозалежні. Якщо ми максимально показуємо одну з них, то не можемо відзначитися в іншому. Ця закономірність особливо виявляється у взаємовідношенні між силою і швидкістю. Наприклад, при киданні снарядів різної маси, важкий снаряд неможливо розігнати до високої швидкості. А при метанні легкого снаряда,

навпаки, максимальна швидкість велика, а сила, що виявляється, незначна. Важко провести чіткі границі між силовими, швидкісно-силовими і швидкісними здібностями, але можна стверджувати, що:

- силові вправи – жим штанги, підтягування на поперечині, віджимання;
- швидкісно-силові – штовхання ядра, метання, стрибки, спринтерський біг;
- швидкісні вправи – удари в настільному тенісі (рис. 4.2)



а



б



в

Рисунок 4.2. Приклади вправ:  
а – силові; б – швидкісно-силові; в - швидкісні

Силові якості умовно можна розділити на *власне силові* та *швидкісно-силові*. Основним фактором, від якого залежать силові можливості людини є м'язова маса. Сила тяги, що виникає в м'язах залежить від її поперечника, тобто чим м'яз товще, тим він сильніший. Кількість м'язових волокон до кінця першого року життя максимально сформована, і не змінюється з віком, але доросла людина набагато сильніше дитини через гіпертрофію (стовщення) м'язів. У результаті фізичних тренувань поперечник м'язового волокна може збільшитися в кілька десятків разів. Але сила, що виявляється людиною, залежить не тільки від об'єму м'язів, але і від ефективності техніки рухів. Ефективність техніки виконання силових вправ залежить від величини кутів у суглобах. При оптимальних суглобних кутах сила тяги м'яза використовується найбільш повно.

Сила дії людини залежить від сили тяги м'язів, тобто від того наскільки сильно окремі м'язи тягнуть за важелі кісток. Сила дії залежить від таких характеристик рухового завдання:

- швидкість рухомої ланки,
- напрямок руху,
- положення тіла.

Із зміною положення суглобу змінюється довжина м'язів (рис.4.3). А сила яку проявляє м'яз залежить від його довжини. Максимальна сила м'яза падає пропорційно квадрату зменшення його довжини. Таким чином, сила дії людини залежить від положення її тіла, так як зі зміною кутів у суглобах змінюється довжина м'язів та плече їхньої дії. Особливо складна картина спостерігається при рухах за участю багатосуглобових м'язів.



Рисунок 4.3. Залежність сили м'язового скорочення від довжини м'яза

При відборі силових вправ перш за все потрібно переконатися, що активними будуть саме ті м'язи, силу яких потрібно збільшити. Незначні зміни пози тіла здатні викликати зміну активності різних м'язових груп (рис. 4.4). Для виявлення активності окремих м'язів чи м'язових груп реєструють їх електричну активність і складають електроміографічні карти.

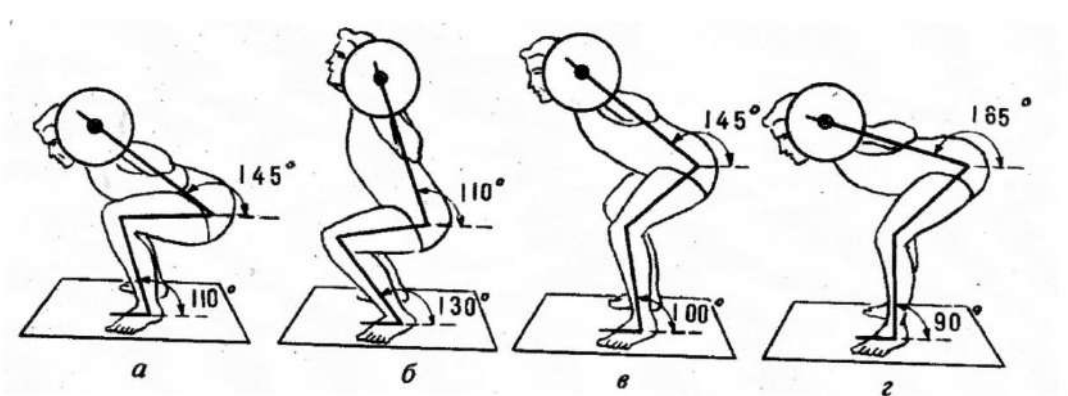


Рисунок 4.4. Вплив зміни пози тіла на активність різних м'язових груп.

Співвідношення максимальної сили дії різних м'язових груп називається **топографією сили**. У людей які не займаються спортом найкраще розвинуті м'язи, які протидіють силі тяжіння (антигравітаційні м'язи): розгиначі спини і ніг, згиначі рук. У спортсменів топографія сили залежить від спеціалізації. Не врахування топографії сили не дозволяє раціонально оволодіти технікою.

Вправи, призначені для виховання силових якостей, необхідних при виконанні якоїсь конкретної вправи, називаються **спеціальними силовими вправами**. З біомеханічних позицій такі вправи повинні відповідати принципам динамічної відповідності за Ю. В. Верхошанським, тобто відповідати вправі, до якої готуються, за наступними **критеріями**:

- амплітудою та напрямком робочої амплітуди руху;
- акцентованим відрізком робочої амплітуди руху;
- характером навантаження та його величиною;
- швидкістю скорочення м'язів (частотою рухів);
- режимом роботи м'язів.

В якості спеціальних силових вправ у сучасному спорті часто використовують вправи із штучно збільшеним опором: метання важчих снарядів, біг чи ходьбу з вантажем – це метод поєднаної дії.

Силові якості реєструються двома *способами*:

1. **Без вимірювальної апаратури** (тобто по найбільшій вазі, що здатний підняти й удержати спортсмен). Крім цього для виміру швидкісно-силових якостей або силової витривалості використовують такі контрольні вправи, як стрибки в довжину й у висоту з місця, метання набивних м'ячів, підтягування на поперечині, віджимання, присідання, стрибки через скакалку й ін.);
2. **З використанням вимірювальних пристроїв** – динамометрів або динамографів (рис. 4.5, 4.6).



Рисунок 4.5. Сучасний динамометр

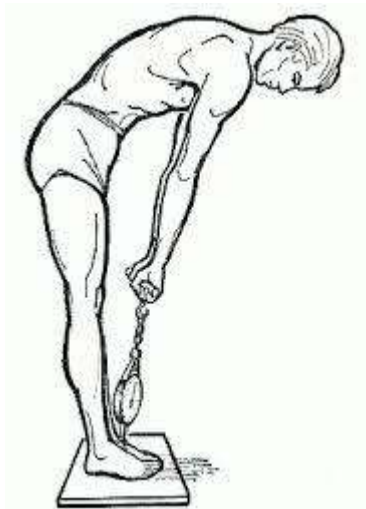


Рисунок 4.6. Визначення станової сили

### Біомеханічна характеристика швидкісних здібностей

**Швидкість** – це здатність людини до термінового реагування на подразники і виконання рухових дій у мінімальний проміжок часу. При цьому передбачається, що рухове завдання виконується протягом нетривалого часу і втома не настає. Швидкість реагування, швидкість рухів і їхня частота залежить в основному від стану нервової системи, сили, гнучкості, володіння технікою рухів людини. Від швидкості реагування і прудкості рухових дій залежить успіх у змаганнях у багатьох видах спорту.

Швидкість – це комплексна рухова якість. Елементарними видами її прояву є:

- **швидкість рухової реакції**, тобто мінімальний тимчасовий інтервал між світловим, звуковим або тактильним сигналом і початком рухової дії;
- **швидкість виконання одиночного руху** (рукою, ногою або головою);



- **найбільша частота (темп) циклічних рухів** (руками – боксерських ударів і найбільшу швидкість пересування ногами – спринтерський біг).

Якщо час моторної реакції можна скоротити за рахунок часу обробки інформації та прийняття рішення, а частота рухів у процесі тренування може бути значно підвищена (що пов'язане з формуванням раціональної міжм'язової координації та утворенням стійкої рухової навички), то швидкість поодинокого руху характеризується індивідуальними особливостями будови м'язової тканини (співвідношенням кількості швидких (тонічних) та повільних (фазичних) м'язових волокон), і в процесі тренувань її підвищити практично не вдається. Цей феномен необхідно враховувати під час відбору обдарованих спринтерів.

Розрізняють два види рухових завдань, які вимагають максимального прояву швидкісних якостей:

1. Показати максимальну миттєву швидкість (стрибки, метання, ударні дії тощо).
2. За мінімальний час необхідно виконати все рухове завдання (спринтерський забіг, заплив тощо). У цьому випадку результат залежить і від динаміки (розкладки) швидкості на дистанції.

У багатьох рухових завданнях, які виконуються з максимальною швидкістю, розрізняють дві фази: стартовий розгін та фазу відносної стабілізації швидкості на дистанції. У деяких рухових завданнях більш важливим є стартове прискорення (спортивні ігри), в інших – дистанційна швидкість (стрибок у довжину), у третіх – і те й інше (спринтерський біг).

Реєстрація **спідограм** (залежності швидкості пересування від пройденої дистанції, рис. 4.7) в умовах тренувань та змагань дає змогу вибирати найбільш раціональну тактику проходження дистанції, виявити слабкі сторони підготовленості, а також, використовуючи метод обчислення прискорень в кожному циклі, оцінити силові можливості людини.

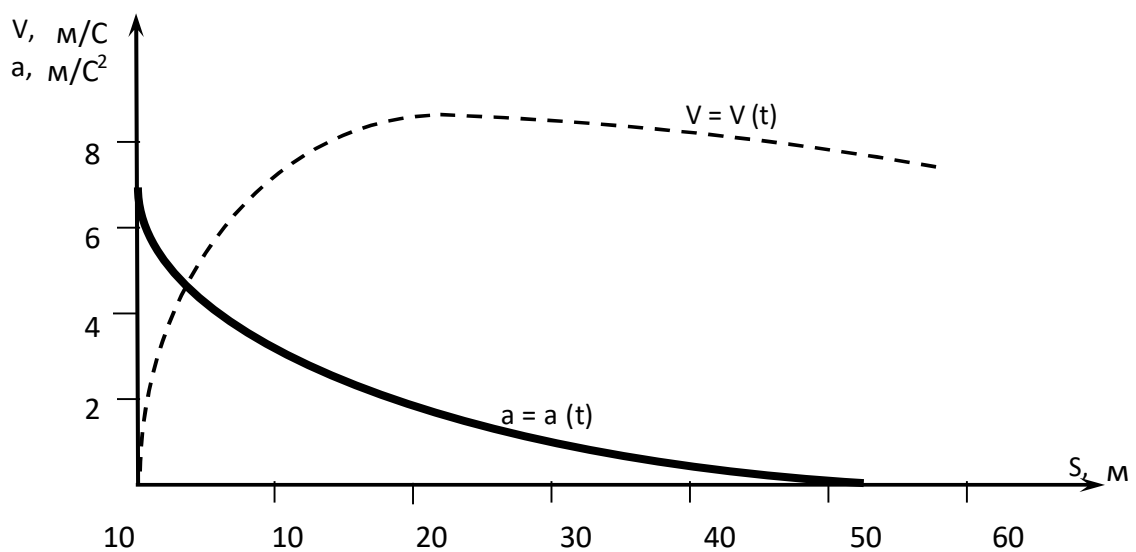


Рисунок 4.7. Швидкість та прискорення в спринтерському бігу (за Ю. М. Прімаковим).

Між елементарними формами прояву швидкісних якостей у різних людей кореляція дуже мала. Наприклад, можна мати дуже хорошу реакцію та повільні рухи і навпаки. Тому кажуть, що елементарні форми прояву швидкісних якостей відносно незалежні одна від одної.

В рухах циклічного характеру швидкість пересування безпосередньо вираховується за частотою рухів та шляхом, що проходить спортсмен за один цикл:

$$V = n \times l$$

де  $V$  — швидкість;  $n$  - частота;  $l$  - довжина кроку.

З ростом кваліфікації зростають обидва компоненти, але ці зміни різні у різних видах спорту різні.

В рухових реакціях розрізняють наступні фази:

- **сенсорну** фазу (від моменту подачі сигналу – подразника – до перших ознак м'язової активності, що звичайно виявляються за електроміограмами);
- **премоторну** фазу (до початку руху частини тіла). Перші дві фази утворюють латентний (прихований) час реакції;
- **моторну** фазу (від початку руху до його завершення, наприклад: удару по м'ячу, натиску на педаль гальма тощо).

Якщо тривалість премоторної фази найбільш стабільна (25–60 мс), то сенсорна та моторна фази реакції в процесі тренувань можуть бути суттєво скорочені (в першу чергу – сенсорна фаза).

**Час простої рухової реакції** вимірюють у таких умовах, коли заздалегідь відомий і тип сигналу, і спосіб відповіді на нього (наприклад, при загорянні лампочки натиснути або відпустити кнопку, на постріл стартера почати біг та ін.). Тривалість простих реакцій порівняно невелика і не перевищує 0,3 секунди. У лабораторних умовах вимір часу реакції проводиться за допомогою хронорефлексометрів або реакціометрів. Сигнал (звуковий, світловий або тактильний) повинен бути стандартним (рис. 4.8).



Рисунок 4.8. Види рухової реакції

**Складна рухова реакція** визначається за часом рішення тактичних задач різного ступеню складності і характеризується тим, що тип сигналу і спосіб відповіді на нього невідомі. Складні рухові реакції виявляються переважно в іграх і єдиноборствах, причому зареєструвати час такої реакції в змагальних умовах дуже важко, практично неможливо .

Складні рухові реакції поділяються на *реакції вибору* (РВ) і *реакції на об'єкт*, що рухається, (РРО). У лабораторних умовах час реакції вибору (ЧРВ) вимірюють так: спортсмену показують слайди з ігровими або бойовими ситуаціями, або використовують спеціальну комп'ютерну програму. Тривалість показу кожного слайду і часовий інтервал між слайдами повинні бути стандартизовані. Оцінивши ситуацію, спортсмен реагує або натисканням кнопки, або словесною відповіддю, або спеціальною дією. Результатами такого тестування будуть час реакції і точність прийнятого рішення (за еталон точності приймається погоджена думка експертів про те, як необхідно діяти в даній ситуації). Можливі чотири варіанти реагування: швидко і точно, швидко і неточно, повільно і точно, повільно і неточно. При одночасному вимірі часу реакції і точності прийнятого рішення пред'являються різні по змісту, але рівні за складністю ситуації.

Велике значення у складних реакціях має **антиципація (передбачення)** дій суперника, вірогідної зміни ситуації, очікуваної поведінки тощо, бо у деяких випадках (наприклад, при виконанні штрафних ударів) існують «мертві зони» воріт, з яких м'яч не може бути відбитий воротарем при умові початку його дії після моменту виконання удару згідно правил змагань. Звужування сутності поняття антиципація до відгадування дій суперника не розкриває його істинного значення. Власне антиципація дає людині можливість максимально повно проявити усі свої рухові якості, можливості й навички.

## Біомеханіка гнучкості

**Гнучкість** – здатність людини виконувати рухи в суглобах з максимальною амплітудою. Гарна гнучкість забезпечує свободу, швидкість і економічність рухів при виконанні фізичних вправ. Недостатньо розвинена гнучкість ускладнює координацію рухів людини, тому що обмежує переміщення окремих ланок тіла. Гнучкість – важлива властивість опорно-рухового апарата, втрата гнучкості рівнозначна старості.

Зміна кутів руху в окремих суглобах називається **гоніометрією**, а прилад гоніометром. Для оцінки гнучкості використовуються гоніометричні показники. За формою прояву розрізняють активну і пасивну гнучкість.

При **активній гнучкості** рухи з великою амплітудою виконують за рахунок активності власних м'язів. Показники активної гнучкості характеризують не тільки ступінь розтягування м'язів-антагоністів, а і силу м'язів, які переміщують відповідні ланки тіла.

Під **пасивною гнучкістю** розуміють здатність виконувати рухи з найвищою амплітудою за рахунок зовнішніх сил: зусиль партнера, зовнішнього обтяження, спеціальних пристосувань та ін. Показники пасивної

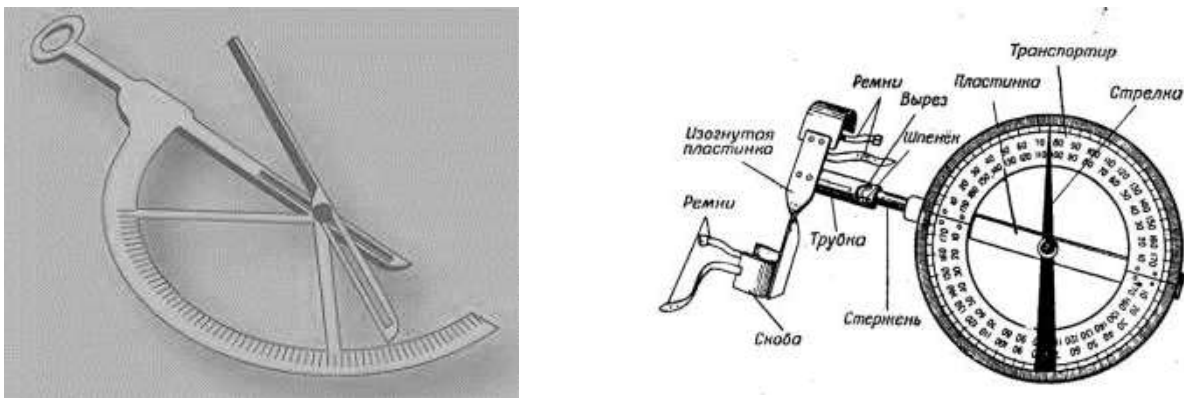
гнучкості характеризують ступінь розтяжності м'язів, зв'язок, сухожилів, що обмежують амплітуду рухів у відповідному суглобі. Амплітуда пасивних рухів природно вище, ніж активних.

Різницю між пасивною і активною гнучкістю називають дефіцитом активної гнучкості (ДАГ). Чим більше показник ДАГ, тим легше піддається розвитку активна гнучкість. Вона визначається залежністю «сила тяги – довжина вільного м'яза», а точніше, найбільшою силою тяги, яку може проявити м'яз при своєму найбільшому скороченні. Якщо ця сила недостатня для подальшого взаємного переміщення з'єднаних суглобом частин тіла, говорять про активну недостатність м'яза. Дефіцит гнучкості може бути знижений за рахунок силових вправ з великою амплітудою рухів. У певних випадках (стрибки на лижах з трампліна, біг на ковзанах, ривок штанги (у низькому сиді), практично в усіх видах плавання) показники активної гнучкості при згинанні стопи тісно пов'язані з амплітудою змагальних вправ, і спортсмени з високими показниками гнучкості мають перевагу.

***Прояв гнучкості залежить від ряду факторів:***

- анатомічної будівлі тіла й еластичності м'язів і зв'язок;
- температури повітря (чим вона вище, тим гнучкість краще);
- часу доби (ранком гнучкість знижена);
- віку (у дітей гнучкість вище, сенситивний період розвитку гнучкості – 10-14 років);
- статі (у дівчат гнучкість вище);
- проведення розминки (протягом 10 – 20 хвилин);
- температури розігріву тіла (гаряча ванна або сауна протягом 10 хвилин).

Сучасні методи вимірювання гнучкості не можна визнати досконалими (рис. 4.9).



*Рисунок 4.9. Гоніометр механічний*

У наукових дослідженнях її зазвичай подають в градусах, практично ж, користуються лінійними вимірюваннями. Ще однією причиною, яка викликає складнощі у вимірюванні гнучкості, є відмінність «робочої рухливості» (і під час робочих і спортивних рухів) від «скелетної гнучкості» (анатомічної), яку найточніше можна виміряти лише з допомогою рентгенограм. Для визначення

розмаху рухів у суглобах живої людини існують різноманітні конструкції гоніометрів (рис. 4.10).

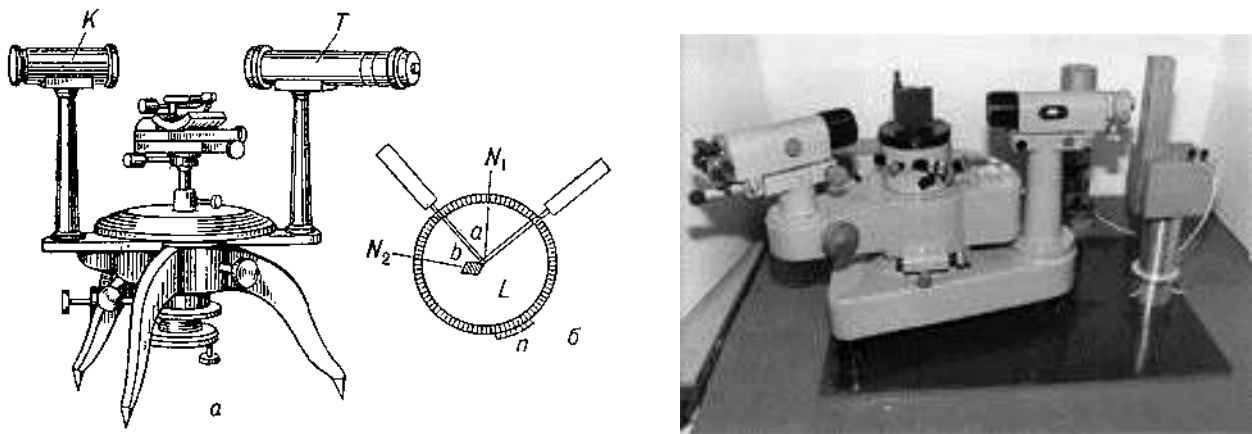


Рисунок 4.10. Сучасні гоніометри

Поява рентгенологічного методу дослідження відкрило нову змогу вивчення суглобів людини. Згадані вище методи вимірювання гнучкості показують, що поки не має досить інформативного, надійного й водночас придатного для масового використання способу визначення гнучкості. Проте слід також пам'ятати, що об'єктивно оцінити гнучкість людини шляхом визначення рухливості в окремих суглобах неможливо, оскільки висока рухливість в одних суглобах може супроводжуватись середньою або навіть низькою в інших, тому для визначення загального рівня гнучкості вимірюється амплітуда рухів у різних суглобах.

Взагалі вельми поширена думка що про «загальну гнучкість тіла» можна судити з нахилу вперед. При нахилі вперед тулуб згинається в тазостегнових суглобах і суглобах поперекового й нижнього грудного відділів хребетного стовпа. Саме по нахилу вперед судять про рівень розвитку гнучкості. Не слід вимірювати гнучкість лінійними показниками без урахування індивідуальних антропометричних особливостей конкретних осіб: краще безпосередньо або за матеріалами оптичної реєстрації кінематики рухових дій визначати кути в потрібних суглобах (рис. 4.11).

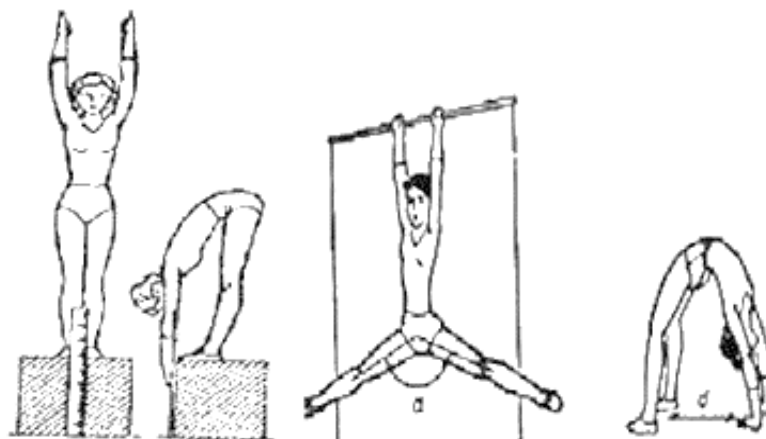


Рисунок 4.11. Вимірювання гнучкості в різних суглобах

Для щоденного контролю за гнучкістю рекомендуються нахили вперед із прямими ногами.

За допомогою раціонально організованих занять можна швидко домогтись результатів у розвитку гнучкості. За даними наукових досліджень за 3-4 місяці щоденних занять можна досягти 80-95 % рухливості у суглобах від їх анатомічного потенціалу. Розвивати гнучкість до граничних величин немає потреби, бо надмірна розтягнутість м'язів, зв'язок та сухожиль може призвести навіть до пошкоджень суглобів, тому гнучкість слід розвивати лише до такого рівня, який забезпечує виконання необхідних рухових дій без особливих на це зусиль. Для цього величина гнучкості повинна бути лише дещо більшою за ту максимальну амплітуду, з якою економно виконують рухову дію. Виконання вправ на гнучкість сприяє зміцненню суглобів, підвищенню міцності та еластичності м'язів, зв'язок та сухожиль, удосконаленню координації, ефективному оволодінню технікою фізичних вправ, уникненню травм. Для розвитку гнучкості використовують фізичні вправи, які можна виконувати з максимальною амплітудою, тобто вправи на розтягування.

### **Біомеханічне обґрунтування спритності**

**Спритність** – здатність людини швидко, оперативно, раціонально освоювати нові рухові дії, успішно вирішувати рухові задачі в умовах, що змінюються. Розглядаючи структуру спритності, можна зробити висновок, що для повної реалізації своїх потенційних силових і швидкісних можливостей, витривалості і гнучкості, людина повинна володіти рядом відповідних якостей, до яких відносять рівень розвитку специфічних відчуттів, інтелектуальний розвиток та ін. Специфічні відчуття пов'язані з індивідуальними особливостями сенсорики – зорового аналізатора, тактильної та м'язово-суглобової чутливості, вестибулярної та вестибуловегетативної реакції, оцінки просторових характеристик, мікроінтервалів часу тощо.

Специфічні якості визначають уміння швидко оволодівати новими діями, точно диференціювати та керувати різними характеристиками виконуваних дій, імпровізувати та комбінувати. Яскравим показником рівня розвитку спритності є ступінь відповідності рухових дій навколишній ситуації. Спритність (координованість рухів) – це складна комплексна рухова якість, рівень розвитку якої визначається багатьма факторами.

#### ***Високий рівень розвитку спритності визначає:***

- виконання координаційно складних рухів;
- точність виконання рухів;
- вміння швидше інших перебудувати свою діяльність при зміні зовнішніх умов;
- вміння швидше інших освоїти нові рухи.

### ***Спритність залежить:***

- а) від рухової підготовленості людини, від кількості, складності та різнобічності засвоєних нею рухових навичок;
- б) від швидкості та оперативності сприйняття і обробки зовнішньої інформації;
- в) від рівня розвитку спеціалізованих відчуттів.

Основу спритності складають координаційні здібності.

**Координаційні здібності** – це можливості індивіда, що визначають його готовність до оптимального управління і регулювання рухової дії. Виділяють спеціальні, специфічні і загальні координаційні здібності.

Під **загальними координаційними здібностями** розуміються потенційні та реалізовані можливості людини, що визначають його готовність до оптимального управління різними за походженням і змістом руховими діями.

**Спеціальні координаційні здібності** – це можливості індивіда, визначають його готовність до оптимального управління подібними за походженням і змістом руховими діями.

**Специфічні координаційні здібності** – це можливості індивіда, що визначають його готовність до оптимального управління окремими специфічними завданнями на координацію – на рівновагу, ритм, орієнтування в просторі, реагування, перестроювання рухової діяльності, узгодження, диференціювання параметрів рухів, збереження статокінетичної стійкості.

**Рухово-координаційними здібностями** (специфічні координаційні здібності) називаються здібності швидко, точно, раціонально, економно і кмітливо, тобто найбільш досконало, вирішувати рухові завдання (особливо складні і виникаючі несподівано). Ці здібності можна розбити на три групи.

1. Здібності точно регулювати просторові, тимчасові і динамічні параметри рухів. Ці здібності залежать від «відчуття простору», «відчуття часу» і «м'язового відчуття», тобто відчуття прикладеного зусилля.
2. Здібності виконувати рухові дії без зайвої м'язової напруженості (скутості), тобто керування тонічною напруженістю і координаційною напруженістю.
3. Здібності підтримувати статичну (позу) і динамічну рівновагу.

Ці рухово-координаційні здібності залежать від вміння утримувати стійке положення тіла (рівновагу), тобто стійкості тіла в статичному положенні і його балансування (зворотно-коливальних рухів) під час переміщень.

**Стійкість** – це здатність, утримувати положення тіла, протидіючи порушенню рівноваги. Розрізняють статичні показники стійкості – як здатність опиратися порушенню рівноваги і динамічні – як здатність відновити рівновагу. Здатність до збереження рівноваги забезпечується спільними можливостями зорової, слухової, вестибулярної і сенсомоторної систем.

**Стійкість** – це рухово-координаційна здатність, в основі якої лежить принцип зворотного зв'язку. Відхилення від стійкого положення викликають дії, спрямовані на ліквідацію відхилення. Залежно від поведінки фізичної

системи при відхиленні від рівноважного стану розрізняють стійку, нестійку й байдужу рівновагу.

При **стійкій рівновазі** відхилення викликає появу сил, які намагаються повернути систему до рівноважного стану.

При **нестійкій рівновазі** відхилення викликає появу сил, які намагаються вивести систему з положення рівноваги.

При **байдужій рівновазі** відхилення переводить систему в новий рівноважний стан, не викликаючи в ній нових сил (рис. 4.12).

## Види рівноваги:



*Рисунок 4.12. Види рівноваги*

Ортоградну (вертикальну) позу людини і стійкість в інших позах забезпечують *три ланцюги зворотного зв'язку*:

- ланцюги, що замикаються через центр рівноваги у внутрішньому вусі;
- ланцюги, що замикаються через зоровий аналізатор і зв'язані з зовнішніми орієнтирами;
- кінестатичні, засновані на положеннях свого тіла в просторі, вони замикаються через пропріорецептори м'язів.

Усі три названі системи діють одночасно і відхилення пози від обраної виявляються й усуваються тим швидше, чим краще стан нервової системи. Робота стабілізуючих систем виявляється в мимовільних коливаннях біоланок тіла. Частота коливань тим вище, чим краще фізична, технічна, а також психологічна підготовленість людини. Але стійкість визначається і за допомогою механічних факторів. Вихід вертикальної проекції загального центру мас за межі площі опори приводить до падіння. Значить тіло зберігає стійке положення за умовою, що сума діючих на нього сил дорівнює нулю і сума їхніх моментів теж дорівнює нулю.



Крім цього, *ступінь стійкості тіла людини* залежить від :

- величини площі опори;
- місця розташування загального центру мас;
- місця проходження лінії ваги через площу опори;
- кута і моменту стійкості;
- ступеня рухливості біологів та інших факторів (рис. 4.13).

### Перша умова рівноваги

▮ *Тіло перебувати ме в рівновазі, якщо рівнодійна прикладених до нього сил дорівнює нулю:*

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0$$

### Об'єднана умова рівноваги тіл

Для того, щоб тіло перебувало у стані рівноваги, необхідно, щоб геометрична сума сил, прикладених до тіла, дорівнювала нулю, і алгебраїчна сума моментів цих сил відносно осі обертання також дорівнювала нулю:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0$$

Рисунок 4.13. Умови рівноваги

Механізми регуляції рівноваги складні, оскільки обумовлюються комплексом діяльності різних аналізаторів, станом вегетативних органів, нервової та м'язової системи. Неоднозначна участь аналізаторів в управлінні стійким станом тіла. Значна заслуга в збереженні рівноваги належить не тільки руховому, а й зоровому, вестибулярному, тактильному аналізаторі. Однак, їх роль не може бути однаковою. Це пов'язано з конкретним видом і проявом даної якості.

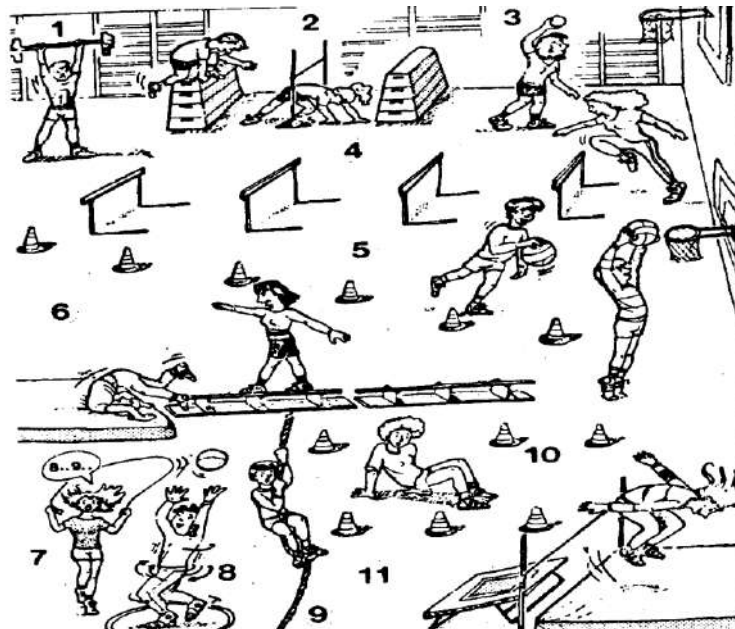
Так, в утриманні певної пози (положенні сидячи, стоячи, при нахилі та інші) провідну роль відіграє **руховий аналізатор**. При збереженні рівноваги після обертальних рухів більше значення набуває **вестибуляр**. При утриманні рівноваги після виконання стрибків і стрибкових вправ, а також при балансуванні з предметами значно підвищується функція **зорового і тактильного аналізатора**. Отже, участь того чи іншого аналізатора визначається конкретним руховим завданням, пов'язаним з проявом того чи іншого виду рівноваги.

**Для розвитку стійкості рекомендується застосовувати такі фізичні вправи:**

- ◆ збереження рівноваги на одній нозі в різних положеннях з рухами;
- ◆ стійки на руках і голові;
- ◆ кругові рухи тулуба стоячи на одній або двох ногах;
- ◆ виконання рухів, стоячи на обмеженій опорі (колода, трос);
- ◆ виконання різних рухових дій із закритими очима.

Координаційні здібності, що виявляються в руховій діяльності, залежать від швидкісних, силових, швидкісно-силових здібностей (рис. 4.14). У зв'язку з

цим, вирізняють два типи показників координаційних здібностей: явні (абсолютні) і латентні (відносні). Абсолютні показники характеризують рівень розвитку координаційних здібностей без урахування швидкісних, силових, швидкісно-силових можливостей людини. Відносні показники надають можливість міркувати про прояв координаційних здібностей з урахуванням цих можливостей.



*Рисунок 4.14. Тестування координаційних здібностей (комплексний французький тест)*

Основним засобом розвитку координаційних здібностей, є фізичні вправи підвищеної координаційної складності, які містять у собі елементи новизни. Це вправи, характерною ознакою яких є постійно зростаюча координаційна складність:

- загально гімнастичні вправи динамічного характеру без предметів і з предметами (м'ячами, скакалками, булавами);
- елементи акробатики (перекиди, різні перекати);
- освоєння техніки бігу, стрибків, метань, лазіння;
- швидкі обертальні рухи;
- естафети з веденням м'яча по прямої те правою, те лівою рукою, зі стрибками;
- біг з лазанням під перешкодами, біг у мішках, з ловом або передачею м'яча партнеру, з кидком у кошик або іншу ціль та ін.

Значний вплив на розвиток координаційних здібностей роблять рухливі і спортивні ігри, єдиноборства (бокс, боротьба, фехтування), кросовий біг, пересування на лижах по пересіченій місцевості, гірськолижний спорт.

**ТЕМА 5**  
**ОСОБЛИВОСТІ МОТОРИКИ ЛЮДИНИ.**  
**БІОМЕХАНІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ НАВЧАННЯ**  
**ФІЗИЧНИМ ВПРАВАМ**

**ЗМІСТ**

1. Залежність рухових можливостей від особливостей статури.
2. Онтогенез моторики в окремі вікові періоди.
3. Прогнозування рухових можливостей.
4. Вплив статевих розходжень на моторику людини.
5. Рухові переваги людини.
6. Основне поняття педагогічної кінезіології.
7. Сугестивні методи навчання.
8. Технічні засоби навчання руховим діям і тренажерні системи

**ЛІТЕРАТУРА :**

1. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264с.
3. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
4. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
5. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
6. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
7. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
8. Теорія і методика фізичного виховання : підруч. для студ. вищ. навч. закл. фіз. виховання і спорту: у 2 т. Т.Ю. Круцевич, Н.Є. Пангелова, О.Д. Кривчикова та ін.; за ред. Т.Ю. Круцевич. К. : Олімп. л-ра, 2017. Т. 1. 368с. Т. 2. 448 с.
9. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 205 с.
10. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
11. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
12. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

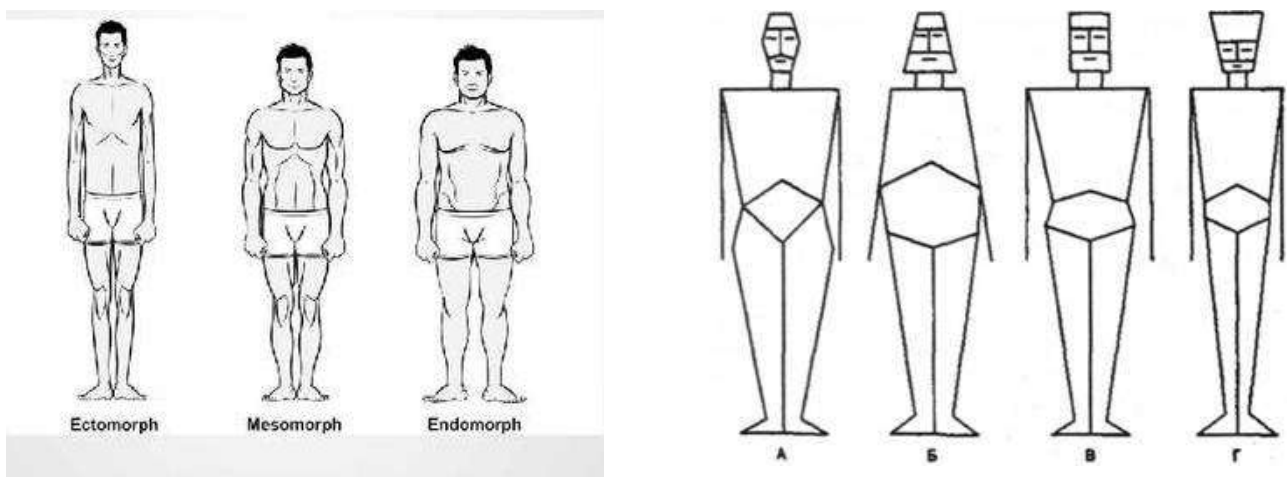
**Залежність рухових можливостей від особливостей статури**

**Диференціальною біомеханікою** називається розділ біомеханіки, що вивчає індивідуальні і групові особливості рухових можливостей і рухової діяльності людини, які залежать від віку, статі, стану здоров'я, рівня фізичної підготовленості, спортивної кваліфікації і т.д.

При розв'язанні різноманітних рухових завдань людині досить часто доводиться зберігати нерухоме положення тіла. З іншого боку, так само часто вона вирішує завдання щодо збереження такого положення у взаємодії з іншими тілами, спортивними снарядами. У практиці педагогічної діяльності тренера зрідка доводиться завершувати біомеханічний аналіз тільки на визначенні типу рівноваги тіла спортсмена. Рухові можливості (моторика) людини, як і багато індивідуальних рис спортивної техніки залежать від анатомо-фізіологічних особливостей тіла (рис. 5.1).

**До особливостей статури відносять:**

- розміри тіла (довжина, вага тіла, обвід грудної клітини, поверхня тіла);
- пропорції тіла (співвідношення розмірів окремих частин тіла – тулуба, кінцівок);
- особливості конституції (будова тіла) .



*Рисунок 5.1. Типи статури тіла за К. Сірго  
А – дихальний, Б – травний, В – мускульний, Г – мозковий*

У зв'язку з тим, що пропорції і розміри тіла людей істотно розрізняються, неоднакові будуть й їх рухові можливості. При тому самому рівні фізичної підготовленості люди з більшою масою тіла володіють більшою м'язовою силою. З цим зв'язаний розподіл на вагові категорії в таких видах спорту, як: боротьба, бокс, важка атлетика.

Для порівняння силових якостей людей різної ваги звичайно користуються поняттям «**відносна сила**», під яким розуміють величину сили, що приходить на 1 кг власної ваги. Сила дії, що виявляється спортсменом у якому-небудь русі, безвідносно до власної ваги, іноді називають абсолютною силою. У людей приблизно однакової тренуваності, але різної ваги абсолютна сила із збільшенням ваги зростає, а відносна падає.

При ходьбі і бігу, довжина і частота кроків залежить від розмірів тіла, і насамперед від довжини ніг. Наприклад, при одній і тій же довжині тіла, діти більш старшого віку роблять при бігу кроки більшої довжини, що пояснюється тим, що в них у середньому більш довгі ноги. Анатомо-фізіологічні особливості

впливають і на кінематику рухів, і на тактику рухової діяльності. У процесі вікового розвитку відбувається значна зміна розмірів і структура тіла. У зв'язку з цим змінюється і режим пересування, обраний людиною. Відповідно до принципу мінімуму енерговитрат, у нормальних умовах людина автоматично вибирає найбільш економічний режим пересування – швидкість, довжину і частоту кроків, при якому витрати енергії на одиницю подоланої відстані будуть мінімальними. На відміну від дорослих, природна рухова діяльність дитини спрямована на розвиток і удосконалювання органів і систем організму. Встановлено, що під час ходьби і бігу у дітей дошкільного віку, принцип мінімуму енерговитрат порушується. Довільно обраний дітьми режим рухів більш інтенсивний у порівнянні з енергетично оптимальним. В міру переходу до підліткового і юнацького віку ця відмінність зменшується, цілком зникаючи до завершення статевого дозрівання.

Аналогічні закономірності спостерігаються також у відношенні інших показників, наприклад:

- максимальне споживання кисню (МСК) залежить від величини поверхні легенів, тобто від зросту;
- життєва ємність легенів (ЖЄЛ) залежить від об'єму грудної клітки;
- швидкість бігу не залежить від тотальних розмірів тіла, так як паралельно із зростанням довжини тіла пропорційно зростає як довжина кроку, так і енерговитрати на переміщення частин тіла, що в свою чергу призводить до зниження частоти кроків;
- висота підйому ЦМТ в стрибках у висоту, як виявилось, також не залежить від тотальних розмірів тіла: при переміщенні маси тіла (яка залежить від  $H$ ) на висоту  $h$  необхідно виконати роботу, яка також пропорційна  $H$ , що не дає високим спортсменам інших переваг окрім того, що їх ЦМТ розташований вище, ніж у низькорослих спортсменів, що і дозволяє їм долати планку на дещо більшій висоті. Правда, більша довжина м'язів високих стрибунів має позитивний вплив і на швидкість їх скорочення, і на збільшення імпульсу відштовхування, що й дає їм відчутні переваги в стрибках у висоту.

Вищенаведене пояснює, чому усі гімнасти – низькорослі, переважно легкі і дуже молоді, а стрибуни – високі; легкоатлети-метальники – масивні, а бігуни на середні дистанції – різні. Особливо слід відзначити, що потужність, яку розвиває спортсмен, залежить від квадрату довжини тіла ( $H$ ), тому усі сучасні спринтери – високі з добре розвинутими м'язами.

Пропорції тіла та конституціональні особливості спортсменів, як і тотальні розміри їх тіла, впливають на вибір виду спорту, вузької спеціалізації в його рамках і особливості техніки (а також тактики), наприклад:

- техніка підйому штанги у спортсменів одного зросту і ваги, але різних пропорцій (співвідношення довжини ніг і тулуба) суттєво відрізняється;
- у боротьбі певні прийоми, що виконуються з прогином тулуба у поперековому відділі хребта, для спортсменів малого зросту виявляються менш ефективними, ніж з виконанням через спину або підхватом;

- у спортсменів високого класу навіть незначні особливості будови тіла мають велике значення, наприклад: довжина кисті у важкоатлетів, яка визначає захоплення грифа трьома пальцями (відкритий хват), або всіма пальцями (закритий повний хват), або довжина пальців кисті у гандболістів тощо.

Загально відомо, що пропорції і конституційні особливості тіла людини, як і його розміри, впливають на вибір виду спорту, вузької спеціалізації, використовуваного варіанта спортивної техніки, а також тактики дій на змаганнях. У легкій атлетиці, що нараховує більш 20 спеціалізацій циклічних і ациклічних видів спорту, виконуються швидко-силові і координаційні швидко-силові рухові дії. Виконання цих вправ багато в чому залежить від будови тіла спортсмена:

- ◆ для стрибунів у довжину і висоту характерні: високий ріст, тонка будова скелету, невелика вага, стрункі і довгі м'язи; довгі нижні кінцівки відносно тулуба, особливо гомілка і стопа;
- ◆ спринтери мають: довгі ноги, широкі плечі відносно стегон, добре розвинуту м'язову структуру;
- ◆ для марафонців характерні: малий ріст, невелика вага при відносно великому обводі грудної клітини, підвищену життєву ємність легень і добре розвинуті м'язи гомілки, худа сухожильна будова тіла;
- ◆ метальники – високого зросту, мають довгі верхні кінцівки відносно нижніх, широкі плечі, добре розвинуту м'язову структуру;
- ◆ плавці – мають високий зріст і довгі кінцівки, а для оптимального використання важеля – могутні м'язи передпліччя.
- ◆ гімнастки характеризуються середньою довжиною тіла і сильно розвитим плечовим поясом, тулуб більш довгий, постава розгорнута, подовжена шия;
- ◆ важкоатлети і борці усіх вагових категорій мають добре розвитий плечовий пояс і короткі верхні кінцівки, великий обхват шиї; в залежності від вагової категорії мають середній або високий ріст, вузький або широкий таз, рівномірно розвинуту м'язову структуру всього тіла.

Більшість видів спорту пред'являють дуже точні вимоги не тільки до соматичних показників, але і до пропорцій тіла, чого вимагає специфіка рухів і підтверджуються закони біомеханіки. Експериментально доведено, що будова скелету і його пропорцій є спадковими і не піддаються впливу тренувальних занять, якщо період росту вже завершений.

### **Онтогенез моторики в окремі вікові періоди**

**Онтогенезом моторики** називається зміна рухів і рухових можливостей людини протягом його життя. Немовля – істота, що не володіє навіть найпростішими довільними рухами. З віком його рухові можливості розширюються, досягають розквіту в молодості і поступово знижуються до

старості. Удосконалювання рухових можливостей в процесі вікового розвитку відбувається під впливом двох факторів: *дозрівання і учіння*.

**Дозрівання** – це генетично обумовлене удосконалювання систем організму. Зміна анатомічної будови тіла і фізіологічних функцій організму відбувається протягом всього життя людини. Це – збільшення розмірів і зміна форми тіла дитини в процесі його зростання, зміни, пов'язані зі статевим дозріванням, старінням та ін. В ранньому дитинстві особливе значення має дозрівання нервово-м'язового апарату, а руховий апарат дитини формується лише у 2 – 2,5 роки.

**Учіння** – результат педагогічного впливу. Під учінням розуміють освоєння нових рухів або їхнє удосконалювання під впливом спеціальної практики, навчання або тренування. Взаємодія цих факторів може носити різний характер: нейтральний, синергічний (цілеспрямований) або антагоністичний (протилежний). Всі основні рухи успадковуються дитиною від батьків. Діти, позбавлені людського суспільства, не опановують типовими для людини видами рухової діяльності, наприклад прямоходінням (рис. 5.2).



*Рисунок 5.2. Дитина, що виросла поза суспільством*

Педагогічний вплив, тобто учіння, ефективно лише за умови, якщо організм людини досяг визначеного ступеня анатомо-фізіологічної зрілості. В житті людини є **сенситивні періоди** – це періоди, найбільш сприятливі для оволодіння різними руховими діями або руховими здібностями.

Тому основним завданням *вчителя фізичної культури*, тренера є сполучення навчальних заходів і сенситивних періодів розвитку. Тобто домогтися об'єднання процесів дозрівання і учіння. Встановлено, що в ці періоди можна досягти позитивних зрушень, застосовуючи навіть невеликий обсяг тренувальних вправ на уроках фізичної культури в школі.

Експериментально встановлені сенситивні періоди розвитку основних рухових здібностей:

- **швидкість** – сенситивним періодом розвитку швидкісних здібностей дітей і підлітків є вік від 7 до 14 років. У дітей до 12-річного віку статеві особливості розвитку швидкості відсутні. Надалі хлопчики мають суттєву

перевагу в розвитку даної здібності перед дівчатками. Після 13-14 років рівень розвитку швидкості у дівчаток наближається до рівня розвитку цієї здібності у хлопчиків. Від 7-8 до 11-12 років найкраще розвиваються рухова реакція і швидкість рухів, а до 13-14 років ці показники наближаються до величин, характерних для дорослих;

- **сила** – розвиток сили м'язів в онтогенезі відбувається нерівномірно. Досить інтенсивно сила розвивається в період до 9 років, далі гальмується, а з 11 років поступово збільшується (особливо інтенсивно в період з 13-14 років із 16-17 років), досягаючи в 18-ти річному віці величини дорослих осіб. До 25-30 років абсолютна сила досягає максимального значення;
- **швидкісно-силові** здібності досягають самого високого темпу приросту від 10 до 11 років – у дівчат, від 10-11 до 13-15 років – у хлопців;
- **загальна витривалість** – має високий темп приросту від 15, 16 років – у хлопців і від 14, 15 років – у дівчат, а найвищі світові досягнення у видах спорту на витривалість спортсменів у віці від 20-22 до 30-32 років, тобто в людей, що досягли періоду біологічної зрілості;
- **гнучкість** росте природним шляхом до 14-15 років, але в різних суглобах вона має різну динаміку розвитку: в дрібних суглобах вона розвивається швидше, ніж у великих; найбільш високий темп її приросту спостерігається від 7-8 до 14-15 років, потім гнучкість стабілізується, а з 16-17 років починає прогресивно погіршуватися;
- **спритність** – сенситивним періодом для розвитку спритності є період від 7 до 14 років. Саме період статевої зрілості передує періоду досягнення рухової зрілості. В молодшому і середньому шкільному віці порівняно легко розвивається здатність підтримувати рівновагу тіла, точність рухів. Точність орієнтації в просторі посилюється у віці 5-6 років, в 7-10 років найбільш виразна, а далі стабілізується, досягаючи в 15-16-річному віці показників дорослих (рис. 5.3).

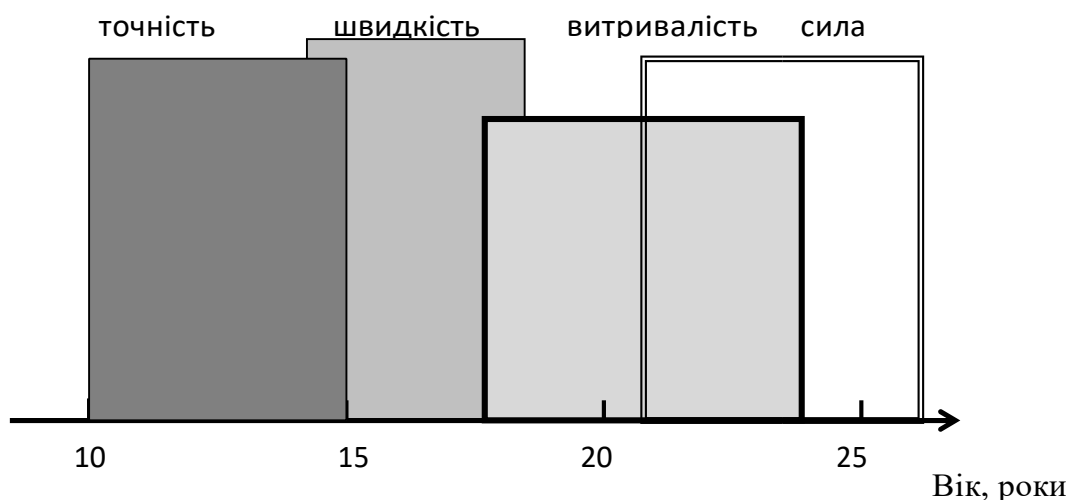


Рисунок 5.3. Сенситивні періоди розвитку деяких рухових здібностей



Знаючи сенситивні періоди розвитку рухових здібностей, навчання дитини рухливим іграм у волейбол, баскетбол, футбол і стрибкам, доцільніше починати з 7-9 років, грі в настільний теніс з 9-10 років, метання спортивних снарядів з 10-12 років, лижній підготовці і кросовому бігу з 11-12 років, гімнастичним вправам на поперечині і брусах з 12-13 років. Занадто раннє навчання також заважає освоєнню рухових дій. Рання спортивна спеціалізація перешкоджає досягненню високих спортивних результатів у зрілому віці, особливо в силових і швидко-силових видах спорту. Наприклад, атлетичною гімнастикою і силовими вправами з гантелями, гирею, штангою не слід займатися до 16-17 років, поки цілком не закінчиться дозрівання енергетичної системи людини.

У кожному віковому періоді, рухові здібності розвиваються не лінійно, а хвилеподібно, із прискореннями, затримками, що відображають активну пристосовність організму в процесі перебудови рухових структур. З віком змінюється форма, будова тіла, фізичні, фізіологічні і функціональні характеристики (рис. 5.4). Збільшення м'язової ваги збільшує силові можливості. Зміни нервової системи ведуть до зміни рухової функції. При цьому, вікові зміни різних показників відбуваються нерівномірно.



Рисунок 5.4. Життєвий цикл людини

**Протягом життя в розвитку людини чітко виділяються три етапи:**

- ◆ **етап бурхливого розвитку або становлення організму** - триває у жінок до 18-20 років, у чоловіків до 23-25 років і включає: внутрішньоутробний період – до 9 місяців, грудний – до 1 року, дитячий період – до 11-12 років, юнацький період – до 20-21 року. Протягом етапу відбуваються значні прогресивні зміни форм і функціональних можливостей організму. Зокрема, ріст від народження до вікового дозрівання збільшується в 3-4 рази, вага й ударний обсяг серця – у 20-30 разів, життєва ємність легень (ЖЕЛ) – у 5-10 разів, показники силових можливостей – у 50 разів і

більше. У цілому до 25-30 років припиняється прогресивний природний розвиток (еволюція);

- ◆ **етап відносної стабілізації** – функціональні системи залишаються у відносно незмінному стані, він настає у віці від 25-30 до 40-50 або 50-60 років. У цьому віці спостерігається відносна стабілізація показників з невеликим погіршенням.
- ◆ **етап інволюції** – можливості функціональних систем організму поступово знижуються, він настає в міру старіння організму у віковому періоді від 50 до 70 років. Для нього характерно найбільш швидкий зворотний розвиток рухів (інволюція), тобто поступове зниження визначених морфо-функціональних властивостей, що у наступні роки відбувається вже не так швидко.

Такий життєвий цикл фізичного розвитку відображається від покоління до покоління, повторюючись у певних рисах. В залежності від умов і факторів, що впливають на фізичний розвиток, він може бути всебічним і гармонічним, або обмеженим і дисгармонійним. Знаючи й уміло використовуючи об'єктивні закономірності фізичного розвитку людини, можна постійно і всебічно удосконалювати форми і функції організму, підвищувати працездатність, «відсунути» час природного старіння. Встановлено, що систематичні заняття фізичними вправами у віці старше 40 років, можуть загальмувати процес старіння приблизно на 10-15 років.

У кожному виді рухової діяльності є віковий діапазон, у якому досягаються найвищі спортивні результати. Як правило, вік розквіту рухових можливостей людини – від 16 до 30 років. Сучасний спорт характеризується омолодженням найсильніших спортсменів: у середньому чемпіони зараз молодше, ніж у колишні роки.

З 18-ти до 30-ти років відбувається розквіт моторики людини. Власне у цьому віці спортсмени демонструють найвищі спортивні досягнення. Хоча видатних успіхів у деяких видах спорту можна досягти і в 12 років (рульові в академічному веслуванні, спортивна гімнастика, акробатика, стрибки у воду тощо) або в 60-65 років (виїздка у кінному спорті, вітрильний спорт, гольф), все-ж у переважній більшості видів спорту найбільш сприятливий для досягнення високих спортивних результатів віковий діапазон лежить у межах 20–30 років. Наприклад, для фігурного ковзання, плавання, гімнастики – це 18–20 років, для спортивних ігор, боксу та гірських лиж – це 20–22 роки, для веслування, бігу на ковзанах та хокею 22–24 роки, для лижних перегонів, фехтування, біатлону та сучасного п'ятиборства – 26–28 років, для вітрильного, стрілецького, автомобільного – це вік після 30-ти років (наведені вікові дані, розраховані за середнім віком фіналістів олімпіад і чемпіонатів світу останніх десяти років)

Вищевказане засвідчує, що у видах спорту, де необхідна витривалість, спортивний успіх приходить пізніше, ніж там, де провідну роль відіграють швидкісні якості. Навіть в одних і тих-же видах спорту, наприклад, в бігу, вік олімпійських чемпіонів сильно відрізняється – для спринту він рівний 22,5

років, для дистанцій до 1500 м – 26,1 років, для марафонського бігу – біля 31го року. Погіршення рухових можливостей людини в зрілому віці до визначеного ступеню компенсуються тренуванням і досвідом (рис. 5.5).

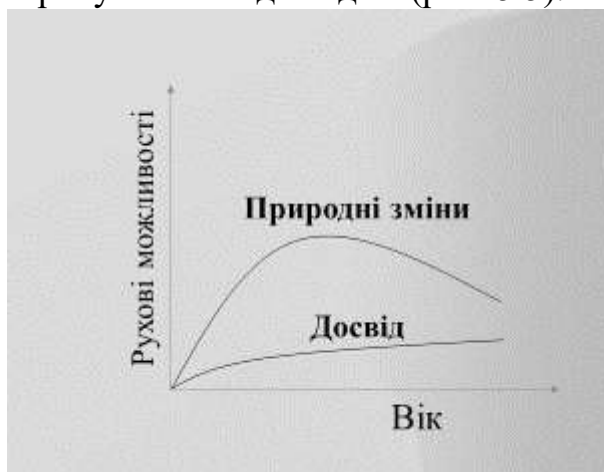


Рисунок 5.5. Вікові зміни рухових можливостей людини

Якщо вимірити результати в яких-небудь рухових завданнях великої групи дітей одного віку, то можна визначити їхні середні досягнення. Потім, знаючи результати окремої дитини, можна установити, якому віку в середньому відповідає даний результат. За допомогою такого способу визначають руховий вік дітей. Звичайно, не всі діти того самого віку показують однакові результати. Дітей, у яких руховий вік випереджає календарний, називають руховими **акселератами**. Дітей, у яких руховий розвиток відстає від календарного називають руховими **ретардантами**.

Акселерати в одних рухових завданнях можуть бути ретардантами в інших. Наприклад, дитина може випереджати своїх однолітків у силових вправах і відставати у вправах, що вимагають гнучкості або влучності. Існування акселератів і ретардантів легко пояснити. Темпи розвитку рухових можливостей істотно залежать не тільки від генетичних індивідуальних особливостей, але і від умов життя: вони сповільнюються при хворобі або недостатньому харчуванні.

При відповідній підготовці або вихованні діти можуть повернутися у свій руховий вік – у свій «канал розвитку». Це повернення проходить деколи дуже швидко (наприклад, реабілітація після травми). Такий процес називається **каналізуванням** або **гомеорезом** і характерний багатьом живим організмам.

### Прогнозування рухових можливостей

**Прогнозування** – це вид пізнавальної діяльності людини (суб'єкта), спрямований на формування прогнозів розвитку визначеного об'єкта на основі аналізу його стану в минулому і сьогоденні. Основним об'єктом прогнозування у фізичному вихованні є фізичний стан людини, що змінюється під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів.

Прогнозування – один з найбільш важливих елементів відбору і підготовки спортсменів. При початковому виборі спортивної спеціалізації,

добору в дитячі спортивні школи, основним завданням є прогноз рухової обдарованості. Як порекомендувати дитині саме той вид спорту, у якому вона зможе домогтися найбільших успіхів, як тренеру виявити найбільш обдарованих? Для відповіді на ці питання проводять наукові дослідження в двох основних напрямках :

- ◆ вивчення стабільності показників моторики;
- ◆ вивчення спадкових впливів.

При вивченні стабільності показників моторики вимірюють, наприклад, у 7-літніх дітей швидкість бігу, витривалість та інші показники. Щоб визначити, що буде з цими дітьми через 10 років (чи залишаться найшвидші найбільш швидкими, чи збережуть сильні або витривалі свою перевагу над однолітками), треба протягом ряду років спостерігати ту саму групу дітей, що знаходяться приблизно в однакових умовах.

Аналіз об'єкта прогнозу – перший етап розробки прогнозів, він полягає у визначенні цілей і задач прогнозування, знаходження способів адекватного опису об'єкта по ряду ознак і представлення його у виді моделі, найбільш відповідної завданням прогнозування.

Слідом за аналізом об'єкта прогнозу здійснюється його синтез, що спрямований на визначення як можна більшого числа диференціальних ознак об'єкта і їхнього взаємозв'язку між собою. Ці ознаки можуть бути виділені за допомогою різних методів у фізичному вихованні і спорті. Найбільш розповсюдженими є методи експертних оцінок, екстраполяції і математичної статистики. Екстраполяція полягає у виборі математичної моделі, що найбільш адекватно описує тенденцію досліджуваного об'єкта в майбутньому.

Основна мета прогнозування полягає в зменшенні невизначеності майбутнього. Виділяють такі підходи до прогнозування:

- **дослідницький** (емпіричний) пов'язаний із прогнозуванням задалегідь невідомих, непланованих подій;
- **нормативний** пов'язаний із прогнозуванням конкретних подій, які можна передбачати і планувати.

Вік, коли здійснюється прогнозування називається **ювенільним** (дитячі роки). Величини показників, зареєстровані в цьому віці називаються **ювенільними показниками**.

На відміну від них **дефінітивні показники** можна буде зареєструвати в дорослому **дефінітивному** віці. Для оцінки стабільності розраховують коефіцієнти кореляції між ювенільними і дефінітивними показниками – коефіцієнти стабільності. Дослідження показують, що стабільність різних рухових якостей неоднакова. Досить стабільними є показники, пов'язані з витривалістю. При аналізі ювенільних показників 11-літніх плавців і дефінітивних – результатів тих же плавців у 16 років, була виявлена наступна закономірність: чим довше дистанція, тим показники були більш стабільні. Найменшу стабільністю мають показники, особливо у дітей і підлітків, що характеризують точність влучення в ціль.

Вивчення спадкових впливів проводять різними методами. Основним з них є вивчення близнюків. Порівнюючи результати спостережень за близнюками, можна визначити вплив спадковості на спортивні результати. Цікаво, що в ідентичних близнюків навіть процес навчання рухам проходить практично однаково.

### **Вплив статевих розходжень на моторику людини**

Рухові можливості (моторика) жінок і чоловіків мають визначені розходження. Вони викликані *біологічними і соціально-психологічними причинами*. Розходження в моториці дівчат і хлопчиків розвиваються поступово. Вже в 3-літньому віці хлопчики в середньому перевершують своїх одноліток у рухових завданнях, які вимагають прояву силових і швидкісних якостей (стрибках, бігу на швидкість та ін.). У них раніше установлюється навичка метання. Однак, ці розходження викликані в більшій мірі соціально-психологічними, а не біологічними факторами: хлопчики тяжіють до «чоловічих» ігор, у більшому ступені сприятливим розвитку м'язової сили і швидкісних якостей. Навпаки, дівчинки в дошкільному віці перевершують хлопчиків у тих рухових завданнях, що типові для їхніх ігор (наприклад, у стрибках зі скакалкою).

У період статевого дозрівання дівчата майже зрівнюються з хлопчиками у виконанні рухових завдань, що вимагають граничних проявів швидкісно-силових якостей і витривалості, але після цього періоду розходження між статями досягають максимальних величин. Різниця між моторикою жінок та чоловіків проявляється після пубертатного періоду, тобто у віці 11–15 років. Спостереження показали, що за силовими якостями, швидкістю та витривалістю жінки поступаються чоловікам, що і викликало використання в ряді видів спорту полегшених приладів (ядро, спис), більш коротких дистанцій (гонки переслідування на 3 км у велосипедному спорті на треку, марафонський біг на 20 км і ін.), нижчих бар'єрів у легкій атлетиці тощо, а також заборону у деяких країнах видів спорту, які шкідливо впливають на жіночий організм (наприклад, бокс, важка атлетика). Крім того, жінки не змагаються з чоловіками в одноборствах, спортивних іграх та в інших видах спорту: серед жінок та чоловіків проводяться окремі чемпіонати і першості.

Спортивні результати спортсменок порівняно з аналогічними результатами спортсменів нижчі приблизно на 11–15%, хоча за спритністю та гнучкістю жінки чоловікам часто не поступаються. Як правило, дівчата краще виконують рухи виразного характеру (наприклад, художня гімнастика). Приріст результатів у силових вправах і вправах на витривалість у жінок відбувається повільніше, ніж у чоловіків. Для жінок характерний менший лінійний розмах рухів, менший прояв сили. Вважається, що в плавних рухах координація в них краще, ніж у чоловіків.

Однією з основних відмінностей між моторикою жінок і чоловіків є це, що після пубертатного періоду у жінок ріст спортивних результатів без спеціальної підготовки припиняється і вони поступово знижуються, в той час

як у мужчин дозрівання організму і пов'язаний з ним ріст показників моторики продовжується до 25-ти років без спеціального тренування.

Певний відбиток на особливості моторики жінок накладає менструально-оваріальний цикл: фахівці рекомендують припинити заняття фізичними вправами за день до овуляції на три дні і знижувати навантаження до 50% в період менструації. У протилежному випадку організму жінки завдається непоправна шкода, що зі сторони педагога-тренера є соціальним злочином. Тому планування тренувального навантаження чоловіків і жінок істотно відрізняється.

### Рухові переваги людини

Більшість людей виконує спортивні рухи певною рукою або ногою, у ту саму сторону. Наприклад, розподіл ніг на махову і поштовхову, виконання поворотів у гімнастиці або прийомів у боротьбі в одну із сторін, подих при плаванні кролем, «прицільне» око в стрільбі та ін. Такі рухові асиметрії існують і в побутових рухах. Людина виконує більшість з них завжди однією і тією же рукою, у ту саму сторону, хоча ніколи цьому спеціально не вчилась.

Рухова перевага однієї зі сторін тіла називається терміном домінування, сторона або кінцівка, якій віддають перевагу, називається домінантною. Люди, що однаково володіють обома кінцівками, тобто домінування в них, відсутнє називаються *амбідекстриками* (від лат. «амб» – обоє, «декстр» – правий, буквально з двома правими сторонами).

Приблизно, 25% людей народжується праворукими, 25% – ліворукими і 50% – амбідекстриками (рис. 5.6). Потім під впливом сімейного виховання і соціальних факторів всі амбідекстрики і велика частина ліворуких стають праворукими. Вважається, що приблизно у 75 % людей домінантним є праве око. У більшості ведучою (маховою) є права нога. Повороти більшість зволіє виконувати в ліву сторону. Приблизно 12 % людей є ліворукими.



*Рисунок 5.6. Дитина – амбідекстрик*

Домінування встановлюється поступово в процесі розвитку дитини. Тому при навчанні асиметричним рухам (стрибкам з поворотами в гімнастиці, акробатиці) тренер повинен попередньо виявити сторону повороту, якої віддається перевага. У єдиноборствах і спортивних іграх ліворуки, а особливо

амбідекстрики мають деякі переваги, що виявляються в нестандартній техніці. Це приводить до того, що серед найсильніших боксерів і фехтувальників частка ліворуких дуже висока, ледве більше 30%. Уміння виконувати всі технічні дії в обидва боки вважається ознакою високої спортивної майстерності, але така майстерність зустрічається не часто. Спеціальні дослідження показують, що основи рухової «двобічності» треба закладати вже на ранніх етапах навчання спортивній техніці, приділяючи рівну увагу виконанню всіх технічних дій в обидва боки.

### Основне поняття педагогічної кінезіології

Однією з основних сторін фізичного виховання, як і будь-якого іншого педагогічного процесу, є процес навчання. У дидактиці, *навчання* розглядається як процес взаємозалежної діяльності педагога і учня, спрямований на придбання нових знань, умінь і навичок, а також на розвиток розумових і рухових здібностей учнів.

Як відомо, різноманітні рухові дії формуються протягом всього життя людини під впливом багатьох факторів і процес їхнього становлення може носити різний характер. Це досягається за рахунок оптимізації педагогічного процесу, який формується в умовах раціональної побудови навчання. Тобто, процес формування та удосконалення рухової дії – це послідовний перехід від знань і уявлень про дію до уміння виконувати її, а потім від уміння до навичок. Педагогічні прийоми процесу навчання руховим діям сучасної біомеханіки базуються на:

- ◆ методах програмованого навчання;
- ◆ педагогічної кінезіології;
- ◆ дидактичних принципах;
- ◆ сугестології.

*Програмоване навчання* є особливим видом самостійного надбання знань, яке здійснюється як чітко керований процес за визначеною навчальною програмою. Головну роль у програмованому навчанні грає навчальна програма, тобто послідовність, або «кроки», де кожен з них є мікроетапом оволодіння знаннями або вміннями. Програма закладається в підручник або в спеціальний навчальний пристрій (комп'ютерна програма, аудіо- або відео касета). Для більш легкого засвоєння необхідно чітко сформулювати мету і завдання навчання на кожному уроці та в окремих рухових завданнях. Після вивчення кожної порції настає перевірка засвоєння чергової порції знань і навичок учнями. Якщо частина матеріалу засвоєна добре, то переходять до наступної. Це і є «*кроком*» *навчання*: *ознайомлення, засвоєння, перевірка*.

При використанні методів педагогічної *кінезіології* послідовність вивчення матеріалу забезпечується наявністю «моделі» (зразка) техніки або тактики. Під *моделлю* прийнято розуміти зразок (стандарт, еталон), тобто будь-який зразок (уявний або умовний) того чи іншого об'єкта, процесу, явища. Модель не повинна бути подібна оригіналу, інакше це буде копія, але повинна відображати основні властивості і характеристики оригіналу. Існують різні

способи опису моделей або чотири «мови», якими можна описати техніку будь-якої вправи.

1. **Перша «мова»** - (що бачу) – опис фактів, які ми бачимо або зовнішньої картини руху. Ця мова зрозуміла всім учасникам навчального процесу: учням, вчителю або тренеру, а також спеціалісту з біомеханіки.
2. **Друга «мова»** - (чому так відбувається) – опис біомеханічних механізмів, що забезпечують оптимізацію рухової дії. Це мова спеціалістів з біомеханіки.
3. **Третя «мова»** - (що рекомендую, вимагаю) – мова вчителя фізичної культури, тренера.
4. **Четверта «мова»** - (як повинно бути і що при цьому відчуваю) – мова учня. Спортсмен не завжди має знати які суглобові кути під час даного руху, однак він повинен знати в якому місці зустрічаються певні частини тіла.

**Словесний спосіб** опису моделей передбачає передачу інформації за допомогою словесного опису моделі. Як правило, це – конспект тренувального заняття або словесний опис еталона техніки виконання руху, ілюстрований малюнками, який містить:

- опис фазового складу рухової дії;
- опис і фотографії (або схематичні зображення) оптимальних граничних поз, які учень повинний приймати на початку і наприкінці кожної фази (без зупинки руху);
- перерахування цілей, до яких потрібно прагнути при виконанні всієї рухової дії і кожної з її фаз і завдань, що вирішуються для досягнення цілей.

Моделльні характеристики та їхні значення є орієнтирами, яких повинні досягти діти на різних етапах підготовки. Чим нижче рівень підготовленості учня, якому адресується модель, тим більш простішою повинна бути подача завдання матеріалу. У цьому випадку вчитель говорить не про фази, а про елементарні дії (рукою, ногою).

В процесі фізичного виховання і спортивного тренування для здійснення керування необхідно мати опис (модель) об'єкта керування (учня, спортсмена) у його фактичному стані (на даний час), а також модель того стану, якого потрібно досягти. Ці моделі повинні давати цифрові характеристики рівнів основних видів підготовленості (загальної, спеціальної, технічної). Крім цього, розробляються моделі основних програм впливу (вправ, тренувальних уроків і циклів), система педагогічного контролю, яка фіксує зміни, що відбуваються в організмі учня або спортсмена.

### **Сугестивні методи навчання**

Крім методів програмованого навчання і педагогічної кинезіології існують ще більш інтенсивні методи навчання. Це *сугестивні методи*.



**Сугестологія** – наука про навіювання. Разом з педагогікою сугестологія створює **сугестопедію** – новий розділ педагогіки, що розробляє прийоми прискореного навчання. На відміну від інших, сугестивні методи досягають мети в обхід логіки, багато в чому нагадуючи гру і тому не вимагають від учня значних вольових зусиль. Саме так можна навчати маленьких дітей.

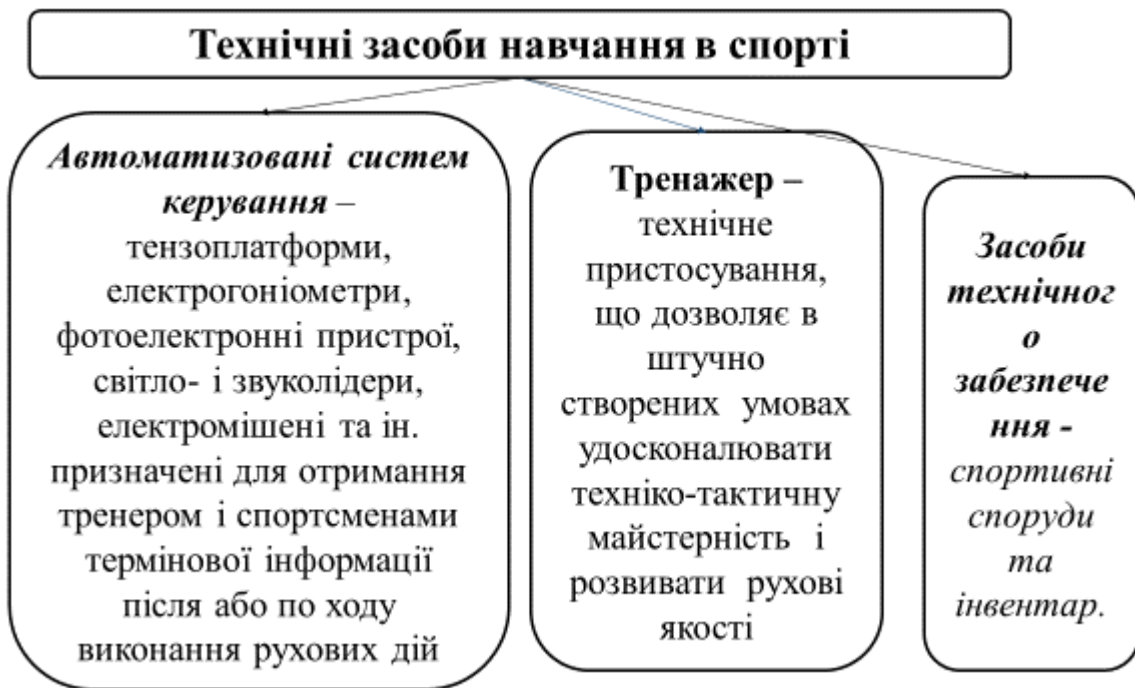
Ми знаємо, що людина використовує лише малу частину можливостей свого мозку. Існують колосальні резерви мозку, наприклад факти «понад запом'ятовування» великого обсягу інформації не тільки особливо обдарованими, але і звичайними людьми в стані гіпнозу. Сугестивні методи навчання спираються на резерви людського мозку і активізують їх.

Для того, щоб активізація резервів мозку стала можливою, необхідно перебороти «критично-логічний» **антисугестивний бар'єр**, тобто ситуацію, коли звикнув до обмеженості своїх можливостей, людина з розумінням здорового глузду не вірить у свої понад можливості. Наприклад, щоб збільшити результат спринтера вищої кваліфікації, використовували спеціальне пристосування – полегшуючу підвіску. Над біговою доріжкою електромотором зі швидкістю бігуна переміщався блок з ременями, що підтягують спортсмена догори і тим самим знижують силу ваги. При цьому результат у спринтерському бігу, природно, виявляється вище звичайного. Це сприяло формуванню навички «понад швидкого» бігу, додавало бігуну впевненість, і надалі він поліпшував свій результат на змаганнях.

### **Технічні засоби навчання руховим діям і тренажерні системи**

**Технічні засоби навчання (ТЗН)** поєднують різноманітну групу інструментів, пристроїв і обладнання, якими користуються педагоги, тренери, учні і спортсмени. В залежності від місця в педагогічному процесі і завдань, які вирішуються, технічні засоби поділяють на *тренажери, автоматизовані системи керування і засоби технічного навчання (рис. 5.7)*.

**Технічні засоби передачі інформації** про спортивні рухи призначені для передачі додаткової інформації про техніку спортивних рухів. Вони допомагають правильно визначити завдання, дозволяють виявити біомеханічні параметри кожного руху, оптимізувати обмін інформації між тренером та спортсменом. Це забезпечує можливість керувати формуванням спеціальних рухових навичок, удосконалювати техніку спортивних рухів. Такі технічні пристрої, як тензоплатформи, електрогоніометри, фотоелектронні пристрої, світло- і звуколідери, електромішені та інші, призначені для одержання тренером і спортсменами термінової інформації після або по ходу виконання рухових дій з метою їхньої корекції або для збереження заданих параметрів (темпу, ритму, зусилля, амплітуди).



*Рисунок 5.7. Технічні засоби навчання*

Тренажери здавна використовувалися в підготовці спортсменів, але останнім часом їхнє застосування не тільки розширилося, але і змінилося якісно. Пов'язано це з тим, що *за допомогою тренажерів можна:*

- підвищити інтенсивність занять;
- збільшити прояв фізичних якостей у рухах при збереженні їхньої форми;
- посилено впливати на ті фази руху, що при звичайному виконанні лімітують його ефективність;
- збільшити коефіцієнт спеціалізації навантаження за рахунок більшого наближення структури тренувальних вправ до структури змагальних.

**Тренажером** називається технічне пристосування, що дозволяє в штучно створених умовах удосконалювати техніко-тактичну майстерність і розвивати рухові якості. Крім цього тренажери допомагають моделювати ті чи інші умови майбутньої реальної діяльності учнів. Тренажери дають можливість моделювати різні умови і ситуації. В основу їхньої конструкції закладені різні механічні, електричні, логічні або інформаційні процеси. Важливим є те, які біомеханічні (психологічні та інші) структури рухів тренажери дозволяють моделювати.

Розрізняють тренажерні пристрої для удосконалювання рухових можливостей (перша група) і знань (друга група). У першу групу входять два типи тренажерів:

- спеціалізовані;
- тренажери загального впливу.

За допомогою спеціалізованих тренажерів вдосконалюються елементи змагальної вправи, крім того вони дозволяють виконувати рухи, структура яких близька до структури змагальних вправ. Важливо, що при роботі на

тренажері, діапазон величин сили був більше змагальних. Така робота з перевищенням змагальних вимог завжди створює визначений запас потенційних можливостей спортсмена.

При конструюванні і підборі тренажерів для розвитку рухових здібностей і технічної підготовки, необхідно прагнути до того, щоб виконувана на тренажері й основна змагальна вправа були однаковими по топографії м'язів, відносній потужності й характеру зовнішнього опору. Зовнішній опір може задаватися силами неоднакової фізичної природи. У залежності від цього різні тренажери придатні для освоєння різноманітних спортивних рухів.

**Тренажери класифікуються (рис. 5.8):**

- **за призначенням** – для фізичної, технічної, тактичної підготовки, для відновлення працездатності, контролю;
- **за спрямованістю** – для освоєння геометрії рухів, біокінематичної або біодинамічної структури рухів;
- **за областю моделювання** – з використанням механічних факторів (різних умов гравітаційних взаємодій тіла людини), інформаційних факторів (логічних схем);



Рисунок 5.8. Класифікація біомеханічних тренажерів

- **за характером інформаційного обміну** – з дублюванням зворотного зв'язку, без дублювання зворотного зв'язку, з використанням звукових, силових та інших каналів зв'язку.
- **за структурою** – механічні, електричні;
- **за принципом дій** – світлозвукотехнічні, електромеханічні, цифрові, кібернетичні;
- **за формою навчання** – індивідуального, групового і поточного використання;
- **за логікою роботи** – з лінійною або розгалуженою програмою, з альтернативним вибором рухового дії або з вільним конструюванням програми відповіді.

Тренажери можна умовно розділити на два види: тренажери, що підвищують витривалість (кардіотренажери), і тренажери, які розвивають силу (силові тренажери).

**Кардіотренажери** – призначені для розминки перед основним тренуванням, для більш тривалих занять з метою зміцнення серцево-судинної системи і спалювання жиру. До першого типу тренажерів (кардіотренажери) відносяться: бігові доріжки, велотренажери, степпери, еліптичні тренажери; гребні тренажери (рис. 5.9).

**Силові спортивні** тренажери призначені для збільшення м'язової маси, поліпшення рельєфу м'язів, збільшення максимальної сили. Силові тренажери представлені лавами, тренажерами, де в якості навантаження використовується вага спортсмена і комплексами з вільними і вбудованими вагами. Звичайно, такий поділ не абсолютний: заняття на будь-якому з тренажерів розвивають і силу, і витривалість, але в різному ступені.



Велотренажер

Бігова доріжка

Еліптичний тренажер

Степер

Гребний тренажер

*Рисунок 5.9 Силові та кардіотренажери*

У спортивних іграх тренажери використовуються у виді «гармат», котрі стріляють м'ячами (з різною швидкістю, частотою, траєкторією). Це дає можливість не тільки інтенсивно виконувати технічні прийоми, але і робити це в стандартних умовах, що важливо для навчання.

Крім спеціалізованих, використовуються неспецифічні або тренажери **загального впливу**. Ціль їхнього застосування – підвищення рівня розвитку рухових якостей, які виявляються в будь-яких вправах. До них відносяться: веловерстати, бігові доріжки, качалки, стрибкові пристрої та інші.

Тренажери із зворотним зв'язком забезпечують автоматичний вимір показників, що характеризують спортсмена, та порівняння їх із програмними значеннями.

## ТЕМА 6 БІОМЕХАНІКА ЛОКОМОТОРНИХ РУХІВ ЗМІСТ

1. Біомеханічна характеристика циклічних локомоцій:
  - а) спортивна ходьба і біг;
  - б) біг на лижах;
2. Завдання локомоторних рухових дій
3. Біомеханічні особливості стартових дій.
4. Динаміка циклічних локомоцій.
5. Види рекуперації енергії та енерговитрати під час циклічних локомоцій.
6. Оптимізація рухової діяльності в циклічних локомоціях.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ахметов Р. Ф., Максименко Г. М., Кутек Т. Б. Легка атлетика: Підручник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. 340 с.
2. Базилевич Н.О., Ільченко С.С. Лижний спорт. Навчальний посібник. Умань: ВПЦ «Візаві», 2014. 258 с.
3. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
4. Донской Д.Д. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264с.
5. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
6. Зацюрский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
7. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
8. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
9. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141с.
10. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 154с.
11. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
12. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
13. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

### Кінематика ходьби і бігу

Ходьба і біг відносяться до **циклічних** видів спорту з фіксованою опорою на ноги. Цикл рухів у ходьбі – це подвійний крок, який складається з двох одиночних. Цикл рухів у бігу являє собою безупинний ряд стрибків уперед з однієї ноги на іншу. Іншими словами можна визначити, що біг – це політ, тобто фаза певного перебування в польоті без опори на ногу (ноги).

Ходьба і біг є самими давніми способами пересування. За 70 років життя людина робить у середньому 500 млн. кроків і проходить шлях, який приблизно

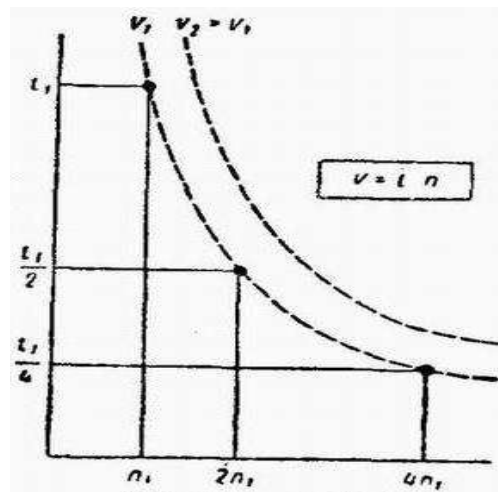
дорівнює відстані від Землі до Місяця (384 тис.км). Як і у всіх циклічних локомоціях, при ходьбі і бігу швидкість пересування прямо пропорційна довжині кроку і темпу.

$$V = l n / 60, \quad -$$

де  $v$  - швидкість пересування (м/с);  $l$  - довжина кроку (м);  $n$  - частота кроків (1/хв.). Щоб визначити темп ходьби або бігу, звичайно реєструють число кроків у хвилину або частоту кроків. Та сама швидкість може бути досягнута при різних сполученнях довжини і частоти кроків. Крива, усі точки якої відповідають однієї і тій же швидкості називається **ізоспідом**. Якщо графічно розглянути дві ізоспиди (рис. 6.1), то збільшити швидкість можна трьома способами:

- ◆ підвищивши довжину кроку;
- ◆ піднявши темп;
- ◆ збільшивши одночасно і довжину, і частоту кроків.

довжина кроків



частота кроків

Рисунок 6.1. Приклад двох ізоспид, де  $V_1 < V_2$

Для того щоб зрозуміти як людина ходить або бігає необхідно вивчити фазовий склад цих локомоцій. Якщо ми розглянемо найпростіші хронограми ходьби і бігу (рис. 6.2), то визнаємо, що швидкість пересування буде більшою за умови:

- коли скорочується період подвійної опори (обидві ноги знаходяться на землі);
- при спортивній ходьбі – коли період подвійної опори мінімальний;
- при бігу – коли збільшується відношення тривалості періоду польоту (обидві ноги не торкаються опори) до тривалості періоду опори.

Середня швидкість бігу зі збільшенням дистанції, природно зменшується: у бігу на 100 м – близько 10 м/с, у марафонській дистанції – 5 м/с. Ходьба виконується зі швидкістю близько 1,7 м/с. Цикл рухів складається з двох одиночних кроків (довжиною близько 85см. кожний) і відбувається протягом 1с. Ходьба характеризується перемінною активністю ніг, чергуванням

відштовхування (період опори) і переносу кожної ноги (переносний період). Період опори складається з фази амортизації, відштовхування і підйому. Тривалість періоду опори в порівнянні з переносним приблизно на 10% більше. У переносному періоді виділяють фази: розгону, гальмування й опускання ноги на опору.



Рисунок 6.2. Хронограми ходьби

Кожен цикл руху в ходьбі складається з двох кроків (лівою і правою), а кожен крок з 5-ти фаз, які відділені одна від іншої граничними позами (рис. 6.3):

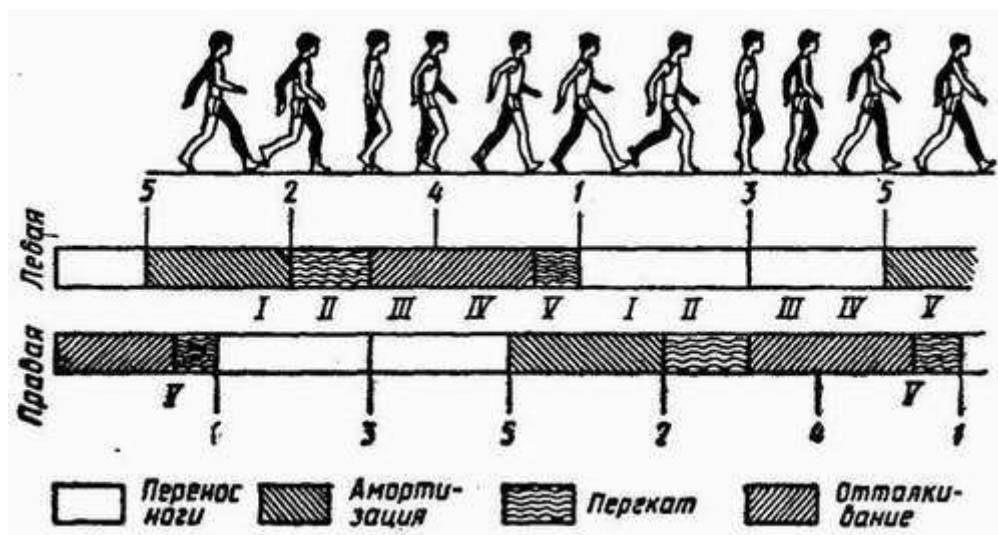


Рисунок 6.3. Хронограма і фазовий склад ходьби.

- I фаза – підсідання на опорній (лівій) нозі – починається з відриву правої ступні від опори;
- II фаза – випрямлення поштовхової ноги – початок розгинання лівої ноги;
- III фаза – винос махової (правої) ноги – випередження маховою ногою поштовхової;
- IV фаза – винос правої з перекатом на носок лівої ноги – відрив п'яти поштовхової ноги;
- V фаза – подвійна опора, перехід з опори лівої на праву ногу – постановка правої ноги на опору.

Для повного розуміння механізмів ходьби розглянемо, які дії виконуються кожною ногою під час:

- опори – амортизація, переكات з п'яти на всю ступню, відштовхування і переكات з усієї ступні на носок;
- переносу – згинання, а потім розгинання ноги в колінному суглобі.

Біг – циклічний вид, природний спосіб пересування людини з великою швидкістю, основною відмінністю якого від ходьби є наявність фази польоту. Цикл рухів бігу (подвійний крок) складається з двох періодів одиночної опори на лівій і правій нозі і двох періодів польоту (рис.6.4).

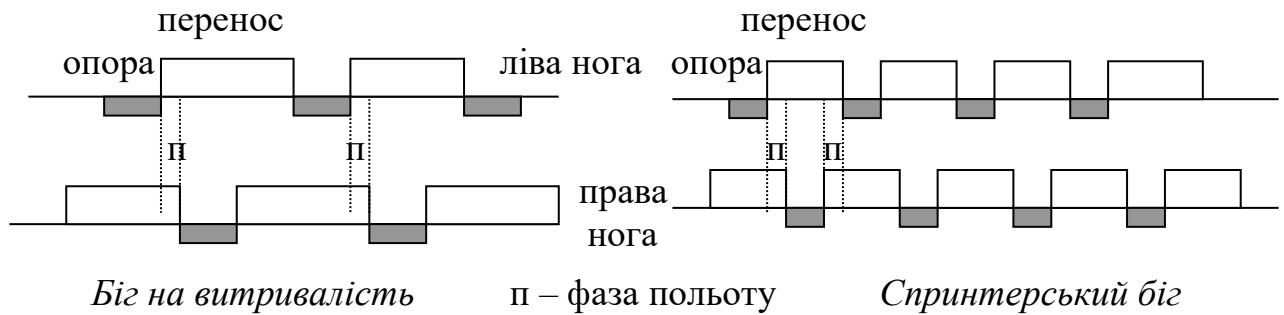


Рисунок 6.4. Хронограми бігу

Кожен біговий крок складається з періоду опори (фаз передньої і задньої опори) і періоду польоту (чотири фази), які мають свої задачі, біомеханічні особливості та граничні пози (рис. 6.5):

1. **Фаза передньої опори (амортизації)** – починається з моменту постановки ноги на опору, закінчується найбільшим згинанням опорної ноги в колінному суглобі. Нога ставиться на опору під кутом, близьким до прямого, пружним загрибаючим рухом спереду-назад. Основне завдання м'язів опорної ноги в цій фазі – погашення вертикальної швидкості падіння до нуля.

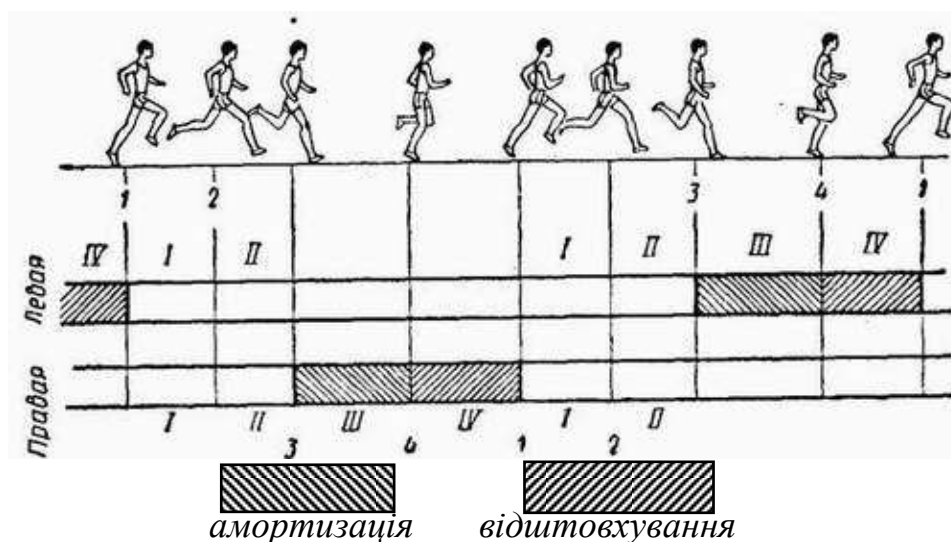


Рисунок 6.5. Хронограма і фазовий склад бігу



Амортизація виконується шляхом згинання ноги в колінному суглобі, рухами в гомілковоступному і кульшовому суглобах (опускання таза). Одночасно виконується перенос махової ноги, чим він швидший, тим більш високе прискорення отримує центр мас тіла. Фаза закінчується в самому низькому положенні ЗЦМТ.

**2. Фаза задньої опори (відштовхування)** – починається з найбільшого згинання опорної ноги в колінному суглобі, а закінчується моментом відриву стопи від опори. Сила відштовхування залежить від амплітуди (повне розгинання ноги в усіх суглобах), швидкості рухів у суглобах, а також правильною послідовністю включення суглобів: розгинання у кульшовому суглобі, колінному, гомілковостопному і, нарешті, підошовне згинання стопи і пальців. Після гальмування у фазі передньої опори, саме в цій фазі відбувається активне збільшення швидкості. Напрямок сили відштовхування повинен проходити через ЗЦМТ, що регулюється правильним нахилом тулуба. Кут відштовхування змінюється в залежності від швидкості бігу (чим більша швидкість, тим менший кут відштовхування). Внаслідок чого зростає горизонтальна складова реакції опори, від якої залежить прискорення ЗЦМТ під час відштовхування.

Після опорного періоду настає *період переносу ноги*, який включає 4 фази:

**3. Фаза підйому ноги** – починається з моменту її відриву від опори і закінчується початком її руху вперед (відносно таза). Задній крок, одразу після відштовхування, включає в себе рух гомілки і стопи вгору, що зумовлює «складання» махової ноги в колінному суглобі. Кут складання і висота підйому гомілки залежить від швидкості пересування прямопропорційно – чим швидкість більша, тим кут складання і висота підйому п'яти більша. Ця фаза є найшвидшою і повинна одразу без зупинки переходити в наступну.

**4. Фаза розгону ноги** – починається з моменту проходження маховою ногою вертикалі (початок згинання стегна в кульшовому суглобі) і закінчується в момент найбільшої швидкості ЦМ переносної ноги. За рахунок згинання махової ноги в колінному суглобі в попередній фазі зменшується важіль і зменшується інертна протидія ноги. Збільшується швидкість маху, за яким вперед просувається таз, а за активним махом протилежної руки – плечі бігуна.

**5. Фаза гальмування ноги** – починається з моменту найбільшої швидкості її центру тяжіння і закінчується в крайньому положенні стегна попереду-вгору. Висота підйому стегна також залежить від швидкості пересування прямопропорційно. В той час, коли маховий рух вперед загальмовується, починається розгін гомілки вперед – розгинання махової ноги в колінному суглобі.

**6. Фаза опускання ноги на опору** – починається з моменту крайнього положення стегна попереду-вгору і закінчується в момент постановки ноги на опору. Ця фаза характеризується активним прискоренням зближенням ніг: одна розганяється вперед-вгору, друга – вниз-назад. Швидкому зведенню

стегон сприяє попереднє їх розведення, внаслідок чого м'язи антагоністи розтягуються і напружуються. Підвищується темп бігу.

Вертикальні коливання ЗЦМТ під час бігу залежать від його швидкості. Найвище положення ЗЦМТ – в період польоту, а найнижче – в кінці амортизації (до 10 см), є також і переміщення ЗЦМТ у поперечному напрямку в бік опорної ноги. Для високих спортивних результатів в бігу спортсмен повинен використовувати переключення зусиль: напруження під час відштовхування і відпочинок і розслаблення незадіяних м'язів в інших фазах. Це можливо в процесі використання інерції рухів.

### Кінематика лижних ходів, види лижних ходів

Рухові дії лижника відносяться до циклічних рухів з ковзанням. Способи пересування на лижах залежать від рельєфу місцевості, умов ковзання, рівня підготовленості лижника. Лижні ходи розділяють за способом відштовхування палками на *поперемінні й одночасні*. За кількістю кроків в одному циклі виділяють *безкроковий, однокроковий, двокроковий, і чотирикроковий* ходи.

Цикл рухів лижника складається з двох періодів – *ковзання і стояння лижи*. В кожному з них є свої фази: вільного ковзання, ковзання з випрямленням опорної ноги, ковзання з підсіданням; випад з підсіданням, відштовхування з випрямленням поштовхової ноги (рис. 6.6).

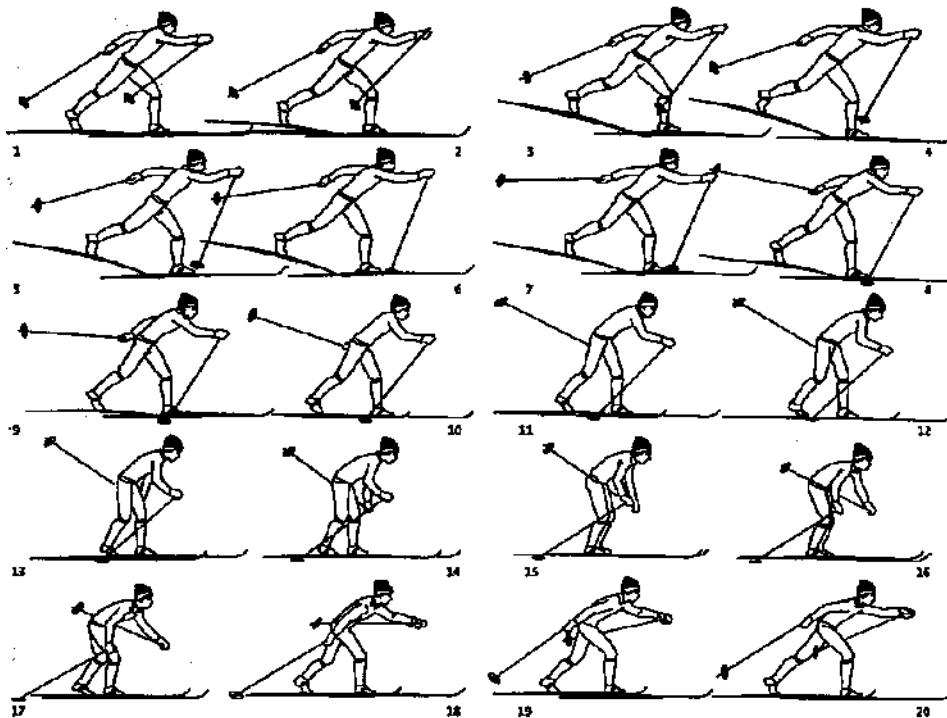


Рисунок 6.6. Фазовий склад класичних лижних ходів

У кожному кроці розрізняють періоди ковзання і стояння лижі та виділяють 5 фаз:

**I фаза** – вільне одноопорне ковзання на (лівій) лижі. Починається з моменту відриву правої лижі від снігу і закінчується постановкою правої палки на

сніг. Головне завдання в цій фазі – зменшити втрату швидкості і підготуватися до відштовхування палицею. В момент відриву лижі спостерігається повне випрямлення поштовхової ноги, яка має з тулубом одну пряму лінію. Кут згинання опорної ноги у колінному суглобі  $140^\circ$ , гомілка в цей час розташовано вертикально.

- 2 фаза** – ковзання з випрямленням опорної (лівої) ноги. Триває від постановки палки на сніг, до початку згинання опорної ноги в колінному суглобі. Головне завдання – збільшити швидкість ковзання за рахунок відштовхування палицею. Палка під час відштовхування ставиться біля носка черевика під кутом  $70-80^\circ$ , рука трохи зігнута, лікоть відведений вбік. Випрямлення опорної ноги забезпечує кращі умови для виконання маху, який відбувається вільною прямою ногою (від ступні).
- 3 фаза** – ковзання з підсіданням на опорній (лівій) нозі. Починається зі згинання опорної ноги в колінному суглобі і закінчується зупинкою лівої лижі. Головне завдання – швидко зупинити ковзну лижу, прискорити підсідання на опорній нозі, забезпечити високу швидкість махових рухів рукою і ногою. На початку фази опорна нога майже випрямлена, носок махової ноги на рівні п'яти опорної, махова рука пряма знизу. Потім починається різкий мах ногою (ступнею, а не коліном) вперед, при цьому відбувається поворот таза навколо вертикальної осі і винос його вперед за ногою. Нахил тулуба наприкінці фази значно збільшується.
- 4 фаза** – випад (правою) з підсіданням на лівій. Починається із зупинки лижі і закінчується початком розгинання лівої ноги в колінному суглобі. Завдання фази – забезпечити максимальну швидкість випаду і закінчити підсідання для потужного відштовхування ногою. У цій фазі починається активне відштовхування за рахунок енергійного розгинання ноги в кульшовому суглобі, але одночасно ще продовжується підсідання в колінному. Нахил тулуба ще трохи збільшується, що сприяє збільшенню тиску на палицю. Махова рука виноситься вперед до рівня грудей. Ступня махової ноги виходить попереду на 10-15 см.
- 5 фаза** – відштовхування з випрямленням поштовхової ноги. Починається з розгинання поштовхової ноги в колінному суглобі, а закінчується відривом її від снігу. Завдання фази – закінчити відштовхування палицею та лижею, забезпечити швидкість руху махової ноги наприкінці випаду і виконати відштовхування в напрямку вперед-вгору. В цій фазі відбувається відштовхування за рахунок енергійного випрямлення ноги в колінному суглобі, поштовх палицею закінчено: рука і палка – пряма лінія. Швидке випрямлення ноги сприяє потужному відштовхуванню по лінії: стегно – таз – тулуб. З відривом лівої лижі від снігу починається другий ковзний крок на правій лижі, фазова структура якого така сама.

У лижних ходах лижник збільшує швидкість за допомогою системи відштовхуючих рухів. Спочатку: згинання-розгинання ноги в тазостегновому, колінному і гомілковостопному суглобах і завершальне відштовхування стопою. Махові рухи лижника при відштовхуванні являють собою швидкісні

переміщення вільних ланок тіла, що мають напрямок в основному однаковий за напрямком відштовхування ногою від лижні (вперед і нагору).

Перша фаза кожного махового руху – розгін. Швидкість ланки при цьому збільшується до максимуму. Друга фаза – гальмування, при якій швидкість ланки знижується до зупинки маху. Протягом обох фаз центр мас ланок і ЗЦМ тіла лижника зміщуються в сторону відштовхування. Мах виконується за рахунок випрямлення рук і ніг, який збільшує переміщення їхніх центрів мас і, що важливо, має значний вплив на переміщення і прискорення ЗЦМ тіла. При прискореннях виникають сили інерції, які через ланки тіла передаються вниз. Ці сили інерції сприяють притисканню лиж до снігу, збільшенню зусиль м'язів поштовхової ноги, уповільненню випрямлення поштовхової ноги на початку відштовхування. Одночасно виконується поштовх тіла вперед, що також має значення махового руху.

Поштовх тіла вперед містить у собі: поворот таза і невелике відведення його в сторону махової ноги, в тазостегновому суглобі опорної ноги; скручування поперекового відділу хребта, коли верхня частина тулуба не змінює напрямок відносно лижні; поворот стегна махової ноги відносно таза назовні, коли лижа зберігає орієнтацію щодо лижні. Ці рухи спрямовані на прискорення ЗЦМ тіла лижника, оскільки при поштовху переміщуються значні маси тіла. Рух виконується відносно повільно, з відносно невеликою амплітудою, але при великій напрузі м'язів. Характерною рисою руху тіла служить момент його виконання – до початку випадку махової ноги.

Відштовхування цілком у попереми́нних ходах складається з відштовхування рукою, одночасного нахилу тулуба і передачі зусиль з палки на ковзну лижу. Відштовхування двома палками відразу в одночасних ходах включає відштовхування руками, а також енергійний нахил тулуба і передачу зусиль на лижі.

**Попереми́нний двокроковий хід** застосовується на рівнинних ділянках.

**Попереми́нний чотирикроковий хід** у змаганнях не використовують через низьку швидкість пересування, але він успішно застосовується в туристичних походах, коли глибокий сніг не дозволяє активно відштовхуватися ціпками. Цикл цього ходу складається з чотирьох ковзних кроків. На перші два кроки лижник по черзі виносить палки вперед, на третій і четвертий кроки робить два попереми́нних відштовхування палками.

**Одночасний однокроковий хід** застосовується на рівнинних ділянках і невеликих підйомах з гарним ковзанням, а також на старті. У кожному циклі лижник робить одне відштовхування одночасно двома палками і одне відштовхування лижею. У цьому способі велике переміщення за цикл (близько 7 м) поєднується з невисокою частотою кроків.

**Одночасний двокроковий хід** – це такий спосіб, коли одне відштовхування палками приходить на два відштовхування лижами – лівою і правою. Він економніше всіх інших лижних ходів (крім попереми́нного чотирикрокового), але не забезпечує високої швидкості.

**Одночасний безкроковий хід** застосовується на рівнинних ділянках і пологих спусках при звичайному і гарному ковзанні. Повний цикл цього ходу складається з одночасного відштовхування двома руками і наступного двохопорного ковзання на лижах.

Усі ці ходи відносяться до класичних; крім них широко використовуються більш сучасні – **конькові ходи**. Пластикові лижі і сучасні способи підготовки траси дозволяють домогтися переваги конькових ходів у порівнянні з класичними – в швидкості на 15-20 %, а при рівній швидкості – в економічності (рис 6.7).

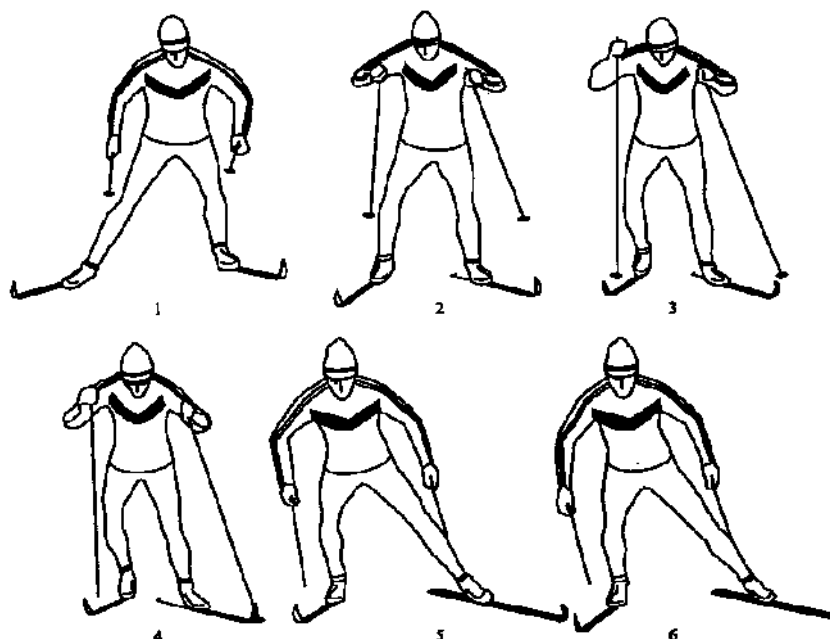


Рисунок 6.7. Одночасний однокроковий коньковий хід

**Відштовхування** в конькових лижних ходах виконується **ковзним упором** – носкові частини лиж відводяться вбік на зовні під горизонтальним кутом 20-30° і закантовуються на внутрішні ребра. В момент відштовхування лижа не зупиняється, а продовжує просування вперед.

В залежності від способу відштовхування ногами і руками розрізняють наступні **конькові ходи**:

- одночасний напівконьковий хід – застосовується на рівнині, спуску або пологому підйомі під час пересування на повороті.
- одночасний двокроковий коньковий хід – цикл цього ходу складається з двох ковзних кроків, впродовж яких лижник відштовхується обома руками одночасно.
- одночасний однокроковий коньковий хід – цикл даного ходу складається з двох ковзних кроків з одночасним відштовхуванням руками на кожний з них. Це найшвидкісний хід, який застосовують на старті й для збільшення швидкості пересування (на фініші).
- поперемінний коньковий хід – найменш швидкісний, застосовується на підйомах невеликої крутизни.

## Завдання локомоторних рухових дій

Локомоторні рухові дії мають спільне **завдання**: перемістити власне тіло з дотриманням ряду додаткових умов (стиль, траса, технічні вимоги до спорядження, командні вимоги тощо). Більшість локомоцій (переміщень власного тіла) є основою самостійних видів спорту, інші – способами пересування у спортивних іграх, одноборствах, при виконанні інших фізичних вправ (у тому числі й оздоровчого характеру). Рушійними силами тут виступають і сила тяжіння, і м'язові тяги, і рух середовища, і дія тварин, і механічна дія двигунів внутрішнього згоряння, і електропривід від сонячних батарей тощо.

Основою більшості наземних локомоцій є відштовхування від опорної поверхні. Майже у всіх випадках **відштовхування починається** з підготовчої фази – **амортизації**. Амортизація дозволяє загасити вертикальну швидкість руху додолу ЦМ тіла після фази польоту з рахунок виконання м'язами розгиначами опорних частин тіла поступальної роботи. Для ходьби також характерні циклічні вертикальні переміщення ЦМТ під час кожного кроку, і, відповідно, присутня фаза амортизації, проте вона виражена не так яскраво, як у бігу чи в стрибках після розгону. Фаза амортизації може виконуватись і руками (опорний стрибок, акробатика тощо).

Амортизацію неважко виявити за результатами оптичної реєстрації фізичної вправи: ця фаза починається з моменту контактної взаємодії амортизуючої частини (частин) тіла з опорною поверхнею, і продовжується до моменту найбільшого згинання вказаної частини (частин) тіла в колінних (або ліктьових) суглобах. Спочатку величина реакції опори невелика, але вона швидко досягає значної величини і може у декілька разів перевищувати вагу тіла в спокої (рис.6.8).

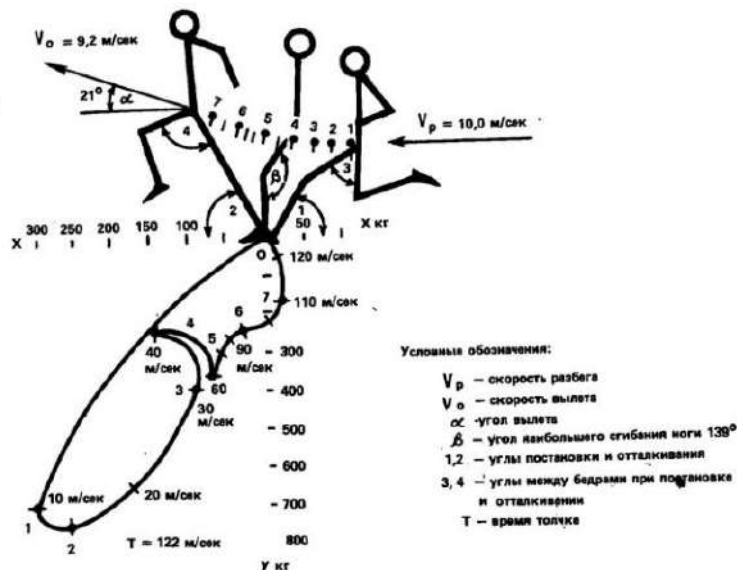


Рисунок 6.8. Механізм відштовхування

Це стосується не лише приземлення після польоту, а й стрибка з місця та початку ходьби: для виконання відштовхування людина спочатку підгинає

ноги, «кидаючи» ЦМТ додолу, а потім гальмує цей рух центра мас і починає його розгін вгору.

### Біомеханічні особливості стартових дій

Стартові дії у різних видах спорту істотно відрізняються, тому можна виділити лише декілька їх спільних ознак, які дозволять більш повно вивчити цей елемент змагальної діяльності (у спринтерських видах успішний старт визначає до 35–40 % спортивного результату):

- а) стартова поза (стартове положення);
- б) стартові рухи;
- в) стартовий розгін.

**Стартова поза** визначається видом спорту і правилами змагань, проте має багато індивідуальних особливостей. Найважливіше завдання стартового положення – забезпечити найефективніше використання потенційних можливостей людини для швидкого розгону ЦМТ у напрямку руху. Тому при можливості використання засобів проти буксування (наприклад, легкоатлетичних шипів), кут нахилу атлета на старті значно більший, ніж в інших випадках, адже реакція опори за рахунок випрямляючого моменту відносно центра мас може перекинути тіло назад. Велосипедисти і веслярі приймають позу, що дозволяє уникнути пробуксування між спортивним приладом та опорою, і вибирають оптимальне співвідношення між кутами в суглобах для найповнішого використання індивідуальних особливостей будови власного тіла при наступних рухових діях.

**Стартові рухи** – це рухи зі стартового положення, що забезпечують нарощування швидкості і перехід до наступного стартового розгону (рис. 6.9).

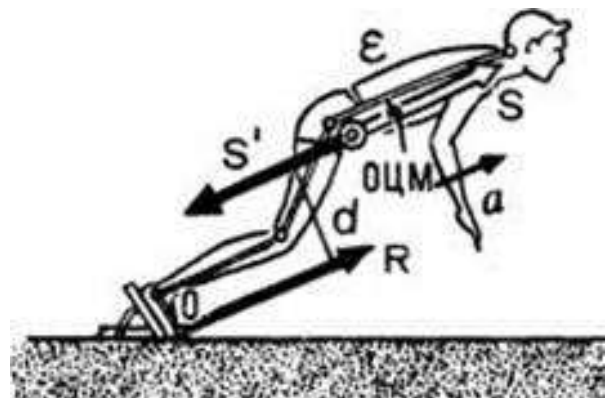


Рисунок 6.9. Біомеханіка стартових дій

При старті ЗЦМ тіла має прискорення, обумовлене м'язовими зусиллями, спрямованими в протилежні сторони: уперед-прискорюють рухливі ланки, назад – притискають опорні ланки до опори. Такі специфічні дії, які лише віддалено (за зовнішньою картиною) нагадують рухові дії на дистанції. Вони істотно відрізняються в першу чергу за частотою (яка від нуля наростає до максимально можливої), величиною максимальних і середніх зусиль (які у

кілька разів більші, ніж на дистанції) та їх розподілом в циклі, значними переміщеннями у боковій площині, викликаними неможливістю зберегти рівновагу внаслідок дуже великих зусиль відштовхування.

**Стартовий розгін** дозволяє досягнути швидкості, необхідної для руху по дистанції. У спринтерських видах ця швидкість наростає до максимальної, а далі поступово падає, у зв'язку з чим розгін в спринті триває довше і займає значно більшу частину дистанції, ніж наприклад у стайерських видах. При стартовому розгоні відбувається зміна системи рухів, цикл за циклом наближаючись від стартових дій до нормального стилю долаття дистанції. У більшості випадків – це збільшення довжини і зменшення частоти кроків, піднімання тулуба до нормального положення тощо.

Раціональна техніка стартового розгону характеризується: значним нахилом тулуба вперед на початку розгону і поступовим випрямленням під кінець; повним випрямленням ноги в колінному суглобі під час відштовхування; енергійним переміщенням стегна махової ноги нагору з подальшим рухом назад; швидкими й активними рухами зігнутих рук з акцентованим рухом назад; плавним переходом від стартового розгону до бігу по дистанції.

Приблизно з 5-7 кроку в міру випрямлення корпусу і постановки стопи перед проекції ЗЦМ тіла на опору починає з'являтися фаза гальмування з неминучими утратами швидкості і зовнішньої енергії. Вертикальні коливання ЗЦМ при біговому кроці рівні 18-20 см.

### Динаміка циклічних локомоцій

**Динаміка ходьби і бігу.** Людина – це саморухлива система. Причиною її руху є **внутрішні сили**, що створюються м'язами і вони прикладені до рухливих ланок тіла. До внутрішніх сил відносяться також і сили інерції, прикладені до центрів мас, які розганяють тіло, і ланки тіла, що гальмуються. Як відомо: **сила інерції** (Гін.) дорівнює добутку маси всього тіла або окремої ланки тіла на його прискорення і спрямована убік, протилежний прискоренню. Тому сила інерції затримує і розгін, і гальмування.

$$F_{in} = m a ;$$

Крім внутрішніх сил, на людину під час ходьби і бігу діють **зовнішні сили** (рис. 6.10). До них відносяться:

- **сила тяжіння** (гравітаційна сила) прикладена до центру мас і дорівнює добутку маси тіла на прискорення вільного падіння:  $G = mg$ ;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$
- **сила лобової протидії повітря** прикладена до центру поверхні тіла. Вона збільшується пропорційно квадрату швидкості повітря;



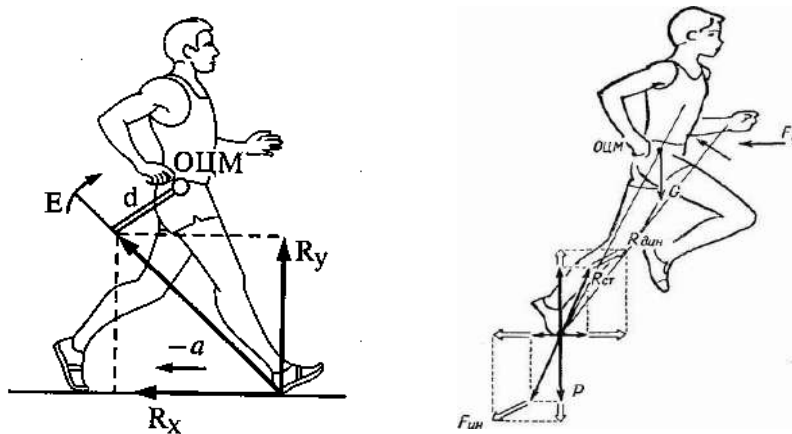


Рисунок 6.10. Динаміка ходьби і бігу

- **сила реакції опори, що** не є рушійною силою, але її вимірюють для того, щоб визначити результат спільної дії всіх сил (і внутрішніх, і зовнішніх). Відштовхуючись від опори, людина впливає на неї із силою відштовхування, що містить дві величин: статичну – вага (постійну і рівну силі тяжіння) і динамічну. Динамічний компонент виявляється тільки при рухах, які виконуються із прискоренням, коли все тіло або його окремі ланки розганяються чи гальмуються (особливо при підтягуваннях, присіданнях).

На величину сили реакції опори впливають властивості доріжки і матеріал, з якого виготовлене взуття. М'яке покриття доріжки і взуття з амортизаторами роблять техніку ходьби і бігу більш комфортальною (зменшується тиск на суглоби і міжхребетні диски).

Динамограма ходьби та бігу (рис. 6.11) має складну форму, тому що динамічний компонент сили, що діє на опору, залежить ще від різноспрямованих сил інерції багатьох сегментів тіла. Кожна з них прикладена до центру мас сегмента, який або прискорюється, або гальмується, і передається через опорну ногу на опору.

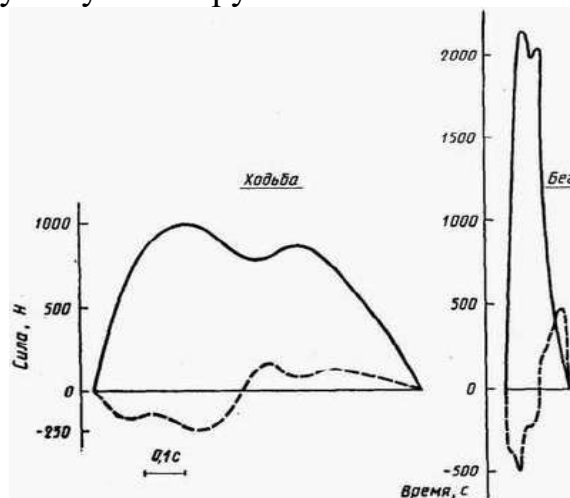


Рисунок 6.11. Динамограма ходьби і бігу

Такі сили інерції виникають під час наступних рухів:

- при махових рухах (під час відштовхування правою, махові рухи лівою ногою збільшують силу дії правої на опору на 50%, махові рухи рук – на 20%);
- під час згинання і розгинання опорної ноги (на початку фази амортизації згинання опорної ноги призводить до виникнення сили інерції, яка зменшує силу дії на опору).

В підсумку сили дії ніг на опору відображають всю сукупність внутрішніх і зовнішніх сил, що діють на тіло людини. А сила реакції опори рівна за величиною силі дій на опору, але протилежно спрямована. Вони мають дві складові: вертикальну і горизонтальну, які змінюються.

### Сили, що діють на лижника при пересуванні

Пересуваючись по лижні, лижник відштовхується за допомогою лиж і палок. При цьому на лижника – діють ті ж сили, що і на бігуна. Це – *сила тяжіння, сила інерції, сила протидії повітря і, сила тертя ковзання* (рис.6.12).

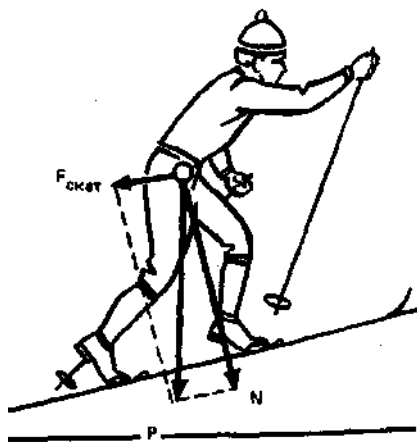


Рисунок 6.12. Динаміка ходьби на лижах

**Сила тертя** ковзання виникає при зіткненні лижі зі снігом і залежить від сили нормального тиску та завжди спрямована в сторону протилежну ковзанню. Якщо лижник ковзає по горизонтальній лижні, то сила тертя  $F$  лиж по снігу прямо пропорційна нормальній складові (перпендикулярній до лижні) сили тиску  $N$  лиж на сніг:

$$F = k N.$$

Коефіцієнт пропорційності  $k$  між силою тертя і силою нормального тиску (коефіцієнт тертя ковзання) – величина для даних умов постійна. Він показує, у скільки разів сила тертя менше нормальній складовій сили тиску на сніг. При постійному коефіцієнті тертя величина сили тертя залежить від сили тиску на сніг. Сила тертя не залежить від площі поверхні ковзання, відповідно до закону тертя для незмінних поверхонь. Але цей закон застосовується для лиж у дуже вузьких межах, тому що поверхня лижі занадто мала. При взаємодії лиж із

снігом виникає *динамічна сила* тертя, що сповільнює ковзання, і *статична сила* тертя, що утримує лижу нерухомо на місці при відштовхуванні нею.

*Коефіцієнт тертя* ковзання залежить від багатьох умов. Для лиж це якість лижні (щільна, пухка), стан снігу (вологість, будова снігу), температура навколишнього середовища (мороз, відлига) і ін. Чим менше коефіцієнт тертя ковзання, тим довше крок і вище швидкість лижника при тих самих енерговитратах. Для зменшення коефіцієнта тертя ковзання використовуються лижні мазі. Їх вибір залежить від зовнішніх умов (температура і вологість повітря, стан лижні) і матеріалу, з якого зроблені лижі. При правильному підборі лижної мазі коефіцієнт тертя ковзання можна знизити до 0,02-0,04.

У лижних ходах після чергового вільного ковзання, швидкість постійно падає через силу тертя лиж по снігу і сили протидії повітря. Тому лижник знову збільшує швидкість, завдяки відштовхуванню лижами і палками від снігу, у сполученні з маховими рухами рук і ніг (до відштовхування рукою і ногою приєднані махи рукою і ногою) і поштовхом тіла вперед (поворот таза вперед і ривок тулуба вперед).

### Види рекуперації енергії та енерговитрати під час циклічних локомоцій

*Механічна енергія при ходьбі і бігу* визначається швидкостями руху тіла і його ланок та їх розташуванням, тобто кінетичною і потенціальною енергією. При ходьбі і бігу людина витрачає енергію не тільки на горизонтальні, але і на вертикальні і поперечні переміщення загального центру мас (рис. 6.13).

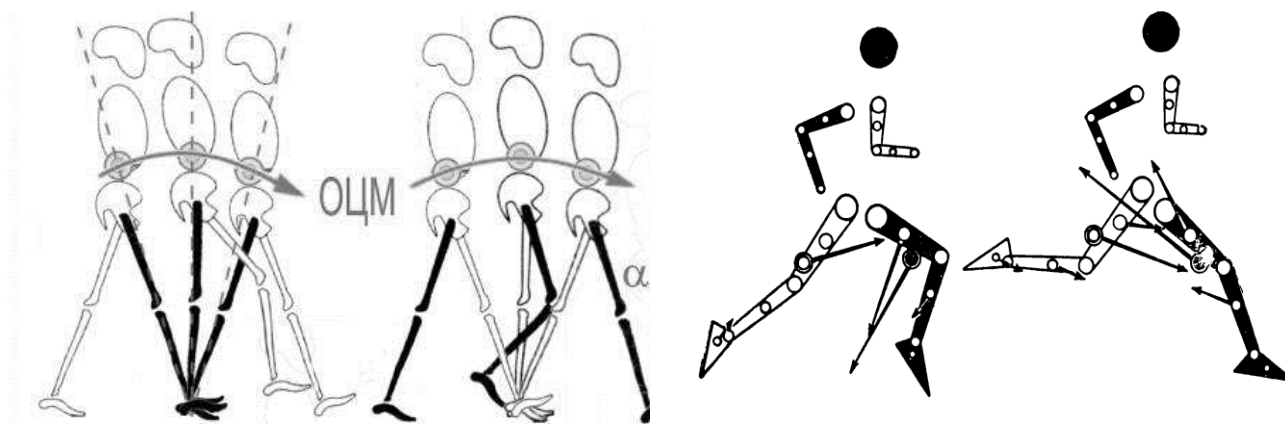


Рисунок 6.13. Енерговитрати під час ходьби і бігу

Величина кінетичної і потенціальної енергії тіла постійно змінюється. Характер цих змін або вид рекуперації енергії при ходьбі і бігу принципово різний.

Кінетична і потенціальна енергія при ходьбі змінюється в протифазі. У момент постановки ноги на опору максимум кінетичної енергії збігається з мінімумом потенціальної. Таким чином, при ходьбі відбувається *рекуперація*

енергії, тобто її збереження шляхом переходу кінетичної енергії в потенціальну енергію гравітації і назад. При бігу цей вид рекуперації відсутній.

При бігу – кінетична енергія переходить у потенціальну синфазно. У вищій точці польоту максимум кінетичної енергії збігається з максимумом потенціальної. Тобто, при бігу виражений інший вид рекуперації, коли кінетична енергія переходить у потенціальну енергію м'язів, що скорочуються, і діють подібно пружині.

Енерговитрати на 1 метр шляху при *ходьбі менше*, ніж при бігу, але тільки при низьких швидкостях пересування. При високих швидкостях біг, навпаки, більш економічний, ніж ходьба. Зона, де більш вигідним стає біг, відділена від зони, де більш вигідна ходьба, *граничною швидкістю*. Гранична швидкість визначається **числом Фруда ( $\Phi$ )**, яке визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{v^2}{gL}$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння (м/с<sup>2</sup>),

$v$  – швидкість пересування людини (м/с),

$L$  – висота загального центру мас тіла в основній стойці (м).

Якщо число Фруда менше одиниці ( $\Phi \leq 1$ ), то вигіднішою є ходьба, а при  $\Phi \geq 1$  вигідніший біг.

Енергетичні витрати при ходьбі та бігу залежать від багатьох факторів, у тому числі від сполучення довжини і частоти кроків. При занадто коротких або надмірно довгих кроках (що відповідає недостатній чи надмірній силі відштовхування) енерговитрати на 1 метр шляху вище, ніж при оптимальному сполученні довжини і частоти кроків.

### Енергетичні витрати при пересуванні лижника

При пересуванні на лижах загальний тиск складається з маси тіла лижника і дії інерційних сил ланок тіла, які віддаляються від опори при відштовхуванні. Робота м'язів лижника спрямована на підтримку і прискорення маси тіла. Сили дії лижі і палок на сніг збільшуються в міру збільшення швидкості і крутості підйому. Крім цього величина сил відштовхування залежить від спортивної кваліфікації лижника. Сила тертя гальмує рух і завжди спрямована у сторону протилежну руху. Якщо лижник сковзає за інерцією, то в залежності від його швидкості змінюється *кінетична енергія* руху. В момент руху ця енергія витрачається на роботу з подоланням сили тертя.

При взаємодії лиж із снігом виникає **динамічна сила** тертя, що сповільнює ковзання, і **статична сила** тертя, що утримує лижу нерухомо на місці при відштовхуванні нею.

**Енергетичні витрати при пересуванні лижника** залежать від довжини дистанції та рельєфу місцевості (рис. 6.14).

За тривалістю роботи гонки на лижах відносять до зони помірної – (15-70 км і більш) і великої (5 і 10 км) відносної потужності. Але через різку пересіченість сучасних трас – лижні гонки вірніше вважати як роботу перемінної потужності.

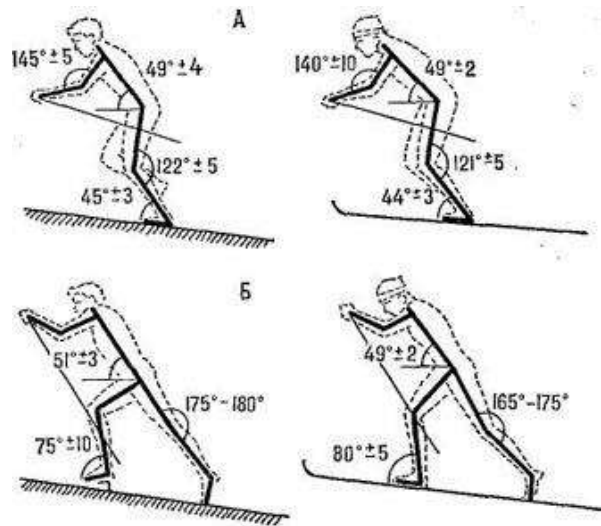


Рисунок 6.14. Залежність енерговитрат від рельєфу

Ходьба на лижах є ефективним розвиваючим і оздоровчим видом рухової діяльності. При ходьбі на лижах працюють практично всі м'язові групи і системи організму – функціонують серце, кровообіг, дихальна система. Фізичне навантаження легко дозується за обсягом й інтенсивністю. Характерними рисами сучасної техніки вважаються прагнення зменшити тертя лижі об сніг завершеним відштовхуванням лижею («на зліт») і опорою на палки, а також високий темп кроків. У добре підготовлених лижників темп кроків досягає 110-120 кроків за хвилину. З підвищенням швидкості ходу змінюється ритм ковзного кроку: відносно скорочується час відштовхування лижею, підсідання і випрямлення поштовхової ноги виконуються швидше.

### Оптимізація рухової діяльності в циклічних локомоціях

Для оптимізації ходьби і бігу насамперед необхідно знизити до мінімуму непродуктивні енерговитрати. Це важливо, коли критерієм оптимальності служить економічність і в тому випадку, коли основною метою є підвищення спортивного результату.

Основні **задачі оптимізації** ходьби і бігу:

- ◆ вибір оптимальної швидкості, довжини кроку і темпу (залежать від віку, статі, стану здоров'я, спортивної кваліфікації, ступеня стомлення, тренуваності, якості взуття);
- ◆ зниження вертикальних і поперечних коливань загального центру мас. У ходьбі і бігу корисною роботою є тільки горизонтальна зовнішня робота. Вертикальні і поперечні переміщення тіла відносяться до непродуктивних рухів. Але, при повному усуненні вертикальних коливань їхня енергетична вартість зростає, тому що рухи стають скованими і губиться та частина енергії, що при природній техніці рухів рекуперується (зберігається). Існує оптимальна величина розмаху вертикальних коливань ЗЦМ при якій енерговитрати мінімальні (рис. 6.15);
- ◆ для усунення непродуктивних переміщень тіла доцільно використовувати

повороти тазу (рис. 6.15). Повороти тазу не тільки зменшують вертикальні і бічні коливання тіла, але також подовжують крок і прискорюють постановку стопи на опору.

Разом з оптимальною швидкістю важливого значення набуває зона економічних режимів пересування.

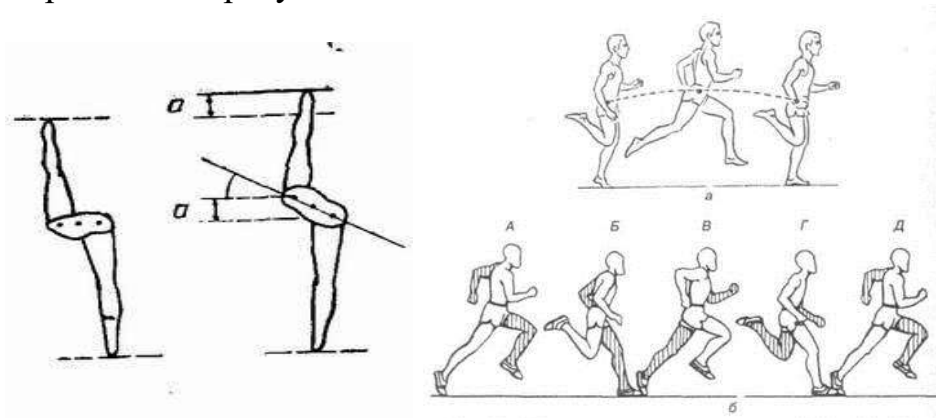


Рисунок 6.15. Оптимізація ходьби і бігу

**Зона економічних режимів** – це діапазон швидкостей від оптимальної (найбільш економічної) до порогової, яка відповідає рівню анаеробного порогу (така інтенсивність навантаження, при якій значно підвищується анаеробний метаболізм і настає накопичення лактату в крові).

Зменшення швидкості ходьби і бігу у порівнянні з оптимальною є нераціональним, тому що призводить до збільшення енергетичної вартості метру шляху. Біг зі швидкістю вище порогової викликає накопичення в організмі молочної кислоти та інших продуктів метаболізму, що призводить до сильного стомлення. Пересування з найбільш економічною швидкістю використовується в якості підтримуючого навантаження для хворих та послаблених людей. А порогова інтенсивність бігу в спорті є оптимальною для розвитку витривалості.

***Під оптимальними режимами в лижних гонках розуміють:***

- оптимальний спосіб пересування, який обирається відповідно профілю траси, фізичним та технічним можливостям лижника, а також стану снігового покриву;
- оптимальну динаміку (розкладку) дистанційної швидкості, яка залежить від рівня змагань та конкретних цілей лижника, від суперників та стартової позиції на трасі, а також спортивної форми спортсмена та ступеня його втоми на дистанції;
- оптимальне сполучення довжини і частоти кроків (рис. 6.16).

При зниженні фізичної працездатності людини, при ускладненні умов пересування на лижах (збільшення крутизни підйому, коефіцієнта тертя ковзання) оптимальна швидкість і довжина кроку зменшуються, а оптимальний темп збільшується. Співвідношення довжини і частоти кроків відіграє важливу роль у техніці пересування на лижах. Довжина кроку залежить від сили і тривалості відштовхування. Вона варіює від 1,5 до 3,5 метрів. Частота кроків

залежить від того, як довго сковзає лижник протягом одного кроку.

Для одержання високої швидкості необхідно домагатися досить великої довжини кроків при досить високій їх частоті. Особливості зміни довжини і частоти кроків при підвищенні швидкості пересування дозволяють відмітити, що існують визначені швидкості, при яких спостерігається максимальна довжина ковзного кроку. Пересування з оптимальним темпом характеризується максимальними величинами горизонтальних і вертикальних складових зусиль при відштовхуванні ногою і рукою, а також дозволяє більш ощадливо підтримувати швидкість.

При вільному ковзанні, щоб менше втрачати швидкість пересування, не можна робити рухи з прискореннями ланок, спрямованими вгору. Це викликає сили інерції, спрямовані вниз, які притискають лижи до снігу і збільшують тертя. При уповільненні рухів рук вгору і переносної ноги (після попереднього відштовхування лижею («на зліт»)), тиск на лижу і сила тертя зменшується.

На досить довгих схилах протидія повітря обумовлює межу максимальної швидкості. При таких спусках, перед лижником виникають наступні **завдання**:

- ◆ утриматися в стійкому положенні;
- ◆ досягти великої швидкості.

Стійкість тіла лижника залежить від площі опори і висоти розташування загального центру мас (ЗЦМ). Швидкість лижника при спуску залежить від висоти стійки (площі поперечного перетину тіла) і пози (обтічності). Недоцільно занадто сильно згинати ноги, тому що велика напруга м'язів заважає амортизації. З огляду на все це – найбільш оптимальними при спуску є: середня стійка і стійка відпочинку, з одночасним безкроковим або однокроковим ходом. У середній стійці з невеликим висунанням однієї лижі мається достатня стійкість у всіх напрямках, запас можливостей для амортизації на нерівності, невеликий опір повітря, помірна напруга м'язів. Стійка відпочинку застосовується на більш довгих спусках.

## ТЕМА 7

### БІОМЕХАНІКА ЛОКОМОЦІЙ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗМІСТ

1. Загальні закономірності локомоцій у воді, плавучість тіла.
2. Кінематика плавання, різні види плавання.
3. Динаміка плавання.
4. Топографія м'язів та енерговитрати в плаванні.
5. Шляхи оптимізації техніки і тактики плавання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
2. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
3. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Метод. посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
4. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
5. Крук М.З., Биканов С.Р., Крук А.З. Теорія і методика викладання плавання: Навчально-методичні матеріали для студентів факультету фізичного виховання і спорту. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2010. 108 с.
6. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
7. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
8. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 154с.
9. [https://sport.sfedu.ru/smiming\\_book\\_online/modul\\_2.html](https://sport.sfedu.ru/smiming_book_online/modul_2.html) Чертов Н.В. Плавание. Электронный учебник.
10. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
11. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
12. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

#### Загальні закономірності локомоцій у воді, плавучість тіла

Одним з видів фізичних вправ, які гармонійно впливають на організм людини завдяки водяному середовищу – є плавання. Під час плавання людина знаходиться в горизонтальному положенні в стані невагомості, що дозволяє розвантажити хребет, розслабити багато м'язів і відчувати легкість рухів. Плавання відноситься до циклічних локомоцій, здійснюваних за принципом відштовхування від рідкого середовища. Плавання є важливою частиною рухової культури людини. Ще в Древній Греції про некультурну людину говорили: «Він не вмів ні плавати, ні читати».

Під **вмінням плавати** розуміють можливість утримання статичного або динамічного безопорного положення у водному середовищі протягом визначеного часу. При цьому рівень плавального вміння плавця визначається



раціональністю рухів (їхньою технікою), швидкістю пересування у воді, довжиною дистанції, якістю дихання.

На жаль, багато людей не вміють плавати і бояться води. Але за законами фізики здорова людина в теплій і спокійній воді потонути не може. Тому, що на тіло людини, що нерухомо лежить у воді, діють дві сили: сила ваги і виштовхувальна (Архимедова) сила, яка рівна вазі витиснутої тілом води. Крім цього тіло людини на 80% складається з води, і в легенях міститься кілька літрів повітря – тому ці дві сили (сила ваги і Архимедова сила) приблизно однакові (рис. 7.1).

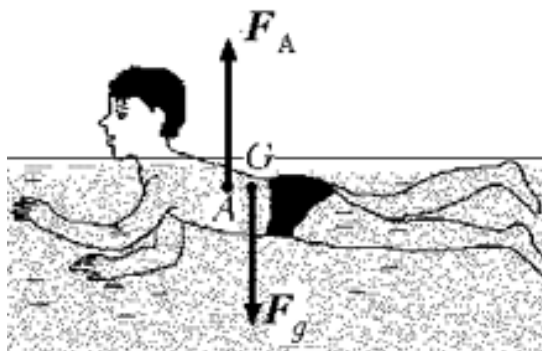


Рисунок 7.1. Плавучість тіла (за законом Архімеда)

Змінюючи об'єм повітря в легенях, людина може регулювати величину відштовхувальної сили і тим самим змінювати плавучість тіла. Під **плавучістю тіла** розуміють його властивість триматися на поверхні води. Основною умовою плавучості тіла є положення, що виштовхувальна сила повинна бути не менше сили тяжіння, що діє на тіло.

Із закону Архімеда можна вивести, що тіла, які мають щільність меншу, ніж щільність рідини, будуть в ній плавати (позитивна плавучість). Інші – тонути (негативна плавучість). У разі рівного розподілу щільності спостерігається нульова плавучість: тіло повністю занурене в рідину, але не тоне. Розрізняють **позитивну, негативну і нейтральну плавучість**. Плавучість тіла людини залежить від віку, статі, об'єму легень, тілобудови, щільності середовища. Найкраща плавучість спостерігається у дітей, жінок і повних людей.

При  $+4^{\circ}\text{C}$  вода має найбільшу щільність, рівну  $1000\text{ кг/м}^3$ . При більш низькій і більш високій температурі щільність води трохи менше. Щільність тіла людини порівнянна з щільністю води, що створює умови для його можливості безперешкодно триматися на поверхні.

У процесі дихання щільність тіла змінюється. Питома вага тіла на вдиху в плавців-чоловіків у середньому дорівнює  $0,98\text{ г}\cdot\text{см}^3$ , а в жінок –  $0,96\text{ г}\cdot\text{см}^3$  (що пояснюється, ймовірно, великим обсягом жирової тканини в тілі жінок). На видиху середні величини питомої ваги більше: у чоловіків  $1,06\text{ г}\cdot\text{см}^3$  і в жінок  $1,04\text{ г}\cdot\text{см}^3$ . Нагадаємо, що питома вага прісної води складає  $1,00\text{ г}\cdot\text{см}^3$  і що занурене у воду тіло може потонути тільки в тому випадку, якщо його питома

вага більше питомої ваги води. При вдиху легше триматися на поверхні води, при видиху легше пірнати, занурюватися.

У людини, яка пливе, плавучість вище, ніж у нерухомої. Наприклад, при русі у воді плоского тіла таким чином, коли передня його частина розташована трохи вище задньої, виникає піднімальна сила, що спрямована вгору. При цьому, величина піднімальної сили збільшується зі швидкістю (рис. 7.2). Саме цьому явищу зобов'язаний своїм існуванням воднолижний спорт.

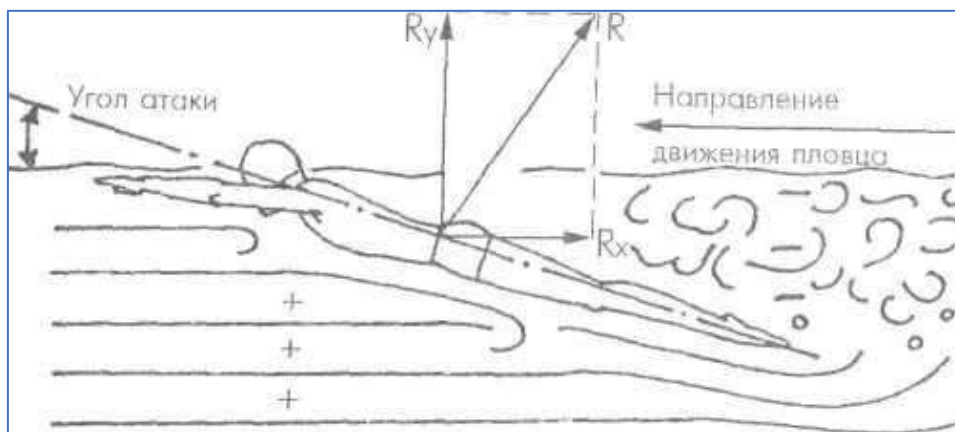


Рисунок 7.2. Плавучість тіла у людини, яка пливе

### Кінематика плавання, різні види плавання

Існують різні класифікації плавання, наприклад, за *способом перебування* у водяному середовищі плавання поділяється на пасивне і активне.

**Пасивне плавання** – це спосіб утримання тіла на поверхні води без застосування активних рухових дій. Як правило, пасивне плавання супроводжується затримкою подиху для додання більшої плавучості тілу. Пасивне плавання може здійснюватися як у статичному, так і в динамічному стані, при цьому плавець тільки сковзаючи у воді (без допомоги рухів рук і ударів ногами) може подолати дистанцію довжиною близько 15 – 18 метрів.

**Активне плавання** – це такий вид рухової діяльності, під час якої людина, повністю або частково занурена у воду, за допомогою м'язових зусиль рук, ніг і тулуба долає сили, що діють на її тіло і активно пересувається у водяному середовищі. Активне плавання завжди супроводжується спеціальними дихальними вправами.

*Активне плавання* поділяється на: спортивне, оздоровче, ігрове, пізнавальне (аматорське), професійне, прикладне.

**Спортивне плавання** характеризується наявністю постійних тренувань і змагань, що проводяться в басейнах стандартних розмірів (25 і 50 м), на дистанціях від 50 до 1500 метрів, а також у відкритих водоймах на довгі дистанції. До водних видів спорту відноситься *власне плавання, синхронне плавання, водне поло і стрибки у воду.*

Існує багато способів спортивного плавання: **кріль, брас, батерфляй, кріль на спині, на боці.** З них кріль вважається найшвидшим, брас – самим легким. Кінематика цих способів істотно розрізняється: наприклад, при

плаванні кролем повний цикл складається з гребків, що чергуються, правою і лівою руками і визначеною кількістю ударів ногами. По кількості цих ударів розрізняють двох і шестиударний варіанти техніки. У шестиударному кролі на повний цикл рухів руками приходиться – шість ударів ногами, у двоухударному, тільки два удари – по одному кожною ногою. Шестиударний кроль застосовується на спринтерських дистанціях, двоухударний – на стайерських. Навчати дітей рекомендується з вивчення шестиударного варіанта.

На відміну від наземних переміщень, де опора нерухома і залишається на місці, при плаванні об'єми води, від яких відштовхується плавець (як і в гребку) відкидаються назад. У різних фазах гребка умови взаємодії плавця з водою різні.

### Основні фази при плаванні способом кроль:

У гребку розрізняють підготовчий і робочий періоди (рис. 7.3). **Підготовчий період** у плаванні способом кроль на грудях включає фазу руху руки над водою і фазу занурення її у воду. **Фаза руху руки над водою** починається з моменту виносу кисті плавця з води і закінчується в момент опускання її у воду для чергового гребка. Фаза занурення кисті у воду має граничні моменти: від занурення кисті до початку активної взаємодії руки з водою.

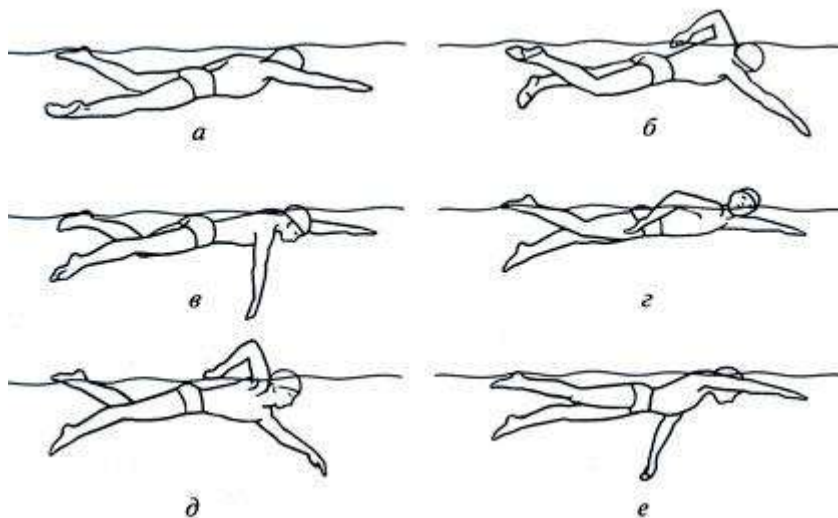


Рисунок 7.3. Кінематика плавання кролем на грудях

**Робочий період** має три фази: розгінну, основну і завершальну.

Перша фаза робочого періоду – **розгінна фаза**, вона характеризується наростанням швидкості руху руки. У цій фазі рука переміщається щодо горизонталі від 10-15° до 40-50°. Граничним моментом закінчення цієї фази служить момент переходу руху кисті із сагітальної площини у фронтальну при згинанні руки в ліктьовому суглобі.

В **основній фазі** робочого періоду швидкість руки знижується, а потім збільшується в другій половині гребка. У цій фазі створюються основні сили, що просувають плавця вперед. Швидкість плавання при цьому зростає до

максимуму. Основній фазі відповідає положення руки від 45-50° до переходу руки за вертикаль.

**Завершальна фаза** починається з моменту руху ліктя нагору і закінчується виходом кисті з води. Вона характеризується зниженням швидкості руху кисті щодо води. Це зв'язано з переміщенням руки за вертикаль і переходом на ковзні кути атаки. Плавці зі слабкою підготовленістю виконують більш часті гребкові рухи з невеликим розмахом, підтримуючи тим самим відносно високу швидкість гребка. Плавці з гарною підготовленістю розвивають ту ж швидкість руки у воді на більш тривалій відстані за рахунок швидкого згинання руки в ліктьовому суглобі. При виконанні гребкового руху активне випрямлення ніг починається в тазостегнових суглобах, а потім у колінних і суглобах стопи. Гребкові рухи ніг супроводжуються активним поворотом стегна назовні (супінацією) і додають руху гомілки захлестуючого характеру.

Аналіз динаміки внутріциклової швидкості гребкового циклу дозволяє виділити три фази циклу:

- **фазу прискорення**, протягом якої завдяки активним гребковим рухам руками і ногами швидкість просування плавця збільшується і досягає максимуму;
- **фазу уповільнення** швидкості, протягом якої падає ефективність гребкових рухів і відбуваються підготовчі рухи руками до наступного гребка;
- **фазу відносної стабілізації** швидкості, яка може бути зовсім відсутньою чи в період її виконання можуть спостерігатися мінімальні зміни як у бік збільшення, так і у бік зменшення швидкості.

#### Основні фази при плаванні способом брас :

**I фаза** – початок розгинання у колінних суглобах – з вихідного положення для гребка з зігнутими і розведеними ногами плавець робить сильний удар ногами назад, випрямляючи їх у колінних суглобах. **Завдання** – підвищити швидкість (рис. 7.4);

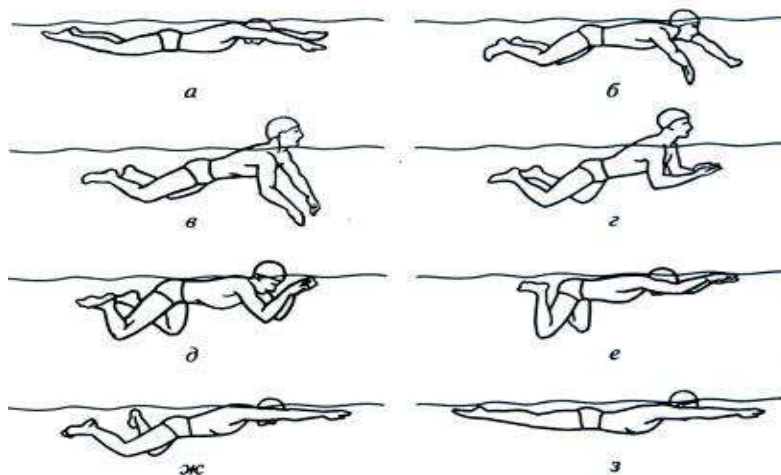


Рисунок 7.4. Кінематика плавання брасом

**II фаза** – момент випрямлення ніг у колінних суглобах – після закінчення удару ногами відбувається пасивне ковзання у воді при витягнутому положенні тіла, руки протягом цієї фази витягнуті вперед. **Завдання** – якомога більше підняти швидкість;

**III фаза** – закінчення руху кистей назад – не допускаючи значної утрати швидкості, плавець починає розводити кисті рук у сторони, поступово згинаючи руки в ліктьових суглобах і, опускаючи їх униз. **Завдання** – мінімізувати падіння швидкості;

**IV фаза** – початок розгинання рук у ліктьових суглобах. **Завдання** – якнайменше втратити швидкість.

Видих виконується в II фазі і на початку III фази, а вдих – наприкінці III фази і на початку IV фази. З кінця IV фази до початку II фази — затримка дихання. У фазах 1 і 2 плавець прагне збільшити швидкість, у фазі III – менше втратити в швидкості, додаючи обтічну форму тілу.

### Динаміка плавання

Усі способи плавання засновані на взаємодії плавця з водою, при якому створюються сили, що просувають його у воді і утримують на її поверхні. Специфічні особливості біомеханіки плавання зв'язані з тим, що сили, які гальмують просування, значні, змінні і діють безупинно. У плавця немає постійної опори для відштовхування вперед, вона створюється під час гребкових рухів. Крім того, у воді тіло людини знаходиться під дією декількох сил, що, додаються і забезпечують його плавучість у нерухомому стані і просування вперед при плаванні (рис. 7.5).

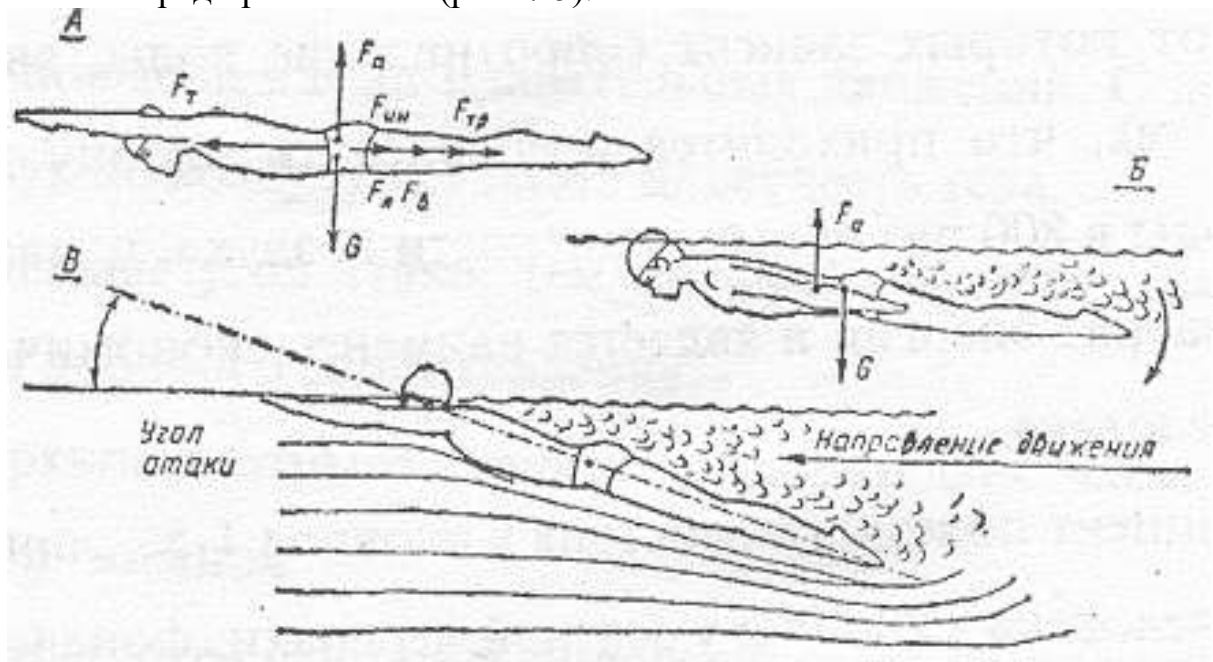


Рисунок 7.5. Динаміка плавання

## I. ВЕРТИКАЛЬНО-СПРЯМОВАНІ СИЛИ

◆ Сила тяжіння  $G = m g$ ,

де  $m$  – маса тіла, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

◆ Виштовхуюча (Архімедова сила)  $F = Q \rho$ ,

де  $Q$  – об'єм витисненої рідини, см<sup>3</sup>,  $\rho$  – густина рідини, г/см<sup>3</sup>.

Коли плавець знаходиться в нерухомому стані у воді, на його діє занурювальна сила – сила тяжіння, яка спрямована вниз. А також, виштовхуюча (Архімедова) сила, що обумовлена різницею тисків води на нижню і верхню поверхні зануреного тіла і прикладена до центру об'єму всього тіла плавця.

Сила тяжіння прикладена до загального центру мас тіла людини. Центр об'єму тіла, як правило, не збігається із загальним центром мас, тому, коли плавець лежить нерухомо у воді, виникає обертаючий момент і ноги починають опускатися. При більш глибокому і повному зануренні відштовхуюча сила росте, а в міру піднімання над водою частин тіла (рух руки по повітрю перед гребком) зменшується. Тіло плавця у воді урівноважено, коли занурювальна і відштовхуюча сили рівні по величині, й їхня дія спрямована по одній лінії.

◆ Піднімальна сила

виникає при обтіканні тіла потоком води. Вона пропорційна площі горизонтального перетину тіла і швидкості потоку, що набігає, і залежить від кута атаки (рис. 7.5).

## II. ГОРИЗОНТАЛЬНО-СПРЯМОВАНІ СИЛИ:

◆ *Просуваюча сила (або сила тяги)* виникає в результаті дій руками і ногами.

Оскільки просуваюча сила, залежить від руху ланок тіла стосовно води, поступальний рух плавця уперед викликає тільки ті складові цієї сили, що паралельні поверхні води і спрямовані вперед. Сила гребкових рухів залежить від факторів, обумовлених функціональними особливостями м'язів и опорно-рухового апарату. Величина сили тяги рук плавця зазвичай знаходиться в межах 16-18 кг, а сила тяги ніг при плаванні кролем - 10-12 кг. Час прикладання сил у плавця становить 0,3-0,5 сек.

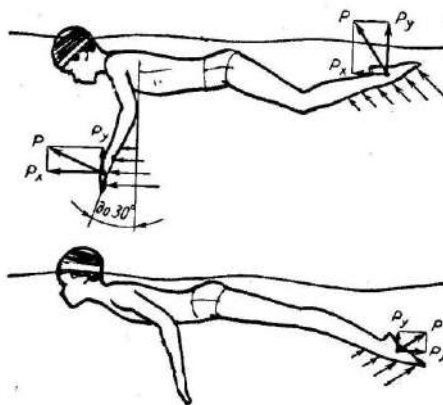


Рисунок 7.6. Дія сили тяги м'язів рук і ніг плавця

- ◆ **Сила лобової протидії води.** При просуванні плавця, опір рідкого середовища збільшується пропорційно квадрату швидкості – тому доцільна більш рівномірною швидкістю. При активному плаванні через рухи головою, тулубом і кінцівками лобовий опір більше: при плаванні кролем приблизно в 1,5 рази, а при брасі – в 2 рази. Сили лобового опору домінують, особливо на вирішальних ділянках грибкових траєкторій в способах плавання кроль на грудях, кроль на спині і батерфляй. Величина сил лобового опору, що створюється на грибкових площинах (кисть і передпліччя), значно перевищує величину підйомної сили.
- ◆ **Сила протидії вихрестворення** залежить від форми і характеру поверхні тіла. У тих місцях, де струмені води відриваються від поверхні тіла, утворюються завихрення і за законом Бернуллі тиск знижується. Через різницю тисків виникає сила, що якби відсмоктує тіло назад. Це і є сила протидії вихрестворення. Незначні зміни положення тіла, що не збільшують або майже не збільшують мідель тіла, можуть погіршити його обтічність. Під час ковзання опускання голови плавця вниз збільшує опір на 8-12%, а відхилення її від оптимального положення доверху – на 10-20%.
- ◆ **Сила тертя об воду** ( $F_{\text{тер.}}$ ) залежить від кількості пор і складок шкіри, волосся на шкірі, крім цього, пухкий або ворсистий матеріал костюма плавця збільшує протидію. Залежність опору тертя від швидкості плавання носить лінійний характер. Вважається, що при швидкості плавання 1-2 м/сек частка опору тертя від сумарної величини гідродинамічного опору становить приблизно 15-20%. У турбулентному прикордонному шарі вода, що контактує з тілом або тканиною костюма, закручується в мікроскопічні вихори, тертя підвищується і забирає корисну енергію від рухомого тіла. Зниження турбулентності в прикордонному потоці може привести до зниження загального опору.
- ◆ **Сила протидії хвилестворення** створюється лобовою і хвостовою хвилею. Виникаючі на поверхні води при русі плавця хвилі можуть бути розбиті на дві групи: на систему розбіжних і поперечних хвиль. Розбіжні (або по-іншому – косі) хвилі виникають у передній і задній частині тіла (рис. 7.7).

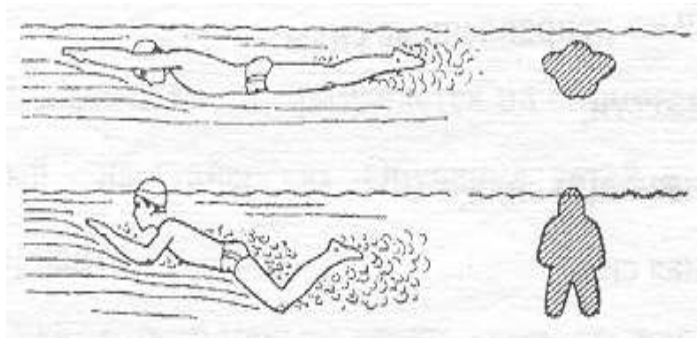


Рисунок 7.7. Сили протидії хвилестворення

Гребені косих хвиль розташовані по відношенню до діаметральної площині під кутом близько 40 °. Лінії, що проходять через початок косих хвиль, складають до діаметральної площині кут близько 20 °. Поперечні хвилі рухаються поперек лінії руху, та їх необхідно враховувати при виконанні вдиху і при русі рук над водою. Гребінь передньої хвилі розташований у голови. Джерелами хвилестворення є: акцентовані вертикальні руху («вилітання» з води в батерфляй, підведення голови для вдиху в кролі); поперечні і будь-які інші рухи, що відхиляють тіло від горизонтального положення; нерівномірне просування плавця («ривки») також створює хвилі. Хвильовий опір збільшується пропорційно кубу швидкості плавця. Величина хвильового опору може бути знижена за рахунок усунення зайвих вертикальних і бічних рухів. Для зменшення сили протидії хвилестворення, рекомендується при плаванні опускати у воду обличчя і додавати тілу форму, вигнуту по лініях струму води.

### **III. СИЛИ ІНЕРЦІЇ**

$$\mathbf{F} = -m \mathbf{a},$$

що прискорюють або гальмують ланки усього тіла. Вони не відносяться до горизонтальних або вертикальних сил, тому що сила інерції завжди спрямована протилежно прискоренню і дорівнює добутку маси на прискорення.

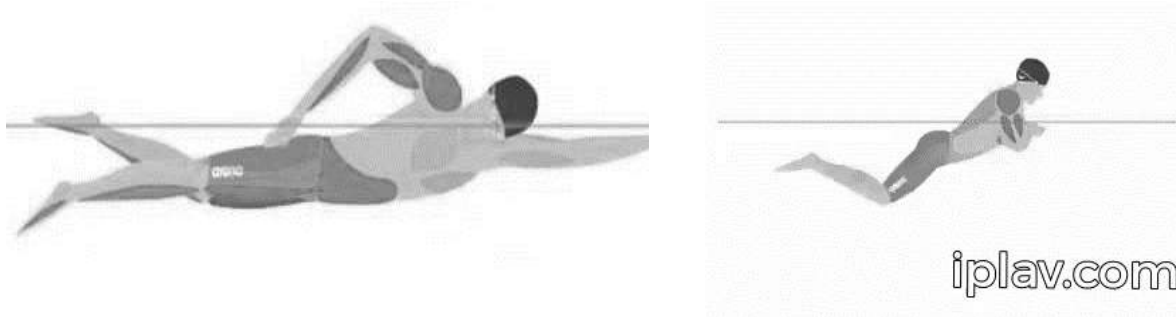
### **Топографія м'язів та енергетика плавання**

Під час плавання, до гребкових рухів втягуються одночасно майже всі м'язи тіла людини, багато з яких практично бездіють у звичайних умовах. Таке всебічне м'язове навантаження активізує життєдіяльність різних органів людини і обмінних процесів всього організму. Плавання є чудовим засобом тренування дихання, а також має позитивний вплив на організм (вода звичайно має більш низьку температуру, чим тіло людини). Плавання знімає фізичну і нервову напругу, сприяє відновленню сил, додає заряд бадьорості і енергії.

Ефективне використання гребків руками і ногами можливо тільки в тому випадку, якщо тулуб плавця являє собою досить тверду конструкцію, що знаходиться в обтічному і урівноваженому положенні. Забезпечується це за рахунок напруги м'язів живота і спини, інші м'язи тулуба повинні бути розслаблені.

При плаванні кролем найбільш активні м'язи, які здійснюють згинання кисті, а у брасі висока активність м'язів ніг. У брасі висока активність м'язів ніг. Але значне навантаження приходить і на руки (особливо в спортивному плаванні), що виконують близькі до кругових гребкові дії, які нагадують рухи руками, по лікоть опущеними в два глечики з вузькими горлечками (рис. 7.8).





*Рисунок 7.8. Топографія працюючих м'язів при плаванні*

В цілому можна сказати, що ефективність плавальних рухів в значній мірі визначається рухливістю в плечових суглобах, плечовому поясі, хребтному стовпі (його грудному і поперековому відділах), в тазостегновому, колінному і гомілковостопному суглобах.

### **Енергетика плавання**

Сили, від яких залежить протидія води, є основними з тих, що приходиться долати плавцєві. Тому що густина води у 800 разів більше густини повітря, плавання вимагає великих витрат енергії й є найменш економічним видом локомоцій людини. Коефіцієнт механічної активності (аналогічний к.к.д. - коефіцієнту корисної дії) складає у плавців 1–5 % і збільшується із підвищенням кваліфікації. Це набагато нижче, ніж при наземних локомоціях людини (20–40 %).

Енергетична вартість метра шляху в плавців міжнародного класу приблизно на 40% нижче в порівнянні з плавцями невисокої кваліфікації. Для новачків брас (при швидкості 0,3–0,5 м/с) виявляється на 30% більш економічним, чим кріль (рис. 7.9). При плаванні в ластах коефіцієнт механічної активності вище, ніж без ластів – близько 17 %.

Рухи і рухові дії плавця у воді доцільно поділити на раціональні й ірраціональні, в залежності від «правильності» або «неправильності» їхнього виконання при будь-якому способі плавання. Якщо рухи у воді виконуються з відповідною амплітудою, циклічно, без перенавантаження м'язів і головне є ефективними – це безумовно раціональні рухи або рухові дії. Якщо ж від активних дій у воді ефект мінімальний, то такі рухові дії – ірраціональні.

Найпоширенішими помилками, що допускають плавці із слабкою підготовленістю, є: перенапруга м'язів, у результаті частих, малоефективних гребків, неправильне положення тулуба і голови, а також затримка подиху. Усе це приводить до неможливості тривалого плавання через швидке стомлення. Тому, на далеких дистанціях високу швидкість можна розвинути за рахунок швидкого згинання руки в ліктьовому суглобі.

## Шляхи оптимізації техніки і тактики плавання

Основні вимоги до техніки і тактики плавця впливають із закономірностей динаміки і енергетики плавання. Загальним є вимога збільшити силу тяги і знизити суму гальмуючих сил. Збільшення сили тяги досягається граничним підвищенням сили взаємодії плавця з водою при гребкових діях руками і відштовхуванні ногами (у брасі). Протягом всього гребка рука повинна переміщатися у воді з прискоренням, завдяки чому гарний плавець безупинно відчуває «опору на воду».

Підтримувати високу силу тяги на всій дистанції людина може тільки в тому випадку, якщо до самого фінішу збереже досить енергії. Плавання дуже енергоємний вид рухової діяльності. Тому тут особливо важливо виключити непродуктивні витрати енергії.

### З цією метою плавцеві рекомендується:

- ◆ усунути зайві рухи;
- ◆ вибрати оптимальний (найбільш економічний) темп рухів (причому кожній швидкості плавання в даної людини відповідає індивідуальний оптимальний темп);
- ◆ знизити величини гальмуючих сил;
- ◆ усунути непродуктивні м'язові напруги.

У плаванні, як у жодному іншому виді спорту, важливо вміти розслабляти ті м'язи, що у даний момент не приймають участь у виконанні просуваючої роботи. Наприклад, у кролі при переносі над водою рука повинна рухатися з мінімальною напругою. Також, і при плаванні брасом, у фазі ковзання (яка в спортивному плаванні скорочується до мінімуму), більшість м'язів розслаблена. З гальмуючих сил найбільш висока сила лобової протидії води і сила протидії вихрестворення. Обидві ці сили знижуються зі зменшенням кута атаки, тобто кута між подовжньою віссю тіла і направленням руху. Чим менше кут атаки, тим менше:

- сила лобового опору;
- поверхня відриву струменів і, відповідно, сила опору вихрестворення.

Тому плавець повинен вибрати положення тіла по можливості горизонтальне і витягнуте в напрямку пересування. Плавці низької кваліфікації показують невисоку швидкість, зокрема, тому, що їхнє тіло знаходиться в погано обтічному положенні, захоплює за собою велику масу води і утворює після себе водяні вихри.

Крім цього, для зниження непродуктивних витрат енергії варто зменшувати внутрішньо циклові коливання швидкості, що досягається безупинною роботою рук і ніг плавця. На ефективність гребкових рухів впливають також форма і орієнтація ланок, їхня траєкторія і розподіл зусиль, які є основними при просуванні людини у воді. Вигнута форма поверхонь, що гребуть, і визначена кутова орієнтація їх до потоку води підвищують ефективність гребка.

**ТЕМА 8**  
**БІОМЕХАНІКА ПЕРЕМІЩУВАЛЬНИХ ДІЙ**  
**ЗМІСТ**

1. Механізм відштовхування від опори.
2. Кінематика стрибків у довжину з розбігу, задачі оптимізації.
3. Кінематика стрибків у висоту, задачі оптимізації.
4. Дальність польоту тіл.
5. Кінематика метань, задачі оптимізації.
6. Точність в переміщаючих діях

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Андреева Р. Біомеханіка і основи метрології: навчально-методичний посібник Херсон, 2015. 224 с.
2. Ахметов Р. Ф., Максименко Г. М., Кутек Т. Б. Легка атлетика: Підручник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. 340 с.
3. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
4. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
5. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.
6. Козубенко О.С., Тупеев Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
7. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
8. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
9. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 154с.
10. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
11. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
12. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

**Механізм відштовхування від опори**

Основою більшості наземних локомоцій є відштовхування від опорної поверхні. Майже у всіх випадках відштовхування починається з підготовчої фази – **амортизації**. Амортизація дозволяє загасити вертикальну швидкість руху додолу ЦМ тіла після фази польоту за рахунок виконання м'язами-розгиначами опорних частин тіла поступальної роботи.

Амортизацію неважко виявити за результатами оптичної реєстрації фізичної вправи: ця фаза починається з моменту контактної взаємодії амортизуючої частини (частин) тіла з опорною поверхнею, і продовжується до моменту найбільшого згинання вказаної частини (частин) тіла в колінних (або ліктьових) суглобах. Спочатку величина реакції опори невелика, але вона швидко досягає значної величини і може у декілька разів перевищувати вагу тіла в спокої.

**Призначення відштовхування** – надати тілу вертикальну швидкість, зберігаючи як можна більше, горизонтальну швидкість (рис. 8.1). При цьому спортсмен зіштовхується з протиріччям, рішення якого є однієї з задач оптимізації. У сучасних стрибунів екстра-класу в довжину, при швидкості розбігу понад 10 м/с час відштовхування складає 0,11 - 0,13с, а кут відштовхування 19 - 25 градусів.



Рисунок 8.1. Механізм відштовхування у стрибках

Процес відштовхування від опори виконується за рахунок власне відштовхування та махових рухів. **Роль махових рухів** двояка:

- по-перше частина ланок тіла (а це у випадку однієї ноги і обох рук – 31 % маси всього тіла) активно розганяється у напрямку відштовхування і починає швидко рухатися у вказаному напрямку за рахунок роботи м'язів;
- по-друге сила інерції махових частин тіла в момент їх активного розгону вгору через тулуб передається на м'язи опорних частин тіла, що відштовхують тіло від опори. При цьому дещо зростає час і сила відштовхування, а, значить, і його імпульс.

Сили м'язових тяг поштовхової ноги випрямляють її. Гомілка і стегно передають вплив відштовхування, що прискорює, через таз іншим ланкам тіла, роблять механічну роботу, що збільшує кінетичну і потенційну енергію при відштовхуванні. Кут у колінному суглобі на початку періоду - опори протягом перших 0,019с практично не змінюється. Ударні навантаження зм'якшуються в результаті амортизаційної дії стопи. Це відбувається при перекаті стопи з п'яти на всю її площину. Величини суглобних кутів опорної ноги при постановці ноги в суглобі стопи рівні  $108^\circ$ , у колінному -  $150^\circ$ . При відриві від опори – відповідно  $134^\circ$  і  $160^\circ$ .

Ефективність відштовхування характеризується здатністю змінювати горизонтальний напрямок руху стрибуна вгору під кутом 18-22°. Тулуб у цей момент чи вертикально відхилено назад на 3-5°. Під впливом сил інерції тіла поштовхова нога і частково тулуб згинаються. Як тільки опір розтягнутих м'язів починає перевищувати величину сил інерції тіла, вони починають скорочуватися, випрямляючи поштовхову ногу і тулуб. Махові рухи руками і

маховою ногою сприяють збереженню рівноваги, зміщують ЗЦМ тіла, додають йому прискорення в напрямку маху і підвищують ефективність випрямлення поштовхової ноги. Відштовхування обумовлює підвищення вертикальної швидкості і зменшення горизонтальної (рис. 8.2). Кінетична енергія тіла стрибун, витрачена на підйом уперед, переходить у потенційну.

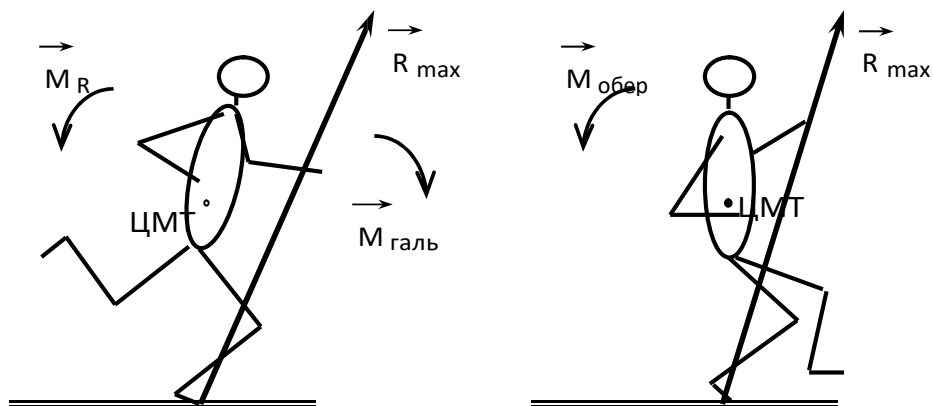


Рисунок 8.2. Напрямок найбільшого вектора опорної реакції при відштовхуванні в бігу (а) і для виконання сальто назад (б)

Відштовхування є головною частиною локомоцій, тому що створює початкову швидкість для польоту і визначає траєкторію польоту. Слід зазначити, що після відштовхування, у польоті, тіло спортсмена завжди виконує рухи навколо осей, тому однієї з задач відштовхування є початок керування цими рухами. Швидкість спортсмена в момент закінчення відштовхування – найбільш важлива з характеристик, що визначають дальність стрибка.

Зареєструвати величину опорної реакції при відштовхуванні від опори дуже непросто, адже вона постійно міняється за величиною і напрямком. Для цього потрібен спеціальний стаціонарний тензодинамометр – так звана **тензоплатформа**, яка дозволяє зареєструвати горизонтальні, вертикальні (а при потребі – й бокові) складові реакції опори у різні моменти процесу відштовхування.

Відштовхування в різних стрибках має **різні задачі**:

**В стрибках у довжину** використовуючи максимальну швидкість розбігу, необхідно як найсильніше відштовхнутися вперед і нагору, одержавши кут вильоту приблизно 22 градуса (рис. 8.3).

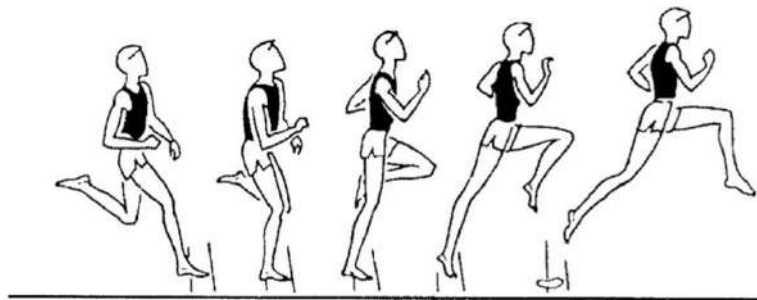


Рисунок 8.3. Відштовхування у стрибках у довжину з розбігу

**Призначення відштовхування** – надати тілу вертикальну швидкість, зберігаючи як можна більше, горизонтальну швидкість. У сучасних стрибунів екстра-класу в довжину, при швидкості розбігу понад 10 м/с час відштовхування складає 0,11 - 0,13 с (Б. Бімон в стрибку на 8 м 90 см – 0,075 с), а кут відштовхування 19° - 25°.

В стрибках у довжину **дальність польоту** залежить від швидкості, що розвивається спортсменом при розбігу, і витрат швидкості, пов'язаних з необхідністю точно потрапити поштовховою ногою на брусок відштовхування.

$$L = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g},$$

де,  $V_0$  – швидкість тіла стрибуна в момент вильоту,

$\alpha$  – кут вильоту,

$g$  – прискорення вільного падіння.

Дальність польоту залежить від швидкості, що розвивається спортсменом при розбігу, і витрат швидкості, пов'язаних з необхідністю точно потрапити поштовховою ногою на брусок відштовхування. Занадто велике навантаження на м'язи поштовхової ноги шкодять відштовхуванню. Для більшої потужності поштовху доцільно трохи більше і разом з тим швидше згинати махову ногу при підсіданні, від цього швидкість відштовхування і початкова швидкість ростуть.

**В стрибках у висоту** необхідно одержати найбільшу висоту злету, тобто найбільшу вертикальну швидкість, за рахунок втрати горизонтальної швидкості (рис. 8.4). Початкова швидкість вильоту досягається випрямленням поштовхової ноги, рухами рук і рухами махової ноги.

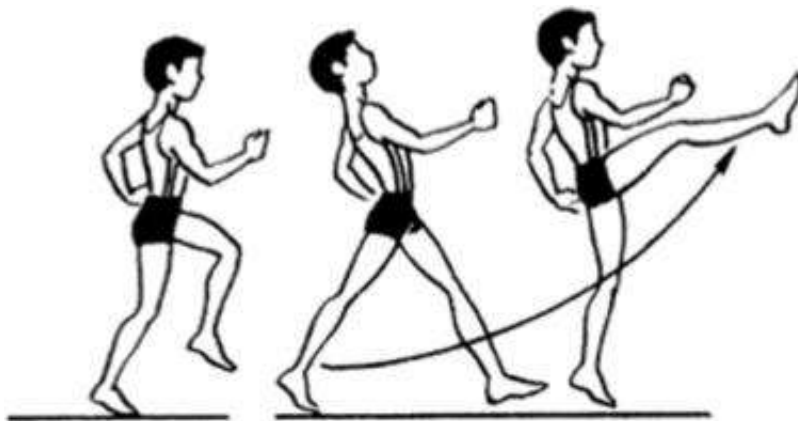


Рисунок 8.4. Відштовхування у стрибках у висоту з розбігу

Крім підняття центру мас тіла вгору, при відштовхуванні потрібно повернути тіло в горизонтальне положення і забезпечити його обертання над планкою. Початкове обертання для цього створюється ще при відштовхуванні, і в значній мірі за допомогою махових рухів рук і ноги. Махові рухи в стрибках у висоту значно піднімають загальний центр мас тіла вгору за час відштовхування. До кінця відштовхування всі м'язи тіла у всіх суглобах

напружуються. Для відштовхування підготовкою служить амортизація, для маху вільними кінцівками служить замах.

### **Кінематика стрибків у довжину з розбігу, задачі оптимізації**

Стрибки відносяться до наземних *ациклічних* локомоцій з відривом від опори. Основне призначення стрибка з погляду біомеханіки – подолання відстані польотом. При цьому досягається або найбільша довжина стрибка (стрибок у довжину з розбігу, потрійний стрибок), або найбільша висота (стрибок у висоту, стрибок із жердиною), або значна і довжина і висота (опорний стрибок у гімнастиці). В усіх стрибках з польотом здійснюється відштовхування, після якого слідує власне політ (стрибок) і після приземлення – амортизація тіла.

У стрибку в довжину розрізняють фази розбігу, відштовхування, польоту (власне стрибка) і амортизацію після приземлення. При стрибках у довжину з розбігу використовується кінетична енергія, накопичена під час розбігу перед відштовхуванням. Довжина розбігу при стрибках у довжину звичайно складає 20-50 метрів і залежить від підготовленості спортсмена. Техніка розбігу в початковій частині нагадує біг зі старту, але з трохи меншою інтенсивністю. Вона характеризується великим нахилом тулуба вперед – на  $35-60^\circ$ , енергійними рухами рук, високим підніманням стегон і енергійною постановкою ніг, що загрибають рухом на передню частину стопи. У середній частині розбігу нахил тулуба поступово зменшується ( $5-10^\circ$ ).

Характерною рисою техніки розбігу стрибунів є збільшення часу контакту з опорою в передпоштовхових кроках і різке зменшення часу польоту, що створює передумови для виконання швидкої постановки ноги на брусок і активного відштовхування. Останні 2-4 кроку розбігу спрямовані на підготовку до відштовхування шляхом подовження кроків, посилення відштовхування майбутньої поштовхової ноги й укорочення останнього кроку. У передостанньому кроці ЗЦМТ дещо знижується, за рахунок чого на останньому кроці стрибун починає вже змінювати напрямок дії набраної швидкості. Останній крок на 25-30 см коротший за попередній. Чим менше час контакту з опорою при відштовхуванні, тим стрибок результативніший. Значить фаза відштовхування повинна бути як можна коротшою.

У момент відштовхування важливо якнайшвидше пройти вперед через опорну ногу, направляючи груди і плечі вгору. Прискорена постановка ноги на брусок сприяє збереженню горизонтальної швидкості. Кут між ногою і доріжкою становить  $65-70$  градусів. Під дією дуже сильного навантаження ( $700-750$ кг) поштовхові нога трохи згинається ( $140-145^\circ$ ), але під час проходження вертикалі вона починає активно розгинатися.

Після відштовхування стрибун переходить у фазу польоту. Її можна розділити на три частини: зліт, політ з рухами, що відповідають одному з трьох способів стрибка і підготовка до приземлення.

### Способи стрибків у довжину з розбігу:

- ◆ стрибок способом **«зігнувшись»** - найбільш простий, природний і доступний (рис. 8.4). Стрибун пролітає в положенні кроку половину траєкторії, потім, опускаючи руки і трохи нахилиючи тулуб уперед, підтягує поштовхову ногу до махового, приймаючи положення угруповання. Основний недолік стрибка: згинаючи ноги в польоті і нахилившись до них, стрибун зменшує радіус інерції свого тіла;

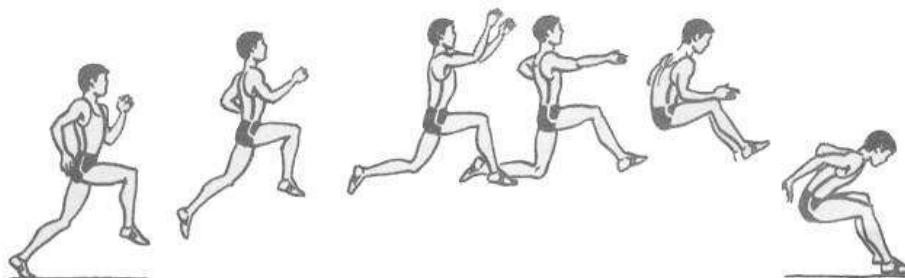


Рисунок 8.4. Стрибок у довжину з розбігу способом «зігнувшись»

- ◆ при виконанні стрибка способом **«прогнувшись»**, після злету в стрибуну махова і поштовхова нога виявляються позаду тулуба. Стрибун прогинається в поперековому і грудному відділах, а напівзігнуті руки швидко відводяться назад (рис. 8.5). У першій половині польоту стрибун зберігає положення прогнувшись. До моменту приземлення тіло згинається, тулуб нахилиється вперед, швидко виносяться вперед ноги. Недоліком способу «прогнувшись» те, що стрибун починає прогинатися ще при відштовхуванні, знижуючи при цьому дальність стрибка. Для обох розглянутих способів стрибка характерний різкий перехід від одних рухів до інших, як при угрупованні, так і при прогині.

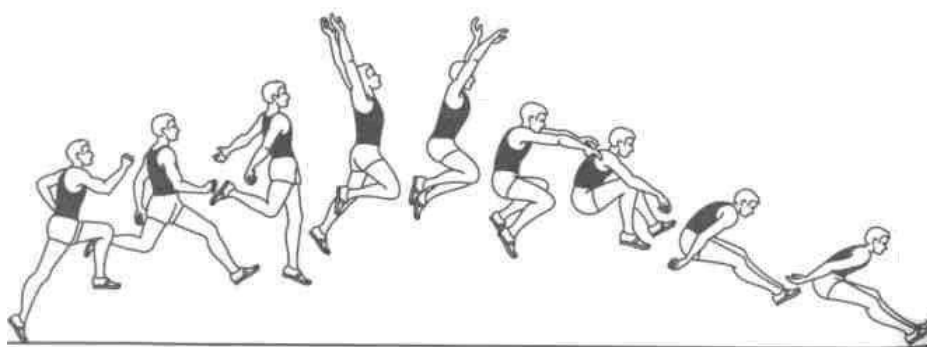
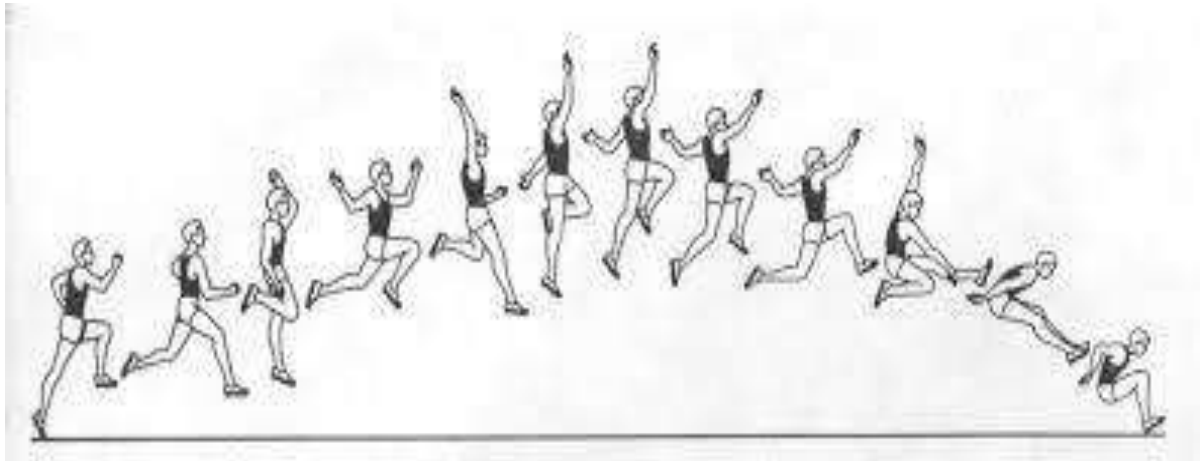


Рисунок 8.5. Стрибок у довжину з розбігу способом «прогнувшись»

- ◆ більш ефективний спосіб стрибка – **«ножниці»**, при виконанні якого ноги роблять у польоті такі рухи, як при бігу, тобто 1,5 або 2,5 кроки. Усі рухи в такому стрибку природно слідує один за другим, і координація рухів при розбігу не порушується. Після зльоту махова нога опускається вниз і відводиться назад, а поштовхова виводиться вперед (перший крок). Опущання



махової ноги супроводжується виведенням таза вперед, а тулуб відхиляється назад. Слідом за цим назад відводиться вже поштовхова нога, а махова виноситься вперед. Ноги при цьому зігнуті у колінних суглобах, руки рухаються у ритмі рухів ніг. Вони у фазі польоту піднімаються вгору і круговими рухами у різні сторони підтримують рівновагу. Таким чином, у стрибку способом «ножиці» стрибун, виконуючи майже такі ж рухи, як у бігу, робить у польоті 2,5 або 3,5 кроки (в залежності від довжини стрибка).



*Рисунок 8.6. Стрибок у довжину з розбігу способом «ножиці»*

Задачею амортизації є погашення швидкості, повідомлення тілу протилежно спрямованого імпульсу сили. Ефективність приземлення характеризується дальністю винесення ніг стрибуну за проекцію ЗЦМ тіла. Приймаючи в польоті положення угруповання, стрибун продовжує опускати руки, виставляє гомілки вперед, випрямляє ноги. Зігнуті ноги піднімаються так, щоб п'ятки спочатку були трохи нижче рівня таза, а потім різко викидаються вперед-вгору (підйом ступнів на 1см збільшує довжину стрибка на 10см). Приземлення закінчується згинанням ніг, нахилом тулуба вперед, активним махом рук назад і виходом уперед або падінням у бік. В момент викидання ніг уперед спортсмен може знаходитись у групуванні зі значним нахилом тулуба вперед або у положенні «сидячи», що є більш раціональним.

Після торкання п'ятами опори ноги згинаються в колінних суглобах, а таз переміщається до п'ят. Закінчується приземлення виходом з місця чи приземлення падінням у сторону.

### ***Оптимізація рухової діяльності при стрибках у довжину***

Оптимізуючи рухову діяльність при стрибку в довжину, необхідно збільшувати швидкість вильоту і правильно вибирати кут вильоту. Швидкість спортсмена в момент закінчення відштовхування – найбільш важлива з характеристик, що визначають дальність стрибка. Вона залежить від швидкості, що розвивається спортсменом при розбігу, і втрат швидкості, пов'язаних з

необхідністю точно потрапити поштовховою ногою на брусок для відштовхування.

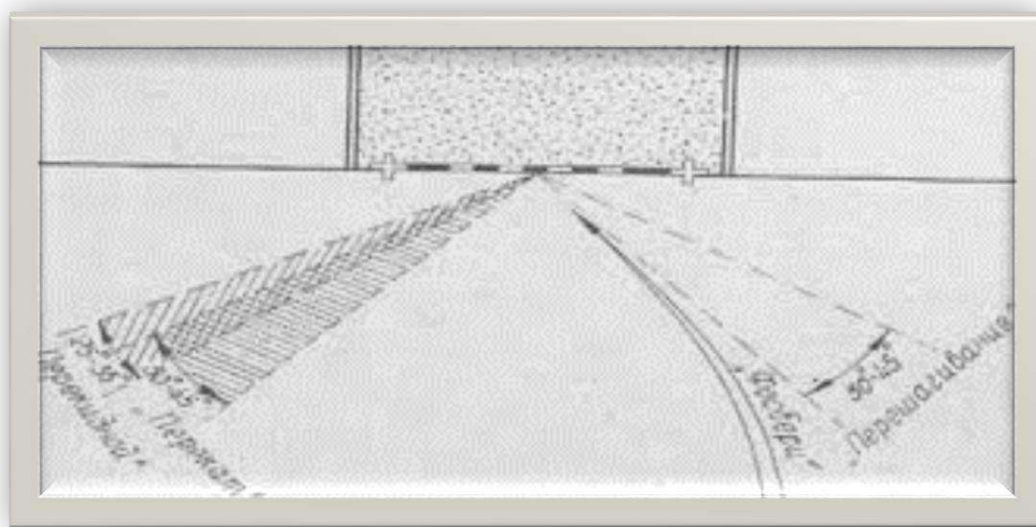
Таким чином, оптимізація розбігу полягає в перебуванні компромісу між швидкістю і точністю. Пошук такого компромісу ускладнюється досить значними величинами сили дії стрибун на брусок відштовхування, що досягає декількох тисяч ньютонів.

В останні 3-4 кроки перед відштовхуванням спортсмен приводить тулуб у положення, близьке до вертикального, і знижує висоту загального центра мас тіла. Ці зміни положення тіла супроводжуються подовженням передостаннього кроку і відповідним укороченням останнього.

Призначення відштовхування – надати тілу вертикальну швидкість, зберігаючи якомога більшу горизонтальну швидкість. Тут спортсмен також зустрічається з протиріччям, вирішення якого є однією із задач оптимізації. У сучасних стрибунів екстра-класу при швидкості розбігу понад  $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  час відштовхування складає 0,11-0,13 с, а кут відштовхування  $18-22^\circ$ .

### **Кінематика стрибків у висоту, задачі оптимізації**

Фазовий склад стрибків у висоту і довжину з розбігу однаковий. Розбіг має різний напрямок і траєкторію руху. У стрибках способом «переступанням» і «фосбюрі-флоп» розбіг виконується зі сторони махової ноги, а в інших стрибках – зі сторони поштовхової ноги. В усіх способах стрибка, окрім «фосбюрі-флоп» розбіг є прямолінійним, лише під різними кутами до планки – від  $30^\circ$  до  $60^\circ$ , в залежності від зручності для кожного стрибуну (рис. 8.7).



*Рисунок 8.7. Траєкторія розбігу стрибків у висоту*

У стрибках способом «фосбюрі-флоп» розбіг виконується по дузі радіусом 10м. Аналіз техніки даного стрибка свідчить про те, що під час поштовху, який виконується з дугоподібного розбігу, виникає відцентрова сила. Саме в цьому і полягає відмінна особливість цього способу.

Розбіг виконується спочатку по прямій, а потім дугою в 3 або 5 кроків. Дуга в три кроки раціональна при меншій швидкості розбігу, дуга в 5 бігових кроків – при більш швидкому розбігу. Це пояснюється тим, що на більших швидкостях і малих радіусах кривизни дуги розвиваються такі відцентрові прискорення, що на боротьбу з ними витрачаються надмірні зусилля, які знижують ефективність поштовху.

Оптимальна швидкість розбігу тісно пов'язана з кількістю бігових кроків. Максимальна величина швидкості розбігу останніх 6 кроків складає 7,9-8,2 м/с, в останньому кроці швидкість руху дещо знижується і в момент постановки поштовхової ноги на місце відштовхування складає 7,7-7,8 м/с. Зі зростанням спортивної майстерності у стрибунів у висоту великого значення набуває не стільки абсолютна швидкість розбігу, скільки характер наростання темпу кроків у заключній частині розбігу. Швидкість розбігу поступово наростає в міру наближення до місця штовхання. Техніка бігу стрибунів своєрідна і відрізняється від техніки звичайного бігу акцентованим винесенням вперед вільної ноги рухом «від стегна», постановкою стопи на ґрунт перекатом з п'ятки дещо попереду проєкції ЗЦМТ. В бігу по дузі техніка є майже такою, як і в бігу на 200м (з нахилом тулуба всередину повороту, асиметричною роботою рук і ніг).

До моменту відштовхування швидкість бігу досягає 7,3—7,5 м/с. В кінці розбігу, готуючись до відштовхування, стрибун змінює структуру 2-4 останніх кроків. У фазі розбігу створюються необхідна швидкість до моменту відштовхування й оптимальні умови для опорної взаємодії. Тривалість опорних фаз в останніх кроках більше, ніж тривалість польотних фаз. Максимальна швидкість розбігу досягається до кінця передостаннього кроку, складаючи в середньому 7-7,6 м/с. Але до моменту постановки поштовхової ноги вона знижується на 10 % і більш, що обумовлено зменшенням довжини останнього кроку. На місце відштовхування нога ставиться рухом, що стопорить, завдяки чому зменшується горизонтальна швидкість і збільшується вертикальна, що дозволяє зайняти вихідне положення при оптимально зігнутій поштовховій нозі (рис. 8.8).

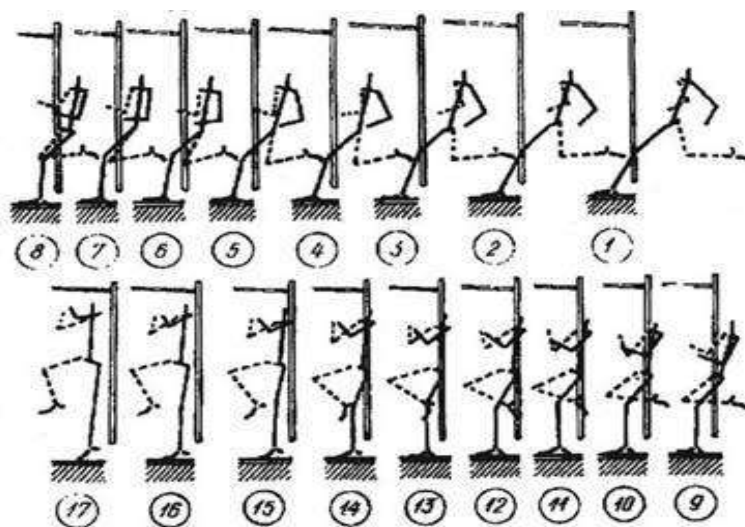


Рисунок 8.8. Відштовхування у стрибках у висоту з розбігу

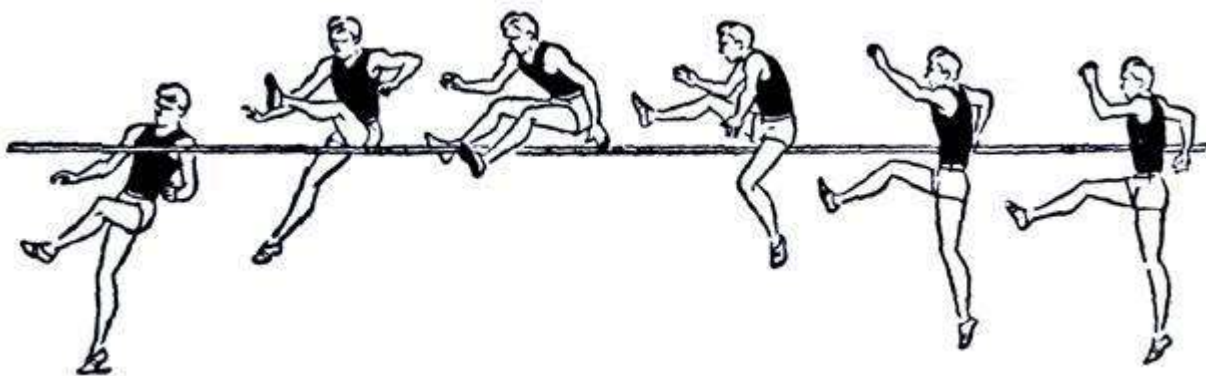
Підготовчі дії до поштовху виконуються за 3-4 кроки до відштовхування. На цьому відрізку відбувається зниження ЗЦМ тіла за рахунок зменшення кута в колінному суглобі. Кут нахилу тулуба щодо горизонталі збільшується з 57-68° у третьому кроці до 74-88° в останньому і з 60-71° до 99-116° у момент відриву від опори. Такі зміни кутів вказують на збільшення швидкості стрибун під час опорних фаз останніх трьох кроків.

Нога для відштовхування ставиться на ґрунт попереду проекції ЗЦМТ дотиком п'ятки з подальшим швидким переходом на всю стопу. Час відштовхування у стрибку способом «перекидний» складає 0,18-0,22 с, «фосбюрі-флоп» - 0,17-0,19 с. Початкова вертикальна швидкість вильоту - 4,1-4,2 м/с, кут вильоту - 60-75°. Чим вища швидкість розбігу, тим менший кут вильоту. Кут вильоту в стрибку «фосбюрі-флоп» складає від 50 до 60 градусів.

Відомо кілька способів стрибків у висоту. Кожен стрибок у висоту складається з *розбігу, відштовхування, переходу через планку і приземлення.*

### **Способи стрибків у висоту з розбігу:**

- ◆ при стрибку способом **«переступання»** розбіг виконується під кутом 30-45 градусів з боку махової ноги. Спортсмен відштовхується дальньою від планки ногою й утримує тулуб у вертикальному положенні. Досягши рівня планки, махова нога випрямляється, а потім опускається за неї. Злегка зігнута поштовхова нога переходить через планку дугоподібним рухом. Потім відбувається «переступання» і приземлення на махову ногу. Основний недолік цього стрибка – високе положення загального центру мас відносно планки в момент переходу через неї (рис. 8.9);



*Рисунок 8.9. Стрибок у висоту з розбігу способом «переступання»*

- ◆ при стрибку способом **«перекидний»** розбіг відбувається під кутом 30-40 градусів, з боку поштовхової ноги, відштовхування виконується ближньою до планки ногою. У польоті спортсмен як би лягає на планку, потім виконує активний поворот тазом і одночасно відводить зігнуту поштовхову ногу коліном у сторону-вверх. Пройшовши планку, стрибун приземляється на однойменну маховій нозі руку і робить перекид через плече на спину. Завдяки обертальному руху тулуба навколо подовжньої і

поперечної осей стрибун переходить планку в положенні обличчям донизу. ЗЦМ тіла знаходиться також вище планки, однак цей спосіб стрибка є більш ефективним (рис. 8.10);

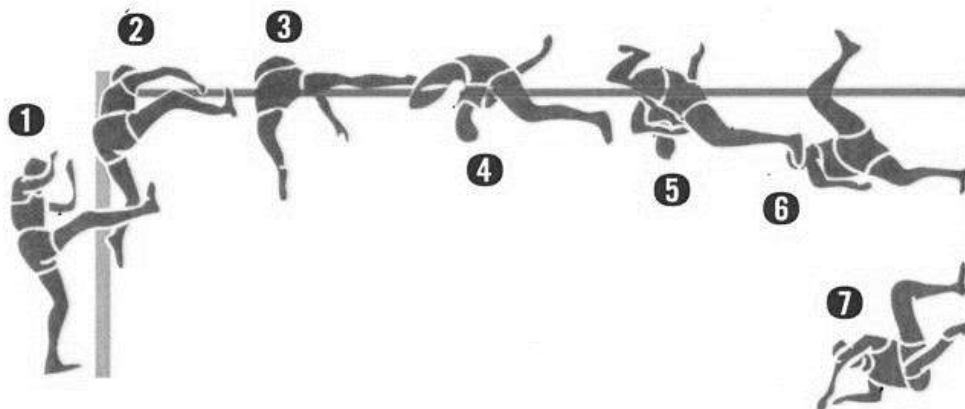


Рисунок 8.10. Стрибок у висоту з розбігу способом «перекидний»

- ◆ найбільш ефективний і тому часто використовуваний спортсменами стрибок способом **«фосбюрі-флон»**. Розбіг відбувається по дузі радіусом 10 м, відштовхування відбувається дальньою від планки ногою, спиною до неї. В польоті спортсмен обертається навколо поздовжньої і поперечної осей, повертається спиною до планки. Поворот від планки виконується тільки після зльоту. В момент відриву від опори вертикальна швидкість ЗЦМТ у стрибунів високого класу коливається у межах 4,9-5,2 м/с. Стрибун долає планку в положенні спиною вниз в прогині, по чергово переносячи через планку плечі, тулуб, ноги. Над планкою стрибун, прогинаючись, піднімає таз, виводячи ЗЦМТ за межі власного тіла. ЗЦМ тіла стрибуну у найвищій точці стрибка знаходиться нижче планки, що і забезпечує найбільший результат (рис. 8.11)

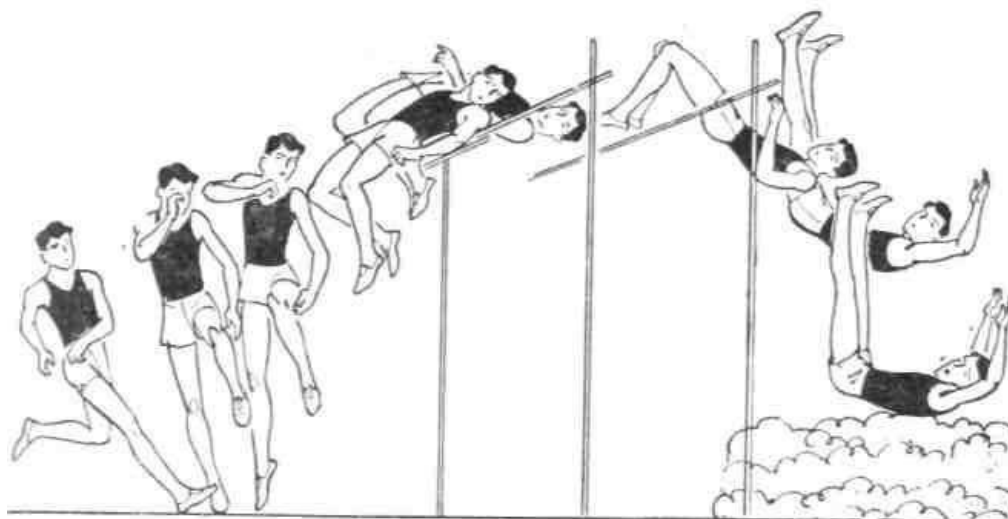


Рисунок 8.11. Стрибок у висоту з розбігу способом «фосбюрі-флон»

Траєкторія руху ЗЦМТ спортсмена має дещо більшу довжину, ніж у стрибку перекидним. Максимальної висоти ЗЦМТ стрибуну досягає на відстані

20 см за планкою, тоді як у перекидному способі — 8 см до планки. Як тільки таз пройде планку, починається відхід від неї. Здійснюється він поворотом голови, згинанням ніг у кульшових суглобах і випрямленням у колінних.

У дорослих стрибунів вертикальна складова сили дії на опору при відштовхуванні, а також і при амортизації складають 3500-6000 Н. Ці величини збільшуються зі зростанням підготовленості стрибунів. Силу відштовхування і висоту стрибка значно збільшують вертикальні прискорення махових кінцівок.

Завдання **оптимізації** при стрибках у висоту полягає в тому, щоб збільшити імпульс сили, незважаючи на зниження тривалості відштовхування. Вибір способу стрибка впливає на висоту загального центру мас тіла щодо планки при переході через неї. Вибір способу стрибка впливає на висоту загального центра мас тіла щодо планки при переході через неї. При сучасних способах стрибка у висоту, «перекидному» і «фосбюри-флоп», спортсмен долає планку, коли траєкторія загального центра мас може проходити на рівні планки або навіть нижче. Висота підйому загального центру мас збільшується з укороченням фази відштовхування. Але при цьому зменшується імпульс сили дії на опору.

### Дальність польоту тіл

Завданням переміщаючих рухових дій є переміщення спортивних приладів:

- **на точність** – стрільба, спортивні ігри, фехтування, бокс;
- **дальність** – метання;
- **по заданій траєкторії** – предмети в художній гімнастиці;
- з дотриманням **специфічних вимог** щодо способу виконання рухової дії - штанга;
- **переміщення суперників** – боротьба;
- **переміщення партнерів** – фігурне ковзання, акробатика.

Траєкторія (зокрема, дальність) польоту снаряда визначається:

- а) початковою швидкістю вильоту;
- б) кутом вильоту;
- в) місцем (висотою) випуску снаряда;
- г) обертанням снаряда;
- д) опором повітря, який, у свою чергу, залежить від аеродинамічних властивостей снаряда, сили і напрямку вітру, щільності повітря (у горах, де атмосферний тиск нижчий, щільність повітря менше і спортивний снаряд за тих же початкових умов вильоту може пролетіти більшу відстань).

Дальність польоту снаряда ( $L$ ) визначається за формулою:

$$L = \frac{V_0^2 \times \sin 2\alpha}{g},$$

де  $V_0$  – швидкість вильоту,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\alpha$  – кут вильоту, град;

$g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$  – прискорення вільно падаючого тіла (рис. 8.12).

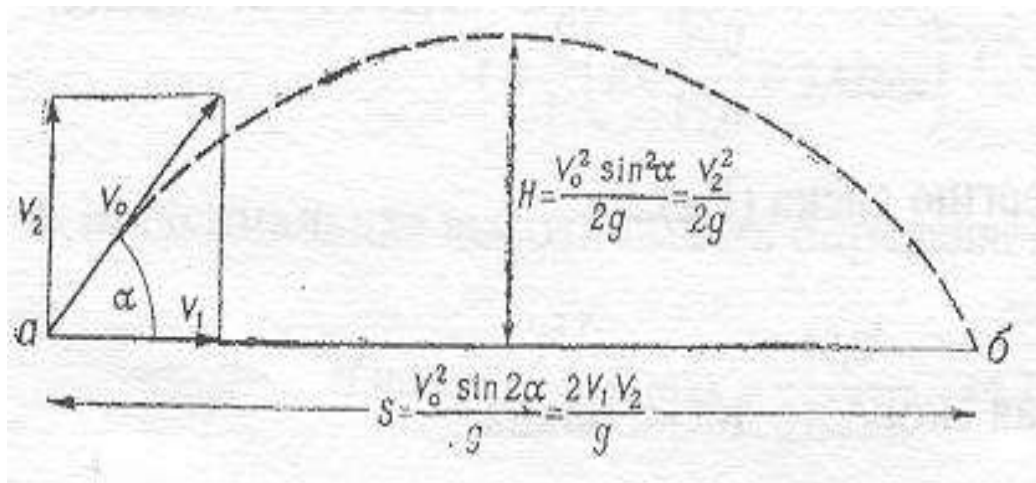


Рисунок 8.12. Визначення дальності польоту тіл

Проте це рівняння не можна прямо застосовувати до спортивних метань, оскільки воно не враховує атмосферних впливів (вітру і т.д.) і того факту, що граната, ядро, диск і спис залишають руку металника на деякій «висоті випуску».

Теоретично, з точки зору біомеханіки, найбільш вигідним кутом вильоту вважається кут, що дорівнює  $45^\circ$  (без урахування опору повітря і за умови, що точка вильоту і приземлення приладу знаходяться на одній лінії). Фактично ж кут вильоту повинен бути завжди меншим  $45^\circ$ , тому що точка вильоту снаряда вища за точку його приземлення. Оскільки це не так, то для досягнення максимальної дальності кут вильоту повинний бути менше ( $30\text{-}40^\circ$ ). Із збільшенням висоти випуску снаряда оптимальний кут вильоту зменшується.

**Початкова швидкість вильоту** – є тією основною характеристикою, яка закономірно змінюється із зростанням спортивної майстерності. У відсутність опору повітря дальність польоту снаряда пропорційна квадрату швидкості вильоту. Збільшення швидкості вильоту, скажімо, в 1,5 разу повинно збільшити дальність польоту снаряда в  $1,5^2$ , тобто в 2,25 разу. Наприклад, швидкість вильоту ядра 10 м/с відповідає результату в штовханні ядра в середньому 12 м, а швидкість 15 м/с – результату близько 25 м.

У спортсменів міжнародного класу максимальні швидкості вильоту снарядів дорівнює: при ударі ракеткою (подача в тенісі) і ключкою (хокей) – понад 50 м/с, при ударі рукою (нападаючий удар у волейболі) і ногою (футбол), метанні списа – близько 35 м/с. Із-за опору повітря швидкість в кінці польоту снаряда менше початкової швидкості вильоту.

Якщо не враховувати впливу середовища, то оптимальним **кутом випуску** спортивних приладів є кут  $45$  градусів відносно горизонталі. Проте враховуючи силу лобового опору середовища, а також інші аеродинамічні ефекти, реальні оптимальні кути випуску різних спортивних приладів набирають різного значення:  $38\text{-}41^\circ$  для ядра,  $30\text{-}40^\circ$  для списа,  $36\text{-}38^\circ$  у безвітряну погоду і менше  $30^\circ$  проти вітру – для диска,  $42\text{-}44^\circ$  для молота тощо. Кут випуску розглядають як кут місцевості, азимут і кут атаки.

**Кут місцевості** – це кут між горизонталлю і напрямком вектору швидкості, він визначає рух снаряда у вертикальній площині: вище – нижче. Цей кут задається металником, гравцем, стрільцем, і впливає на точність попадання вгору – донизу (або вперед-назад).

**Азимут** – кут вильоту в горизонтальній площині (правіше – ліво, вимірюється від умовно вибраного напрямку відліку); кут відхилення початкової траєкторії польоту предмета від заданого напрямку (наприклад, бісектриси сектора для метань); цей кут і визначає цільову точність у вказаному напрямку.

**Кут атаки** – це кут між поздовжньою віссю спортивного приладу і траєкторією польоту. Наприклад, спис металники стараються випустити з нульовим, а диск – з від'ємним кутом атаки, який у поєднанні з власним обертанням диска навколо його поперечної осі, створює підйомну силу, що збільшує дальність його польоту. Круглі предмети (типу м'ячів, ядра і ін.) поздовжньої осі не мають, тому кути атаки при їх польоті не розраховуються (рис. 8.13).

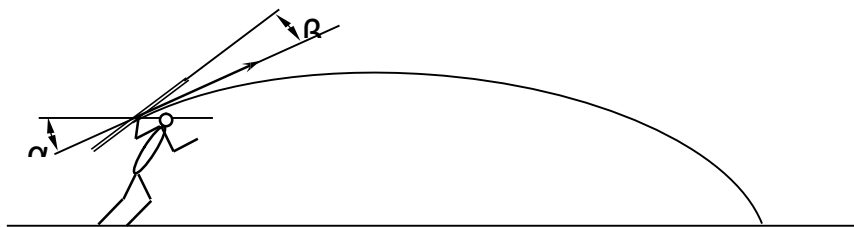


Рисунок 8.13. Характеристики польоту тіл:  
 $\alpha$  – кут місцевості;  $\beta$  – кут атаки

**Висота випуску снаряда** впливає на дальність польоту. Дальність польоту снаряда збільшується приблизно на стільки, на скільки збільшується висота випуску снаряда, яка в більшості залежить від зросту спортсмена.

**Обертання снаряда і опір повітря.** Обертання снаряда робить подвійний вплив на його політ.

*По-перше*, обертання як би стабілізує снаряд в повітрі, не даючи йому «перекидатися». Тут діє гіроскопічний ефект, подібний тому, який дозволяє не падати дзизі, що обертається.

*По-друге*, швидке обертання снаряда скривлює його траєкторію (так званий ефект Магнуса). Якщо м'яч обертається (таке обертання нерідко називають спіном, від англ. spin – обертання), то швидкість повітряного потоку на різних його сторонах буде різною. Обертаючись, м'яч захоплює прилеглі шари повітря, які починають рухатися навколо нього (циркулювати). У тих місцях, де швидкості поступальної і обертальної ходи складаються, швидкість повітряного потоку стає більшою; з протилежної сторони м'яча ці швидкості віднімаються і результуюча швидкість менше. Через це і тиск з різних сторін буде різним: більше з тієї сторони, де швидкість повітряного потоку менша. Це витікає з відомого закону Бернуллі: тиск газу або рідини обернено пропорційно до швидкості їх рух (рис. 8.14).



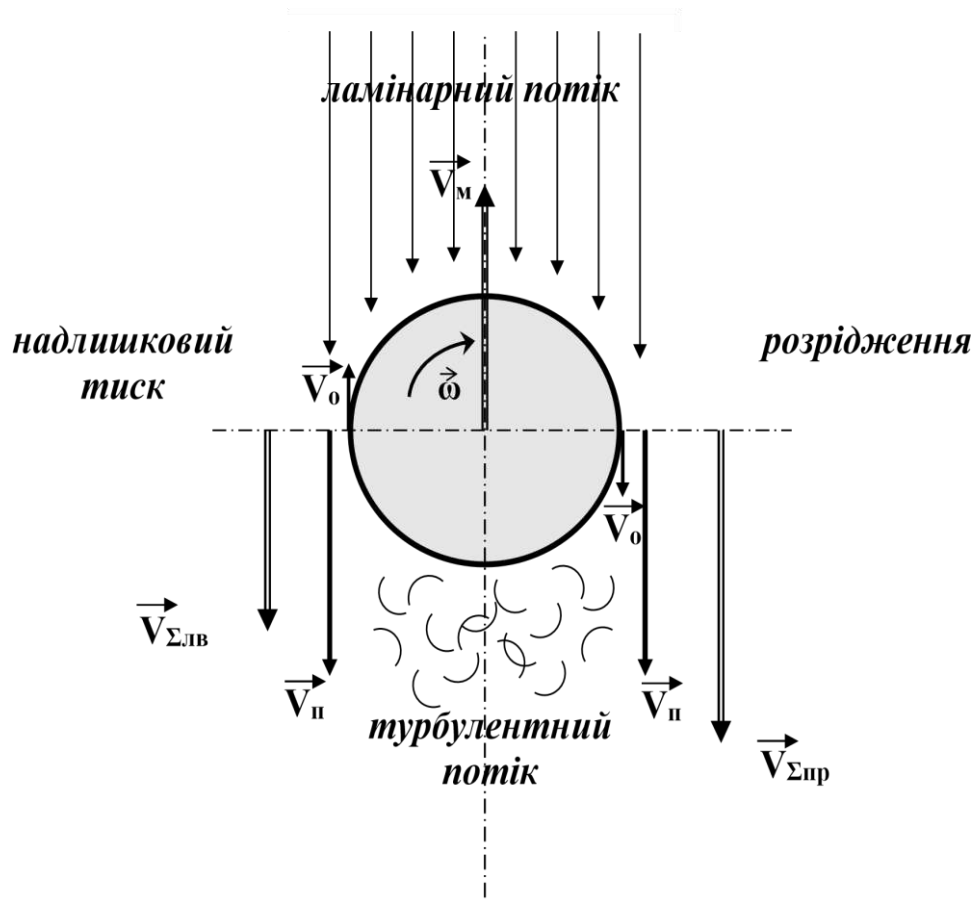


Рисунок 8.14. Обертання снаряда з ефектом Магнуса

Ефект Магнуса дозволяє, наприклад, виконуючи кутовий удар у футболі, послати м'яч у ворота. Величина бічної сили, що діє на м'яч, що обертається, залежить від швидкості його польоту і швидкості обертання. Вплив обертання м'яча на його траєкторію тим вище, чим більше поступальна швидкість. Намагатися додати м'ячу, що поволі летить, велике обертання, щоб впливати на напрям польоту, недоцільно. Тенісні м'ячі при відповідних ударах обертаються з швидкістю вище 100 об/с, футбольні і волейбольні – значно повільніше. Якщо напрям обертання м'яча співпадає з напрямом польоту, такий м'яч в спортивній практиці називають крученим, якщо не співпадає, – різаним (кручений м'яч котиться б по землі у напрямі свого польоту, а різаний – назад до гравця, що послав м'яч).

Якщо повітряний потік обтікає снаряд під деяким кутом атаки, то сила опору повітря направлена під кутом до потоку. Цю силу можна розкласти на складові: одна з них направлена по потоку – це лобовий опір, інша перпендикулярна до потоку – це підйомна сила. Суттєво пам'ятати, що підйомна сила не обов'язково направлена вгору; її напрям може бути різним. Це залежить від положення снаряда і напрямку повітряного потоку відносно його. У тих випадках, коли підйомна сила направлена вгору і врівноважує вагу снаряда, вона може почати планувати. Планування списа і диска істотно підвищує результати в метанні. Якщо центр тиску повітряного потоку на снаряд не співпадає з центром тяжіння, виникає обертальний момент сили, і снаряд втрачає стійкість. Аналогічна картина і проблема збереження стійкості

виникають і в польотній фазі в стрибках на лижах. Відсутність обертання досягається вибором правильної пози, при якій центр тяжіння тіла і центр його поверхні (центр тиску повітряного потоку) розташовані так, що обертальний момент не створюється.

### Кінематика метань, задачі оптимізації

Розглянемо біомеханічні основи метання спортивних снарядів. Для всіх різновидів метань характерні загальні закономірності. Але технічно, рухові дії в різних видах метань різні. При метанні м'ячика, гранати або спису з розбігу виділяються **чотири фази**:

- **розбіг**, ціль якого – придати тілу, найбільш високу швидкість, до якої додається швидкість кидка рукою; складається з основного розбігу і схресних кроків, задачами яких є – зберегти набрану швидкість, придати тілу найбільш зручне положення для метання і збільшити шлях прикладання зусиль;
- **підготовка до кидка (фінальне зусилля)** – наприкінці цієї фази тулуб відхилений в сторону, протилежну метанню; права рука (якщо метання робиться правою рукою) майже пряма; права нога сильно зігнута; ліва нога випрямлена і спирається на п'ятку; ліва рука напівзігнута і знаходиться перед тулубом;
- **кидок**, що починається з повороту ступні, коліна, таза і розгинання правої ноги; потім відбувається згинання і поворот тулуба вперед і, нарешті, ривок рукою;
- **зупинка після кидка**, яка має ціль загальмувати просування уперед, що досягається переступанням правої ноги перед лівою (рис. 8.15).

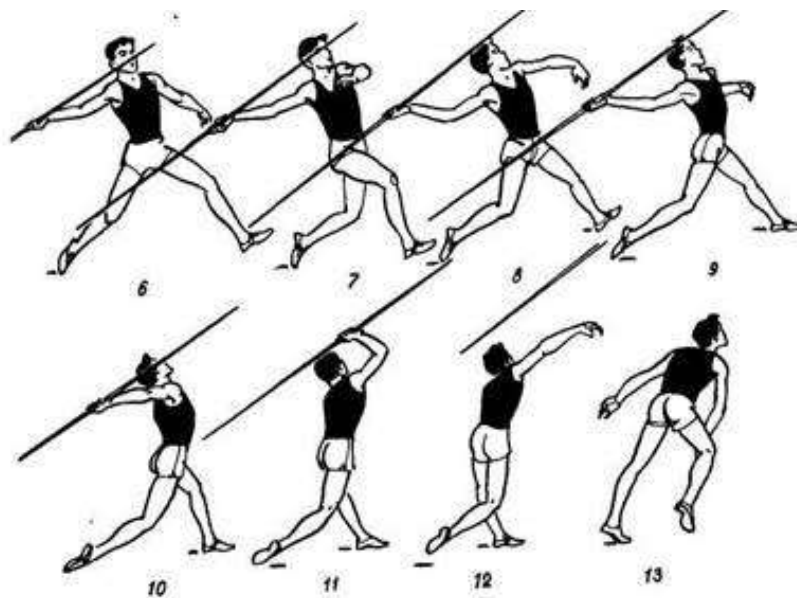


Рисунок 8.15. Кінематика метання списа

Збільшення швидкості снаряда при метаннях звичайно проходить у три етапи:

- ◆ швидкість повідомляється системі «людина – снаряд», від чого вона рухається (наприклад, при метаннях з розбігу) і збільшується;
- ◆ швидкість передається тільки тулубу і снаряду;
- ◆ швидкість передається тільки снаряду і руці, що метає (при фінальному зусиллі).

Тобто, швидкість вильоту снаряда являє собою суму швидкостей, придбаних їм на кожному із трьох етапів. Крім цього політ снаряда залежить від висоти і кута вильоту, а також від величини початкової швидкості.

При метаннях, дальність польоту снаряда визначається, в основному, швидкістю вильоту (з врахуванням оптимального кута вильоту). Тому металюнику необхідно організувати свої рухові дії так, щоб максимально збільшити швидкість вильоту. Саме для цього необхідне поступове залучення в процес метання ланок руки – від проксимального до дистального. Відповідно до цього передпліччя прискорюється раніш, ніж кисть, а плече раніш, ніж передпліччя. Безпосередньо перед кидком тіло металюника перетворюється як би в натягнений лук.

### Оптимальні режими метань

При визначенні оптимальних умов метання необхідно враховувати фактори, від яких залежить траєкторія і дальність польоту спортивного снаряда: початкова швидкість вильоту, кут вильоту, висота випуску снаряда, обертання снаряда і протидія повітря, що залежить від сили і напрямку вітру, а також від щільності повітря.

**Початкова швидкість вильоту** залежить від спортивної майстерності металюника. Оптимальний **кут вильоту** з землі складає  $45^\circ$ . Але спортивний снаряд залишає руку металюника на висоті, рівній росту спортсмена, тому оптимальний кут вильоту повинний бути менше  $45^\circ$  ( $30 - 40^\circ$ ) – у метанні списа – близько  $35-38^\circ$ , диска –  $33-36^\circ$ , ядра –  $38-39^\circ$  і молота –  $43-44^\circ$ .

Зі збільшенням **висоти випуску снаряда** збільшується дальність польоту, а оптимальний кут вильоту зменшується. Цей показник залежить від зросту спортсмена (рис.8.16).

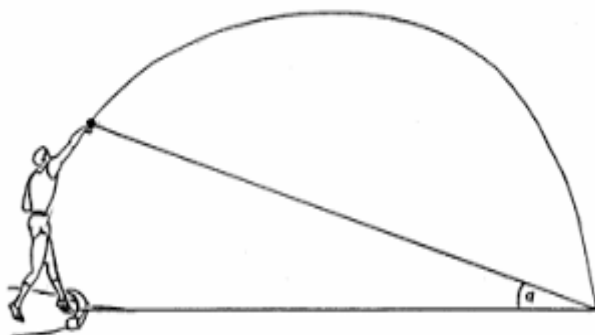


Рисунок 8.16. Оптимальний кут випуску снаряда

**Обертання снаряда** стабілізує його політ у повітрі, не даючи йому «перекидатися», але швидке обертання снаряда викривляє його траєкторію.

На дальність польоту також впливає **протидія повітря**, що залежить від сили і напрямку вітру, а також щільності повітря. Це особливо помітно при метанні диска і списа, де виявляється помітна аеродинамічна сила, яка залежить від планерувальних властивостей снарядів.

### Точність в переміщуючих діях

Термін **точність руху** характеризує його відповідність вимогам рухового завдання. Тому будь-яка рухова дія може бути виконана лише при умові достатньо точного її виконання.

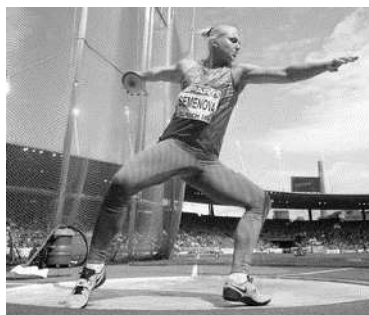
Оцінюючи **точність переміщуючої рухової дії**, мають на увазі відхилення траєкторії руху спортивного приладу, який ми переміщуємо, від певної точки або зони простору, наприклад від центру мішені для стрільби, баскетбольного кошика, футбольних воріт тощо (цільова точність або точність попадання), або від наперед однозначно обумовленої траєкторії руху чи конкретного способу виконання дії (точність відтворення). Відповідно й механізми забезпечення **цільової точності** і **точності відтворення** істотно між собою відрізняються.

Цільова точність забезпечується в процесі виконання:

- замаху, ударного руху і фази контакту – удари в бойових мистецтвах, боксі тощо;
- прицілювання і випуску приладу – постріл в стрілкових видах спорту та ігрових;
- замаху, розгону і фінальної фази випуску приладу – метання (рис. 8.17).



а



б



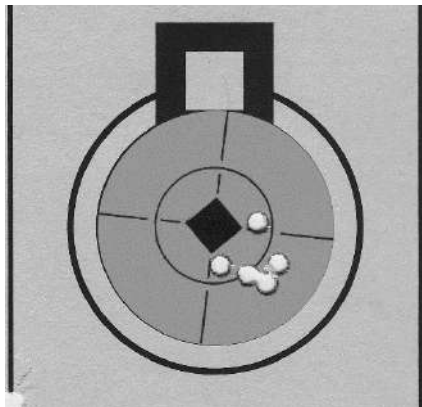
в

Рисунок 8.17. Приклади цільової точності:  
а – в боксі, б – в легкоатлетичних метаннях; в – в баскетболі

Всі ці дії тривають дуже обмежений час і практично не дозволяють здійснювати корекцію рухової дії безпосередньо під час її виконання, що обумовлене обмеженою швидкістю проходження нервових імпульсів по ланцюжку «рецептор-кондуктор-кора-кондуктор-м'яз».

Цільова точність характеризується величиною відхилення від цілі праворуч-ліворуч та вперед-назад (вгору-додолу). Відхилення середньої точки попадання від центра мішені називають **систематичною похибкою**. Розсіювання результатів попадання в ціль найчастіше має нормальний закон розподілу, який характеризується середньоквадратичним (стандартним)

відхиленням. Величина, обернена стандартному відхиленню, називається **кучністю**, яка характеризує точність переміщуючих дій при відсутності систематичної похибки (рис. 8.18). В загальному випадку для об'єктивної оцінки цільової точності необхідно знати: систематичні похибки і кучність попадання в обох напрямках (наприклад праворуч-ліворуч та вгору-додолу).



*Рисунок 8.18. Кучність стрільби*



*Рисунок 8.19. Точність відтворення у фігурному катанні*

У деяких випадках цільову точність оцінюють за відсотком попадань (наприклад у ворота, в баскетбольний кошик, у силует тощо). Точність ударних рухів досягається найважче, адже час їх виконання – найменший, і не дозволяє по ходу виконання вправи виправляти помилки. Похибка попадання по м'ячу у футболі на один сантиметр призводить до відхилення його від потрібної траєкторії вже через 20 м аж на два метри. Точність метання характеризується швидкістю вильоту тіла за рахунок роботи м'язів ніг і тулуба та корегуючими діями рук. Правильно побудовані металеві рухові дії дозволяють виправляти по ходу їх виконання відхиляючі помилки. В обох випадках цільова точність залежить від правильно вибраного напрямку і величини вектору швидкості вильоту тіла.

Точність відтворення передбачає постійну корекцію дій протягом усього виконання вправи, використовуючи при цьому центральний і периферичний цикли взаємодії тіла людини й навколишнього середовища. Керуюча дія головного мозку (команди м'язам) змінюється як в залежності від сигналів, що поступають від самих м'язів у процесі їх скорочення з метою забезпечення заданого руху, так і в залежності від сигналів, що поступають з інших рецепторів тіла людини (зір, слух, тактильні і кінестезійні відчуття тощо), які реагують на відповідь зовнішнього середовища (зовнішні впливи), викликану виконанням цієї дії (рис. 8.19).

Точність відтворення оцінюється за відхиленнями тіла, яке переміщують, від заданої траєкторії та швидкості руху в конкретні моменти часу, які називають граничними позами та положеннями. Найчастіше у випадку завдань на відтворення застосовується спосіб експертної оцінки (художня гімнастика, акробатика, обов'язкова програма у фігурному ковзанні).

**ТЕМА 9**  
**БІОМЕХАНІКА ОБЕРТАЛЬНИХ РУХІВ.**  
**ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТІЛА**  
**ЗМІСТ**

1. Біомеханічні особливості виконання обертових рухових дій.
2. Керування рухами навколо осей.
3. Стійкість та її оцінювання.
4. Види рівноваги тіла людини.
5. Особливості збереження рівноваги тіла при виконанні фізичних вправ.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Адашевський В.М. Конспект лекцій з біомеханіки спорту. Харків : НТУ «ХП», 2019. 72 с.
2. Андреева Р. Біомеханіка і основи метрології. Херсон, 2015. 226 с.
3. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М. Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
4. Зацюрский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981. С. 8 - 18, 50 - 59.
5. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
6. Козубенко О.С., Тупеев Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ: навч.-метод. посібник. Миколаїв, 2015. 215с.
7. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
8. Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Вибрані лекції з біомеханіки. Львів, 2017. 141 с.
9. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 154с.
10. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - <http://lib.sportedu.ru/>
11. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
12. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099/>

**Біомеханічні особливості виконання обертових рухових дій**

**Обертовий рух** твердого тіла – це вид простого руху, при якому всі точки тіла рухаються по колах з центрами на спільній осі. Сума двох або трьох обертових рухів (одночасне обертання довкола двох або трьох осей) – це **сферичний рух тіла**: всі його точки рухаються по сферах зі спільним центром (який знаходиться в точці перетину осей обертання). При біомеханічних розрахунках найчастіше вивчають обертання біологів відносно кожної з осей окремо, а потім сумують одержані результати: таким чином сферичний рух представляється, як сума більш простих обертових рухів.

Обертання тіла у просторі можна представити у вигляді складного обертання навколо трьох осей. Це можуть бути осі прямокутної системи координат, проте у даному випадку зручніше користуватися системою координат (кутами) Ейлера (рис. 9.1). Три кути Ейлера визначаються наступним чином:

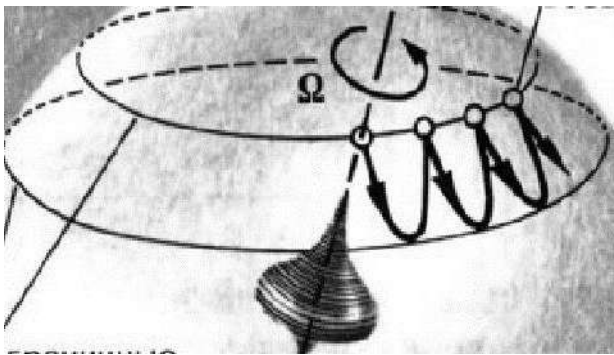
Кут *прецесії*  $\alpha$  це кут між віссю  $x$  і віссю  $N$ .

Кут *нутації*  $\beta$  це кут між віссю  $z$  і віссю  $Z$ .

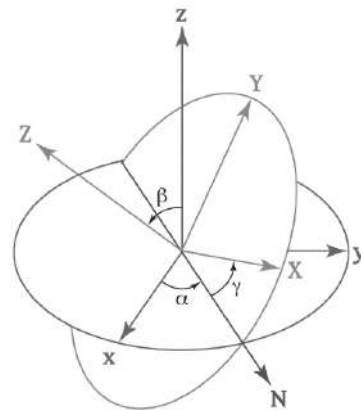
Кут *власного обертання*  $\gamma$  це кут між віссю  $N$  і віссю  $X$ .

Наприклад, дзига обертається (рис. 9.1):

- довкола власної осі (власне обертання);
- вісь її обертання описує криву конічну поверхню довкола іншої осі (прецесія);
- кут між цими двома осями змінюється (нутація). Коли обертання нетривале з відносно невеликою швидкістю, помітним є тільки власне обертання.



а



б

Рисунок 9.1. Сферичний рух:  
а – обертання дзиги; б – ейлерові кути

Виконуючи обертання довкола осей, людина утримує все тіло, або окремі його частини на криволінійних траєкторіях, або змінює кривизну цих траєкторій, забезпечуючи необхідну кінематику та динаміку рухової дії, яка виконується. У деяких випадках швидкість обертового руху зростає або зменшується: обертання прискорюється або сповільнюється. Обертові рухи завжди включають у себе елементи власне обертання, сферичного руху, а також радіальний поступальний рух уздовж радіуса до осі або від осі обертання, який змінює сам обертовий рух (рис. 9.2).

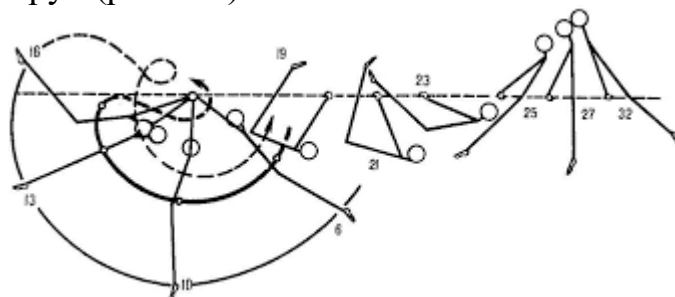


Рисунок 9.2. Обертання тіла у просторі

Рух тіла довкола осі обертання відбувається лише при наявності утримуючого тіла, що викликає *доцентрове прискорення*. Навіть при

рівномірному обертанні (коли кутова швидкість обертового руху не змінюється), напрямок вектору лінійної швидкості руху всіх точок тіла, що обертається, постійно змінюється. А внаслідок цього виникає нормальне (радіальне) прискорення, яке спрямоване до центра обертання. Це прискорення й одержало назву доцентрового (за напрямком його вектора).

Доцентрове прискорення викликане дією зовнішньої сили, яка має такий самий напрямок, і також називається **доцентровою силою**. Джерелом цієї зовнішньої сили є зовнішнє – утримуюче тіло, яким може бути спортивний прилад (наприклад, бруси, перекладина), опорна поверхня, інша особа (наприклад, партнер чи суперник у спорті), або протилежна частина тіла людини (наприклад, при обертанні без опори довкола осей, що обов'язково проходять через ЦМТ). Але якщо дія утримуючого тіла припиняється, то завдяки своїй інертності тіло продовжує рух по дотичній до попередньої траєкторії.

При обертовому русі певної частини тіла довкола суглобової осі утримуючим тілом виступає сусідня частина тіла, а доцентровою силою є реакція зв'язку зі сторони цього утримуючого тіла на м'язові тяги та дію суглобових зв'язок. Частина тіла, що обертається, діє на утримуюче тіло **відцентровою силою** – реальною силою інерції, рівною за величиною і протилежно спрямованою, ніж доцентрова сила.

Величина доцентрового прискорення при обертанні тіла залежить від швидкості обертання та відстані до осі обертання (рис. 9.3):

$$a_{\text{дц}} = V^2 / r \text{ (м/с}^2\text{)}$$

де  $a_{\text{дц}}$  - доцентрове прискорення, м/с<sup>2</sup> ;

$V$  - лінійна швидкість руху центра мас тіла по колу, м/с;

$r$  - відстань від ЦМТ до осі обертання, м.

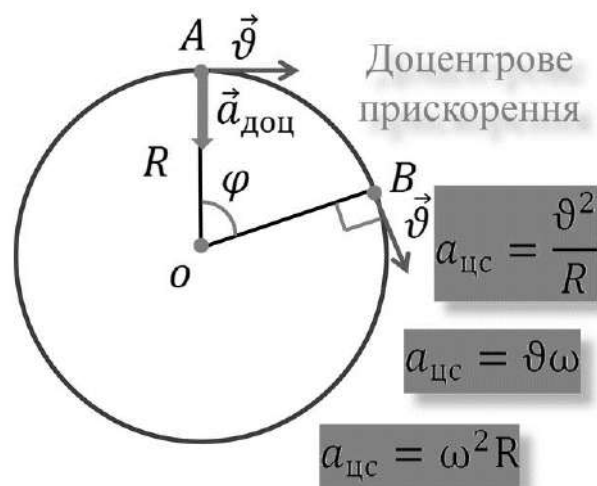


Рисунок 9.3. Визначення доцентрового прискорення

Зміна обертового руху тіла, що характеризується збільшенням або зменшенням його кутової швидкості, може бути здійснена лише **моментом зовнішньої сили** – ця сила мусить бути перпендикулярною до радіуса



обертання та не проходить через центр обертання. Оскільки до кожного реального тіла завжди прикладені гальмівні сили, що протидіють обертанню, наприклад, тертя між тілом та віссю обертання, опір середовища тощо, тому збільшення кутової швидкості можливе лише при позитивній різниці між моментами рушійних та гальмівних сил.

Момент зовнішньої сили, прикладений до тіла, що обертається, викликає його кутове прискорення, що обернено пропорційне моменту інерції цього тіла відносно осі обертання:

$$M_z = I \cdot \varepsilon \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

де  $M_z$  - момент зовнішньої сили, Н · м;

$I$  - момент інерції тіла, кг · м<sup>2</sup> ;

$\varepsilon$  - кутове прискорення, 1 / с<sup>2</sup> .

**Імпульс моменту сили** (добуток моменту сили на час) викликає відповідну зміну кутової швидкості обертання:

$$\Delta\omega = Sz : I \text{ (1/с)}$$

де  $Sz$  - імпульс моменту сили ( $Sz = I \cdot \Delta\omega$  - кінетичний момент);

$I$  - момент інерції тіла, кг/м<sup>2</sup>

Оскільки момент інерції тіла постійний, то досягти збільшення кутової швидкості можна лише за рахунок позитивної різниці між рушійним та гальмівним моментами. Таким чином, моменти сили, прикладені до тіла, що обертається, можуть або прискорювати, або сповільнювати його обертання. Момент сили тяжіння, що діє на тіло гімнаста, який вільно гойдається на поперечці, прискорює його рух, коли він рухається дотолу, і сповільнює обертання тіла при русі вгору (рис. 9.4).

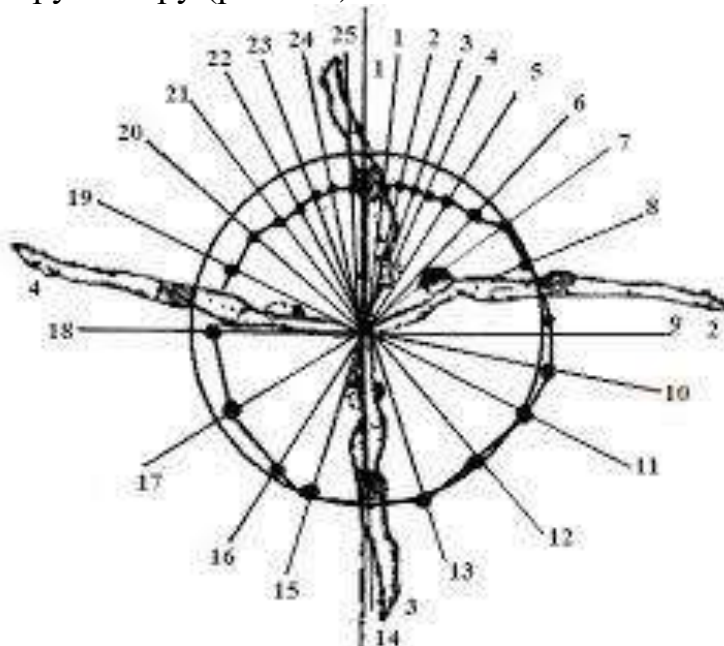


Рисунок 9.4. Вільний обертовий рух тіла

З точки зору перетворення енергії, цей процес можна описати, як поступовий перехід потенціальної енергії положення тіла гімнаста вгорі в

кінетичну енергію руху його тіла внизу, та навпаки – при подальшому русі вгору. Якщо у кожному циклі коливань до системи підводити певну порцію енергії (у вигляді прискорювального моменту), призначену для компенсації тертя рук об поперечку й опору повітря, то коливання могли б продовжуватися необхідний час і навіть (при збільшенні підводу енергії) збільшуватися за амплітудою. Якщо гімнаст при підйомі вгору зігне ноги в кульшових, або в колінних суглобах, момент інерції відносно осі обертання стане меншим, а кутова швидкість, згідно з теоремою про зміну імпульсу механічної системи, зросте (кінетичний момент біомеханічної системи за відсутності зовнішнього моменту повинен зберігатись постійним), причому у стільки ж разів, у скільки змінився момент інерції.

Таким чином, **кутова швидкість обертання** системи біолонок може змінюватися або під дією моментів зовнішніх сил, або за рахунок змін моменту інерції системи відносно осі обертання. Керування рухами довкола осей зі зміною кінетичного моменту біомеханічної системи здійснюється за рахунок **моментів зовнішніх сил**, для чого необхідне їх джерело – зовнішнє тіло. Обертаний рух тіла можна змінити моментом зовнішньої сили при збереженні його пози. Наприклад, тренер може за рахунок своєї м'язової роботи розгойдати, підкрутити, загальмувати або зупинити обертання тіла свого вихованця, який виконує обертанні рухові дії. При цьому, навіть без попереднього обертання, стороння особа може надати тілу людини, яке рухалось поступально, обертання (наприклад, у боротьбі, акробатиці, при розгойдуванні дитячого ліжечка чи гойдалки). Змінюючи момент інерції тіла відносно осі обертання за рахунок згинання ніг або підтягування на руках ближче до осі обертання, людина, розгойдуючись, змінює **плече прикладання зовнішньої сили** – сили тяжіння, завдяки чому від циклу до циклу кутова швидкість руху тіла зростає або зменшується (рис. 9.5).

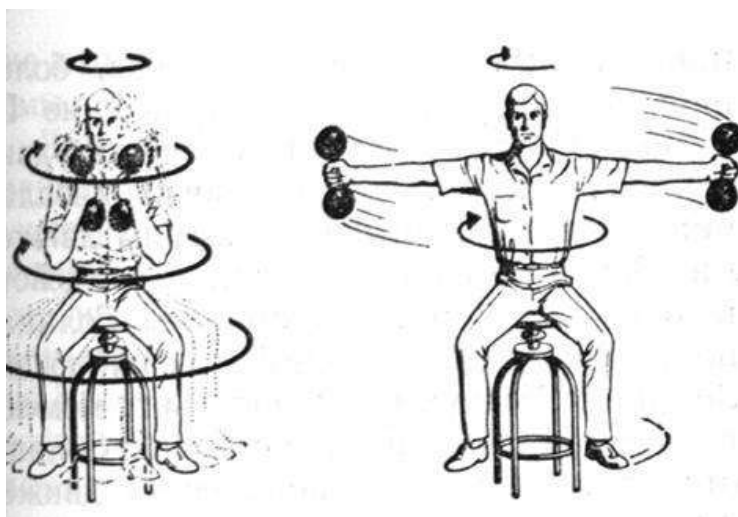


Рисунок 9.5. Зміна моменту інерції тіла

Це досягається шляхом зменшення від'ємної роботи сили тяжіння при гальмуванні тіла, яке рухається вгору, за рахунок активних м'язових тяг, що наближають та віддаляють центр мас від опори.

При відштовхуванні від опори, а також за рахунок рухів у кистях рук завдяки силі тертя між долонями та поперечкою, можна привести систему в обертний рух (за рахунок штучного створення моменту зовнішньої сили). При цьому обертання може відбуватися як довкола горизонтальної осі, так і довкола поздовжньої (несиметричне відштовхування від опорної поверхні ногами або від поперечки, брусів, гімнастичного коня – руками).

Таким чином, **зміна обертного руху системи** зі зміною кінетичного моменту системи можлива (рис. 9.6):

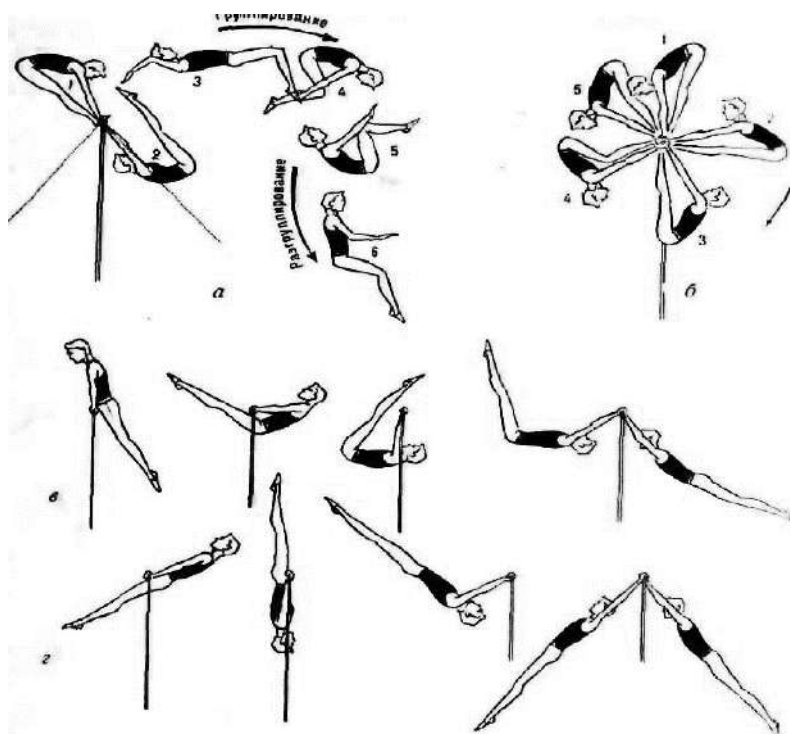


Рисунок 9.6. Зміна обертного руху системи

- за рахунок моментів зовнішніх сил, обумовлених дією інших осіб (тренер, суперник або інших тіл (м'яч) при збереженні пози;
- за рахунок зміни пози (моменту інерції відносно осі обертання) при фіксованій осі обертання;
- при активному створенні обертного моменту зовнішніх сил при відштовхуванні або притягуванні до опори.

Наявність утримуючого тіла – опори – створює умови для обертного руху. Реакція опори утримуючого тіла служить доцентровою силою. Існує інший спосіб наближення тіла до осі обертання – розгинання рук у плечових суглобах (тіло стає випрямленим). В результаті цього руху гімнаст починає підйом в упор в протилежну сторону із швидкістю, достатньою для завершення вправи в положенні упору на поперечці, або стійки на кистях.

## Керування рухами навколо осей

Існують два принципово різних способи керування обертаннями навколо осі.

**Перший спосіб** – при відсутності зовнішніх сил, за рахунок зміни моменту інерції. Оскільки маса тіла постійна, цей спосіб зводиться до зміни радіуса інерції, наприклад, при групуванні або виході з нього. Тут діє закон збереження кінетичного моменту, відповідно до якого кінетичний момент тіла залишається незмінним, якщо сума моментів зовнішніх сил, прикладених до тіла дорівнює нулю. При зміні радіуса інерції змінюється момент інерції, і змінюється кутова швидкість.

**Другий спосіб** керування обертальним рухом – за рахунок імпульсу моменту сили. Причому імпульс сили може створюватися як при відштовхуванні від опори, так і в безопорному положенні. Наприклад, парашутист у вільному польоті може змінювати позу, використовуючи силу протидії повітря.

**Обертові рухи із збереженням рівноваги тіла.** У прикладних видах спорту часто приходиться вирішувати завдання збереження рівноваги тіла під час його руху по криволінійній траєкторії (найчастіше – при проходженні поворотів траси). Класичними завданнями у цьому випадку є:

- розрахунок найбільшої кривизни (найменшого радіуса) траєкторії руху велосипедиста (мотоцикліста, ковзаняра, бігуна, гірськолижника тощо) та відповідного йому максимального нахилу до поверхні траси при заданій лінійній швидкості руху та коефіцієнті тертя шин (взуття, лиж) і покриття траси;
- розрахунок найбільшої кривизни (найменшого радіуса) траєкторії руху автомобіля (саней, боба, безмоторного візочка тощо) без його перекидання, при заданій лінійній швидкості руху та коефіцієнті тертя шин (полозів) і покриття траси. В обох випадках розв'язок завдання полягає у вивченні сил, які діють на біомеханічну систему.

Показавши сили, що діють на систему «велосипедист-велосипед» при проходженні криволінійної ділянки траси, можна виявити наступне (рис. 9.7):

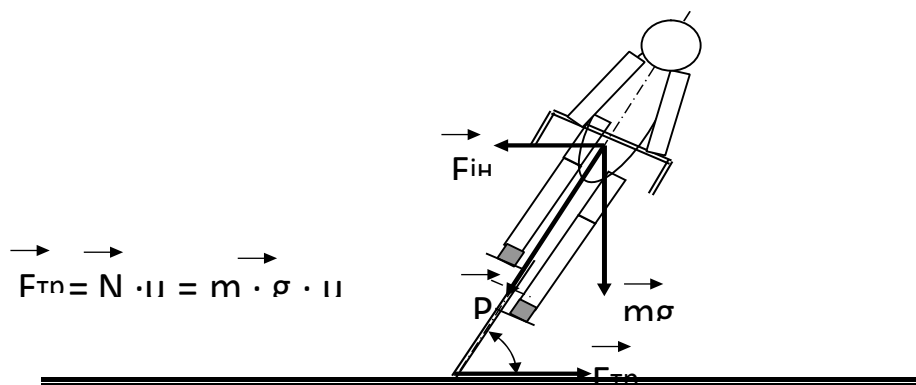


Рисунок 9.7. Рух біомеханічної системи велосипедист-велосипед криволінійною траєкторією

- утримуючим тілом біомеханічної системи, що рухається криволінійною траєкторією, є опорна поверхня (покриття траси);
- доцентровою утримуючою силою є сила тертя  $F_{тр}$  між шинами коліс і покриттям опорної поверхні;
- на біомеханічну систему діє сила тяжіння  $mg$  і сила інерції

$$F_{ин} = m a = V r,$$

які врівноважуються реакцією опори:

$$R = - (F_{ин} + m \cdot g) \text{ (Н)}$$

- вертикальна складова реакції опори врівноважує притискаючу силу  $N$ , рівну силі тяжіння біомеханічної системи  $mg$ ;
- горизонтальна складова реакції опори – сила тертя – врівноважує силу інерції. Звідси:

$$F_{тр} = \mu mg = F_{ин} = ma = (mV^2) / r \text{ (Н)}$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя;  $r$  - радіус повороту.

Для визначення кута нахилу системи, що відповідає знайденому мінімальному радіусу повороту при заданій лінійній швидкості руху біомеханічної системи використаємо обумовлену заданим коефіцієнтом тертя нерівність:

$$F_{ин} < F_{тр} = \mu mg \text{ (Н)}$$

Тому у вказаних видах спорту стараються знизити масу біомеханічної системи до мінімально допустимої, якомога нижче опустити ЦМТ і використати шини (взуття, ковзани, лижі тощо) з максимальним коефіцієнтом зчеплення з покриттям траси.

### Стійкість тіла та її оцінювання

У фізичних вправах людині нерідко необхідно зберігати нерухоме положення тіла: наприклад, вихідні положення – стартові дії; кінцеві положення – фіксація штанги після її підняття тощо; проміжні – упор кутом на кільцях тощо. У всіх таких випадках тіло людини як біомеханічна система знаходиться в рівновазі. У рівновазі можуть знаходитися і тіла, пов'язані зі збереженням положення людиною (наприклад, штанга, партнер в акробатиці).

**Стійкість** – це здатність системи, явища, процесу або тіла повертатися у вихідне положення після припинення відхиляючої дії.

Утримання пози (кути в суглобах) і розташування та орієнтації свого тіла в просторі відносно площі опори здійснюється шляхом урівноважуванні зовнішніх сил, що діють на тіло таким чином, аби їх сума (головний вектор) та сума їх моментів (головний момент) відносно ЦМТ завжди були рівними нулю (рис. 9.8). Внутрішні сили повинні тим часом забезпечити збереження пози. Щоб зберегти положення тіла, людина повинна перебувати в рівновазі. Положення тіла визначається його позою, його орієнтацією і місцем розташування в просторі, а також відношенням до опори.

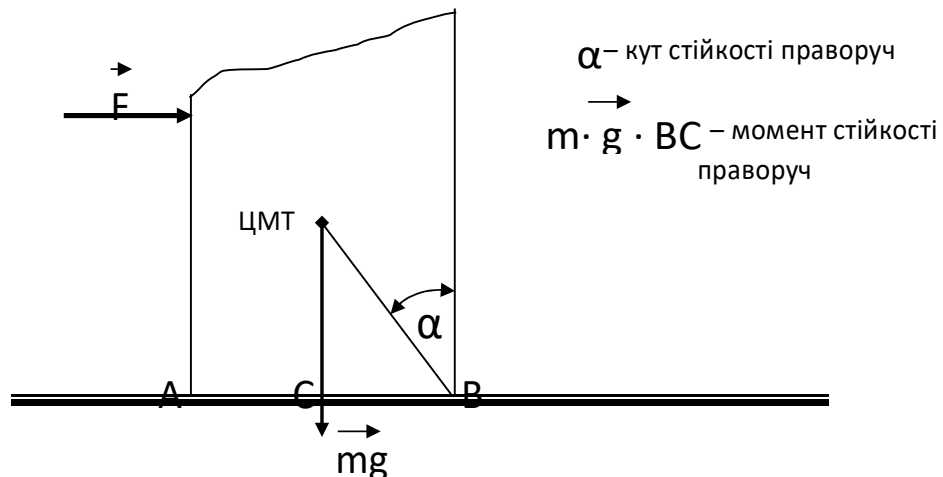


Рисунок 9.8. Кут стійкості і момент стійкості тіла, що знаходиться у рівновазі

Отже, для збереження положення тіла людині потрібно фіксувати позу і не допускати, щоб прикладені сили змінили позу і перемістили його тіло з даного місця в якомусь напрямі або викликали його поворот щодо опори.

**Для рівноваги тіла людини** (системи тіл) необхідно, щоб головний вектор і головний момент зовнішніх сил були рівні нулю, а всі внутрішні сили забезпечували зберігання пози (форми системи). Якщо головний вектор і головний момент дорівнюють нулю, тіло не зрушується та не повернеться, його лінійне і кутове прискорення дорівнюють нулю. Для системи тіл ці умови також необхідні, але вже недостатні. Рівновага тіла людини як системи тіл вимагає ще **збереження пози тіла**. У різних людей існують свої граничні пози, які вони в змозі зберігати.

**Вид рівноваги твердого** тіла визначається за дією сили тяжіння у разі малого відхилення (рис. 9.9):

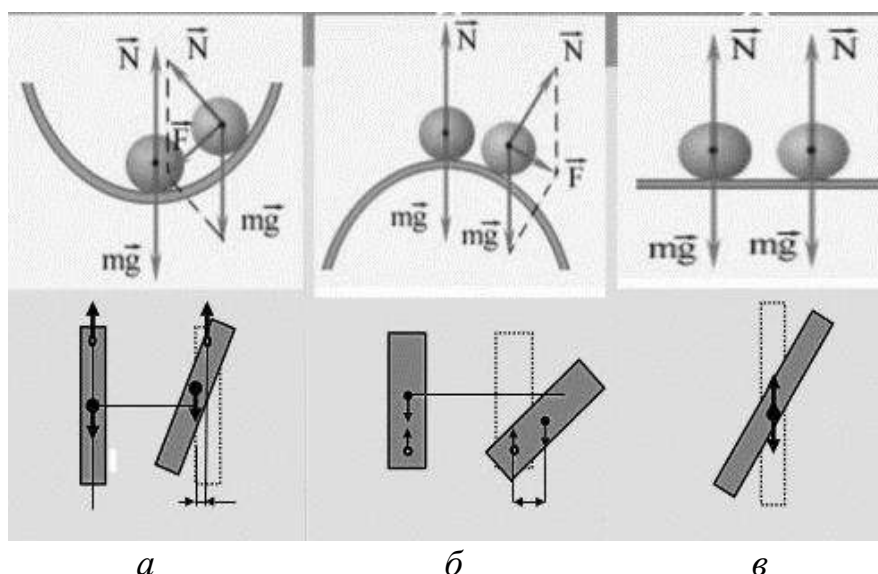


Рисунок 9.9. Види рівноваги: а – стійка; б – нестійка; в - байдужа

- а) **байдужа рівновага** – дія сили тяжіння не змінюється;
- б) **стійка рівновага**, яка завжди повертає тіло в попереднє положення (виникає момент стійкості);
- в) **нестійка рівновага**, за якої дія сили тяжіння завжди викликає перекидання тіла (виникає момент перекидання);
- г) **обмежено-стійка рівновага** – до потенційного бар'єру положення тіла відновлюється (виникає момент стійкості), після нього тіло перекидається (виникає момент перекидання).

Вони різняться поведінкою тіла, яке незначно відхиляє від положення рівноваги. У випадку повного збереження пози тіла людини («затвердіння»), до нього застосовані закони рівноваги твердого тіла.

Для визначення міри стійкості тіла, що взаємодіє з нижньою опорою коефіцієнт стійкості визначається відношенням значення моменту стійкості до величини перевертаючого моменту:

$$K_{ст} = \frac{M_{ст}}{M_0} = \frac{G h}{Pl}$$

Причому, якщо  $K_{ст} > 1$  – то положення тіла стійке,

при  $K_{ст} = 1$  – тіло буде знаходитися в граничному положенні його стійкості

при  $K_{ст} < 1$  – тіло опиняється в нестійкому положенні.

**Байдужа рівновага** характеризується тим, що за будь-яких відхиляючих силах зберігається рівновага. Кулю, циліндр, круговий конус на горизонтальній площині (нижня опора) можна повернути як завгодно, і вони залишаться в спокої. Лінія дії сили тяжіння в такому тілі (або, як кажуть, коротше лінія тяжіння) завжди проходить через точку опори, збігається з лінією дії сили опорної реакції; вони врівноважують один одного. У спортивній техніці байдужої рівноваги ні на суші, ні у воді практично **не зустрічається**.

**Стойка рівновага** характеризується поверненням тіла в попереднє положення при будь-якому відхиленні. Вона є стійкою при малому відхиленні з двох причин: а) створюється запас потенційної енергії в полі земного тяжіння, центр ваги тіла піднімається вище; б) лінія тяжіння не проходить через опору, з'являється плече сили тяжіння і виникає момент сили тяжіння, який повертає тіло (із зменшенням потенціальної енергії) в попереднє положення. Така рівновага зустрічається у людини **при верхній опорі**. Наприклад, гімнаст у висі на кільцях; вільна верхня кінцівка. Сила тяжіння тіла сама повертає тіло в попереднє положення.

**Нестійка рівновага** характеризується тим, що мале відхилення викликає ще більше відхилення і тіло саме в попереднє положення повернутися не може. Таке положення спостерігається при нижній опорі, коли тіло має точку або лінію опори. Під час відхилення тіла: а) центр тяжіння опускається нижче, убуває потенційна енергія в полі земного тяжіння; б) лінія тяжіння з відхиленням тіла віддаляється від точки опори, збільшуються плече і момент сили тяжіння, який все далі відхиляє тіло від попереднього положення. Нестійка рівновага в природі є **майже нездійсненною**.

Під час виконання фізичних вправ найчастіше зустрічається ще один вид рівноваги, коли має місце бути **площа опори, розташована внизу (нижня опора)**. При незначному відхиленні тіла центр його тяжіння піднімається і з'являється момент стійкості. При цьому спостерігаються ознаки сталої рівноваги, а момент сили тяжіння тіла поверне його в попереднє положення. Але це триває лише при відхиленні до певних меж, поки лінія тяжіння не дійде до краю площі опори. У цьому положенні вже виникають умови **нестійкої рівноваги**: при подальшому відхиленні тіло перекидається; при найменшому відхиленні у зворотний бік – повертається в попереднє положення. Межі площі опори відповідає вершина «потенційного бар'єру» (максимум потенційної енергії). В межах між протилежними бар'єрами («потенційна яма») у всіх напрямках здійснюється обмежено-стійка рівновага.

Стійкість тіла характеризується його здатністю протидіяти порушенню рівноваги, зберігати положення. Розрізняють статичні показники стійкості як здатність чинити опір порушенню рівноваги і динамічні як здатність відновити рівновагу.

**Статичним показником стійкості** твердого тіла служить (в обмежено-стійкому рівновазі) коефіцієнт стійкості. **Динамічним показником стійкості** твердого тіла служить кут стійкості. Це кут, утворений лінією дії сили тяжіння і прямої, що з'єднує центр ваги з відповідним краєм площі опори.

У разі рівноваги біомеханічної системи для застосування динамічних показників стійкості потрібно врахувати істотні уточнення.

*По-перше*, площа ефективної опори людини не завжди співпадає з поверхнею опори (рис. 9.10).

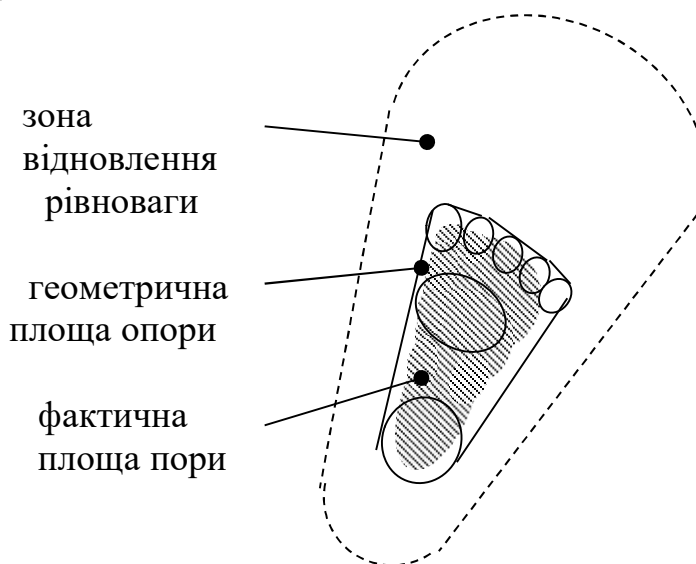


Рисунок 9.10. Фактична, геометрична площа опори спортсмена та зона відновлення рівноваги

У людини, як і у твердого тіла, поверхня опори обмежена лініями, які з'єднують крайні точки опори (або зовнішні краї декількох площ опори). Але у людини часто межа площі ефективної опори розташована всередині контуру



опори, так як м'які тканини (стопа босоніж) або «слабкі» ланки (кінцеві фаланги пальців в стійці на руках на підлозі) не можуть урівноважити навантаження. Тому лінія перекидання переміщується досередини від краю опорної поверхні, площа ефективної опори стає меншою площі опорної поверхні.

*По-друге*, людина ніколи не відхиляється всім тілом відносно лінії перекидання (як кубик), а переміщується відносно осей будь-яких суглобів, що не зберігаючи повністю пози (наприклад, при положенні стоячи – рух в гомілковостопних суглобах).

*По-третє*, при наближенні до граничного стану нерідко стає важко зберегти позу і настає не просто перекидання “отверділого тіла” навколо лінії перекидання, а зміна пози з падінням. Це суттєво відрізняється від відхилення і перекидання твердого тіла навколо грані перекидання.

Таким чином, кути стійкості в обмежено-стійкій рівновазі характеризують динамічну стійкість як здатність відновити рівновагу. При визначенні стійкості тіла людини необхідно також враховувати межі площі ефективної опори, надійність збереження пози до граничного положення тіла і реальну лінію перекидання.

Збереження положення тіла людини досягається управлінням силами у рухах компенсаторного, амортизуючого та відновлювального характеру, в результаті яких ЗЦТ тіла людини при коливаннях залишається в зоні збереження положення або повертається в неї із зони відновлення положення.

У збереженні положення для тіла людини характерні коливання, в межах яких діють умови рівноваги. Тому ЗЦТ не займає положення в одній єдиній точці, а переміщується в певних зонах.

**Оптимальна зона положення ЗЦТ** – найбільш відповідає завданню збереження необхідного положення. Відповідне положення не завжди найбільш зручне; нерідко складніше його зберегти, ніж при відомих відхиленнях від необхідного; це найменша зона.

**Зона збереження положення** – переміщення ЗЦТ в межах цієї зони ще не призводить до повного порушення положення (наприклад, над «потенційною ямою» в обмежено-стійкій рівновазі). Але наближення ЗЦТ до її меж загрожує втратою рівноваги; межі цієї зони визначаються умовами рівноваги системи тіл і можливостями збереження пози. Вона більша, ніж оптимальна зона, і включає її в свої межі.

**Зона відновлення положення** – переміщення ЗЦТ в цю зону для механічної системи неминує, оскільки в ній уже порушуються умови рівноваги. Неживе тіло з цієї зони не може саме вернутися в попереднє положення, а людина, використавши необхідні зовнішні сили, ще може відновити положення. Ця зона оточує ззовні зону збереження рівноваги, але не включає її в свої межі.

Для осіб різної фізичної підготовленості ці зони неоднакові. Для менш підготовлених зона збереження положення зменшена; у них менше площа ефективної опори, і вони при менших відхиленнях втрачуть можливість

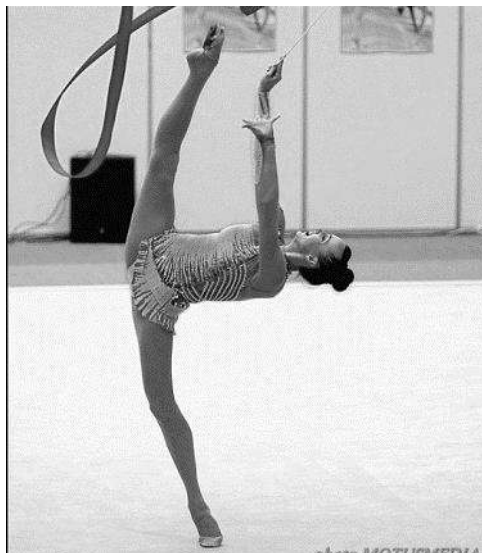
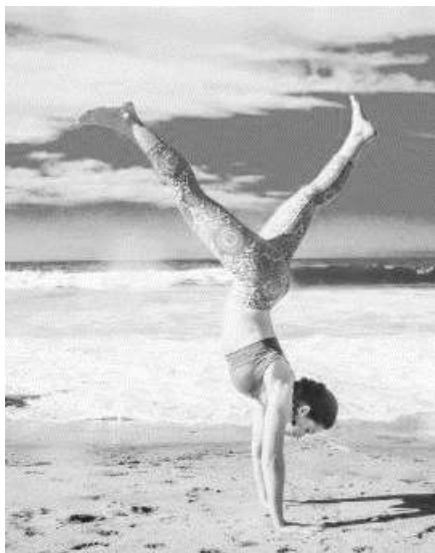
утримати позу. Для них зона відновлення положення також звужена, оскільки у них менший запас сил і спритності, щоб зуміти відновити положення.

У боротьбі за збереження положення використовується як ослаблення дії рушійних сил, так і посилення дії урівноважуючих сил (рис. 9.11).

**Компенсаторні рухи** виникають в той момент, коли рушійні сили переміщують частину ланок тіла. Компенсаторні рухи попереджають можливе виведення ЗЦТ із зон збереження положення або навіть з оптимальної. Компенсаторні рухи нейтралізують ефект рушійних сил. Вони виконуються одночасно з рухами, що загрожують втратою рівноваги, і, як правило, автоматично.

**Амортизаційні рухи** дозволяють ЗЦТ переміщатися в зоні збереження положення. Ці рухи розтягують у часі дію рушійних сил, зменшують їх ефект. Часто вони збільшують дію урівноважуючих сил. Вони, як і компенсаторні рухи, відбуваються одночасно з дією рушійних сил.

**Відновлюючі рухи** повертають ЗЦТ із зони відновлення положення в зону збереження положення. Вони можуть також переміщати ЗЦТ і всередині останньої (наприклад, в оптимальну зону)



*Рисунок 9.11. Приклади компенсаторних та відновлюючих рухів*

Часом уся рухова дія або її елемент і полягають у постійній корекції положення ЦМТ людини в межах невеликої площі опори. У багатьох випадках для діагностики координаційних здібностей, відбору і контролю спортсменів тощо часто використовується стабілографія, результати якої дозволяють оцінити вміння досліджуваних утримувати проєкцію ЦМТ над невеликою площею.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Адашевський В.М. Конспект лекцій з біомеханіки спорту. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. 72 с.
2. Андрєєва Р. Біомеханіка і основи метрології. Херсон, 2015. 226 с.
3. Ахметов Р. Ф., Максименко Г. М., Кутек Т. Б. Легка атлетика: Підручник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. 340 с.
4. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ. Житомир, 2004. 124с.
5. Ашанин В. С. Биомеханика : [учеб. пособие]. Харьков, 2000. 64 с.
6. Базилевич Н.О., Ільченко С.С. Лижний спорт. Навчальний посібник. Умань: ВПЦ «Візаві», 2014. 258 с.
7. Бернштейн Н.А. Біомеханіка та фізіологія рухів. М.: МОДЕК, МПСІ. 2004. 688 с.
8. Биомеханика плавания. Под общ. ред. Зациорского В.М. М.: ФиС, 1981. 136с.
9. Біомеханіка спорту. Під ред. А.М.Лапутіна. Київ, 2005. 319 с.
10. Біомеханіка спорту: Навч. посібн.: А.М. Лапутін, В.В. Гамалій, О.А. Архипов, В.О. Кашуба, М.О. Носко, Т.О. Хабінець. Київ, 2001. 319 с.
11. Біомеханічні аспекти руховий якостей : вибрані лекції з кінезіології : метод. посіб. для студ. ЛДУФК. О. Ю. Рибак, Л. І. Рибак. Львів, 2012. 72 с.
12. Болобан В.Н. Методика стабиллографии в исследованиях устойчивости тела спортсмена и системы тел при выполнении гимнастических и акробатических упражнений: Метод, рекомендации. Киев, 1990. 24 с.
13. Бранков Г. Основы биомеханики. М.: Мир, 1981. 254 с.
14. Глухих Ю.М., Серебряков Г.Н. Основы динамічної морфології. Омськ, 1998. 112с.
15. Гросс Х.Х. Педагогическая кинезиология — новое направление в спортивной педагогике и биомеханике. *Теория и практика физ. культуры*. 1979. № 9. С.7-10.
16. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. 264 с.
17. Дубровский В.И. Биомеханика. М.: Владос прес, 2008. 256с.
18. Зациорский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А. Биомеханические основы выносливости. М.: ФиС, 1982. 208с.
19. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: ФиС, 1981.144с.
20. Иванов В.В. Комплексный контроль в подготовке спортсменов. Москва, 1987. 256с.
21. Иссурин В.Б. Биомеханика гребли на байдарках. М.: ФиС, 1986.112с.
22. Карченкова М.В. Теоретичні та методичні основи навчання з дисципліни «Біомеханіка фізичних вправ»: Методичний посібник. Переяслав-Хм., 2001. 38с.
23. Кашуба В.О., Гамалій В.В., Хабінець Т.О. Біомеханіка: методичний посібник для студентів, що навчаються за індивідуальним графіком і ФЗН. Київ, 2018. 63с.

- 24.Клінічна біомеханіка / Под ред. В. І. Філатова. Львів, 1980. 200 с.
- 25.Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ. Миколаїв, 2015. 215 с.
- 26.Конспективний курс з біомеханіки: Навчальний посібник . Укл. С.В. Мединський. Чернівці, 2004. 134 с.
- 27.Коренберг В.Б. Основы качественного биомеханического анализа. М.: ФиС, 1979. 209с.
- 28.Крук М.З., Биканов С.Р., Крук А.З. Теорія і методика викладання плавання: Навчально-методичні матеріали для студентів факультету фізичного виховання і спорту. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2010. 108 с.
- 29.Ланка Я.Е., Шалманов А.А. Биомеханика толкания ядра. М.: ФиС, 1982. 72с.
- 30.Лапутин А.Н. Практическая биомеханика. К.: Науковий світ, 2000. 298 с.
- 31.Лапутин А.Н., Уткин В.Л. Технические средства обучения: Учеб. пособие для ин-тов физ. Культуры. М.: Физкультура и спорт, 1990. 80 с.
- 32.Лапутін А. М. Носко М.О., Кашуба В.О. Біомеханічні основи техніки фізичних вправ. К. : Наук. світ, 2001.201 с.
- 33.Лапутін А.М., Носко М.О., Кашуба В.О. Біомеханічні основи техніки фізичних вправ. Київ, 2001. 201 с.
- 34.Мишин А.Н. Биомеханика движений фигуриста. М.: ФиС, 1981. 144с.
- 35.Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016, 115 с.
- 36.Навчальна програма. Біомеханіка фізичного виховання та спорту. М.О. Носко, С.В. Гаркуша, Л.В. Жула, Г.Ю. Куртова. Чернігів, 2006. 16 с.
- 37.Носко М. О., Бріжаний О. В., Гаркуша С. В., Бріжата І. А. Біомеханіка фізичного виховання і спорту. Київ, 2012. 286 с.
- 38.Носко М.О., Гаркуша С.В. Біомеханіка фізичного виховання та спорту. Лабораторний практикум. Чернігів, 2007. 44 с.
- 39.Носко Н.А. Педагогические основы обучения молодежи и взрослых движениям со сложной биомеханической структурой. К.: Науковий світ, 2000. 336с.
- 40.Основні напрямки наукових досліджень в галузі біомеханіки спорту за кордоном (1980-1986): Огляд. інформ. /ВНДІ фіз. культури; Підгот. М.П. Дементьєвої 33 с.20 см М. Отд. дослідні. і розраб. НТІ "Спорт" 1986 1987
- 41.Петр Благуш. К теории тестирования двигательных способностей. М., 1982. 168с.
- 42.Петров В., Гагин Ю. Механика спортивных движений. М.: ФиС,1974. 232с.
- 43.Практикум по биомеханике. Под общ. ред. Козлова И.М. М.: ФиС, 1980. 120с.
- 44.Рибак О. Ю., Сапужак І. Я. Сучасні методики біомеханічного аналізу рухових дій. Львів, 1997. 25 с.
- 45.Сироткіна І.Є. Біомеханіка між наукою і мистецтвом. *Питання історії природознавства і техніки*. 2011. № 1. С. 46-70.
- 46.Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. 210 с.

47. Федорова В.М., Дубровський В.І. Біомеханіка. М.: Владос-Пресс, 2008. 669 с.
48. Хмельницька І.В. Біомеханічний відеокомп'ютерний аналіз спортивних рухів: Метод. посібн. К.: Наук. світ, 2000. 56 с.
49. Энока Р.М. Основы кинезиологии. К.: Олимпийская литература, 1998. 408 с.
50. Язловецький В. С. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Кіровоград, 2003. 138 с.
51. <http://flogiston.ru/library/bernstein> - [flogiston.ru / library / bernstein](http://flogiston.ru/library/bernstein)  
<http://lib.sportedu.ru/>
52. <http://lib.sportedu.ru/press/tpfk/1996n11/p4-9.htm>
53. [https://sport.sfedu.ru/smiming\\_book\\_online/modul\\_2.html](https://sport.sfedu.ru/smiming_book_online/modul_2.html) Чертов Н.В.  
Плавание. Электронный учебник.
54. <http://www.geneticsafety.orgwww.nkj.ru/archive/articles/2099>
55. [http://www.spinesurgery.ru/netcat\\_files/383/271/h\\_84c9202b01cf195304641c61c23fc703](http://www.spinesurgery.ru/netcat_files/383/271/h_84c9202b01cf195304641c61c23fc703)
56. <http://www.vinci.ru/3/tezaurus/9/index.html>
57. <http://ru.wikipedia.org/wiki/ST-150>
58. [yandex.ru/dict/krugosvet/article/2/24/1011902.htm](http://yandex.ru/dict/krugosvet/article/2/24/1011902.htm)