

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ І СПОРТУ**

Суріков В.Є.

# **БІОМЕХАНІКА РУХОВИХ ДІЙ СПОРТСМЕНА**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
ДЛЯ АУДИТОРНОЇ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТІВ**

**ДНПРО  
2018**

УДК [7А.06]

Суріков В.Є. Біомеханіка рухових дій спортсмена – Дніпро: ПДАФКіС, 2018. – 94с.

Навчальний посібник для самостійної роботи студентів затверджено на засіданні кафедри анатомії, біомеханіки і спортивної метрології (протокол № 2 від 10. 10. 2018 р.),  
рекомендовано до друку Науково-методичною радою ПДАФКіС (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2018 р.).

Біомеханіка – це галузь науки, що вивчає рухові можливості і рухову діяльність живих істот. При цьому найбільший практичний інтерес представляє вивчення рухів людини і вищих тварин. Можна також сказати, що біомеханіка – це наука про закони механічного руху в живих системах (біосистемах).

Біомеханіка спорту як навчальна дисципліна вивчає рухи людини в процесі фізичних вправ. Загальна задача вивчення рухів людини в біомеханіці спорту – оцінка ефективності прикладення сил для більш довершеного досягнення поставленої мети. Будь-яке вивчення рухів у кінцевому рахунку направлене на те, щоб допомогти краще виконувати їх. Перш, ніж приступити до розробки кращих способів дій, необхідно оцінити вже існуючі. Звідси витікає загальна задача біомеханіки, яка зводиться до оцінки ефективності способів виконання руху, що аналізується. При такому підході зіставляють те, що є в рухах з тим, що потрібно.

Сучасна біомеханіка містить наступні основні розділи: загальна біомеханіка, приватна біомеханіка, диференціальна біомеханіка.

Загальна біомеханіка вирішує теоретичні проблеми і допомагає довідатися, як і чому людина рухається. Загальна біомеханіка вивчає наступні питання: біомеханічні характеристики тіла людини і його рухів, тіло людини як біомеханічна система, біомеханіка рухових дій, біомеханіка рухових якостей.

В посібнику розглянуто наступні питання: біомеханічні характеристики тіла людини і його рухів, тіло людини як біомеханічна система, біомеханіка рухових дій.

За допомогою розглянутих понять і визначень представлена механічна рухів. Ця полягає в тому, що закони механіки справедливі для будь-яких об'єктів, зокрема для об'єктів живої природи. Освоєння приведених понять сприяє більш грамотному осмисленню явищ, що відбуваються при зміні положень тіла людини, формуванні рухової активності і взаємозв'язків між силовими діями в системі спортсмен - навколишнє середовище, явищ і

закономірностей енергетичного обміну і ін. Отже, застосовуючи терміни і поняття механіки рухів до біологічних систем, можна вивчати причинно-наслідкові зв'язки і прийоми формування тренувальних і змагань вправ.

Навчальний посібник повинен полегшити студентам другого курсу інституту вивчення теорії біомеханіки спорту при аудиторній та самостійній підготовці до іспитів.

Рецензент     О. О. Власюк, к.фіз.вих., доцент кафедри гімнастики  
Придніпровської державної академії фізичної культури і спорту

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	<b>5</b>
<b>I. ПРЕДМЕТ І МЕТОДИ БІОМЕХАНІКИ</b> .....	<b>7</b>
1.1. Мета курсу.....	7
1.2. Біомеханіка як наука про рухи людини.....	7
1.3. Форми руху.....	8
1.4. Особливості механіки рухів у живих системах .....	9
1.5. Коротка історія розвитку біомеханіки. Напрямки біомеханіки .....	10
1.6. Структура сучасної біомеханіки.....	11
1.7. Методи досліджень у біомеханіці .....	13
1.8. Послідовність біомеханічного аналізу .....	14
1.9. Оптимізація рухової діяльності і критерії оптимальності .....	17
1.10. Зв'язок біомеханіки з іншими науками .....	18
<b>2. БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТІЛА ЛЮДИНИ І ЇЇ РУХІВ</b> .....	<b>20</b>
2.1. Кінематичні характеристики.....	20
2.1.1. Системи відліку відстані і часу .....	21
a. Система відліку відстані .....	21
b. Система відліку часу.....	23
c. Інерціальні і неінерціальні системи відліку.....	23
2.1.2. Просторові характеристики.....	24
2.1.3. Часові характеристики.....	28
2.1.4. Просторово-часові характеристики.....	30
2.2. Динамічні характеристики .....	33
2.2.1. Інерційні характеристики .....	34
2.2.2. Силкові характеристики .....	36
2.3. Енергетичні характеристики .....	40
<b>3. ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК</b> .....	<b>46</b>
<b>4. ТІЛО ЛЮДИНИ ЯК БІОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА</b> .....	<b>47</b>
4.1. Біокінематичні ланцюги .....	47
4.2. Біомеханічна система .....	60
4.2.1. Будова біомеханічної системи.....	62
4.2.2. Основні процеси в біомеханічній системі.....	64
<b>5. БІОМЕХАНІКА РУХОВИХ ДІЙ</b> .....	<b>67</b>
5.1. Геометрія мас тіла .....	67
5.1.1. Загальний центр мас тіла людини (ЗЦМ).....	67
5.1.2. Моменти інерції тіла.....	71
5.1.3. Центр обсягу і центр поверхні тіла .....	72
<b>6. СИЛИ В РУХАХ ЛЮДИНИ</b> .....	<b>73</b>
6.1. Зовнішні щодо системи сили .....	73
6.1.1. Сили інерції зовнішніх тіл.....	73
6.1.2. Сили пружної деформації.....	75
6.1.3. Сили ваги і вага.....	75
6.1.4. Сила реакції опори.....	77
6.1.5. Сила дії середовища.....	78
6.1.6. Сили тертя.....	80
6.2. Внутрішні щодо системи сили .....	82
6.2.1. Сили м'язової тяги.....	83
6.2.2. Сили пасивної взаємодії .....	83
<b>КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</b> .....	<b>86</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>91</b>

## ВСТУП

Механіку, як розділ фізики, що вивчає механічний рух і механічне взаємодію матеріальних тіл, викладають у середній школі.

У інститутах і коледжах фізичної культури студентам викладається курс біомеханіки. Термін "біомеханіка" походить від двох грецьких слів: *bios* – життя і *mechané* – знаряддя.

Біомеханіка – це частина науки, що вивчає рухові можливості і рухову діяльність живих істот. При цьому найбільший практичний інтерес представляє вивчення рухів людини і вищих тварин.

Можна також сказати, що біомеханіка – це наука про закони механічного руху в живих системах (біосистемах).

Біомеханіка спорту як навчальна дисципліна вивчає рухи людини в процесі фізичних вправ.

Основною задачею біомеханіки фізичних вправ є оцінка ефективності прикладення сил для більш довершеного досягнення поставленої мети. Рішення цієї задачі обумовлене повнотою і коректністю відповідей на питання: яка будова, властивості і рухові функції тіла спортсмена. Якою є спортивна техніка, яким чином повинен здійснюватися процес технічного удосконалення спортсмена? Найбільш змістовні відповіді на ці питання можуть бути отримані в рамках біомеханіки. Її метою є обґрунтування, розрахунок і реалізація технології формування рухових дій, що забезпечують досягнення запланованих результатів. При цьому у якості точки відліку беруть запланований результат і технології будують виходячи із розрахованих або зареєстрованих величин діючих сил, лінійних та кутових швидкостей і прискорень.

Сучасна біомеханіка містить такі основні розділи:

- 1) загальна біомеханіка;
- 2) приватна біомеханіка;
- 3) диференціальна біомеханіка.

Загальна біомеханіка вирішує теоретичні проблеми і допомагає довідатися, як і чому людина рухається.

Загальна біомеханіка вивчає такі питання:

- біомеханічні характеристики тіла людини і його рухів;
- тіло людини як біомеханічна система;
- біодинаміка м'язів;
- біомеханіка рухових дій;
- біомеханіка рухових якостей.

Приведені зведення охоплюють основні питання біомеханіки спорту.

Метою є навчити майбутніх фахівців з фізичної культури та спорту методам аналізу закономірностей управління руховими діями людини, основам теорії біомеханічних вимірювань та побудови фізичних вправ і надати знання щодо збору, аналізу і обробки експериментальних даних з застосуванням статистичних методів і сучасних інформаційних технологій, які використовуються в галузі фізичного виховання, спорту і фізичної реабілітації.

Метою даного методичного посібника є створення керівництва для аудиторної і самостійної роботи студентів при підготовці до складання іспиту.

# I. ПРЕДМЕТ І МЕТОДИ БІОМЕХАНІКИ

## 1.1. Мета курсу

Мета курсу полягає в наступному:

- 1) ознайомлення з біомеханічними основами фізичних вправ (наприклад, з основами спортивної техніки);
- 2) навчання ефективному застосуванню фізичних вправ як засіб фізичного виховання і підвищення рівня спортивних досягнень;
- 3) оволодіння методами біомеханічного обґрунтування техніки фізичних вправ.

Головна увага приділяється викладу понять і законів біомеханіки і викладу методів біомеханічного обґрунтування спортивної техніки, опанувавши якими можна успішно вивчати будь-який рух.

## 1.2. Біомеханіка як наука про рухи людини

Термін "біомеханіка" походить від двох грецьких слів: *bios* – життя і *mechané* – знаряддя.

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

Біомеханіка – це галузь науки, що вивчає рухові можливості і рухову діяльність живих істот. При цьому найбільший практичний інтерес представляє вивчення рухів людини і вищих тварин.

Можна також сказати, що біомеханіка – це наука про закони механічного руху в живих системах (біосистемах).

У самому широкому змісті до живих систем (біосистем) належать:

- 1) цілісні організми (наприклад, людина);

2) внутрішньоорганізменні системи (тобто органи і тканини людини, рідини і гази в них і т.д.);

3) об'єднання організмів (наприклад, спільно діюча пара акробатів, протидіючі борці й ін.).

Біомеханіка спорту як навчальна дисципліна вивчає рухи людини в процесі фізичних вправ.

При цьому розрізняють:

- об'єкт пізнання – це рухові дії спортсмена, що представляються як системи взаємно зв'язаних активних рухів;

- область вивчення – це механічні і біологічні причини рухів, а також особливості рухових дій у різних умовах, що залежать них.

### **1.3. Форми руху**

Розвиток матерії відбувався в такий спосіб: від неживої матерії до живого, від живої до мислячої. При цьому для послідовних структурних рівнів матерії характерні усе більш складні властивості і закономірності існування і розвитку.

За Ф. Енгельсом усі форми руху поділяються на дві групи:

1) прості форми руху – а) механічна, б) фізична, в) хімічна – (вони виявляються як у неживій, так і в живій природі);

2) складні, вищі форми руху – а) біологічна (усе живе), б) соціальна (суспільні відносини, мислення).

Кожна вища форма містить у собі більш прості форми. Найпростіша – механічна – вона існує скрізь. Чим вище форма руху, тим менш істотна для неї механічна форма.

На кожному рівні рух характеризується більш високою формою. Вища форма володіє своєю якісною специфікою і "незводима" до нижчих форм (тобто не можна, напр., мислення звести просто до суми механічних,



фізичних і хімічних рухів). Однак вищі форми нерозривно зв'язані з нижчими.

У біомеханіці вивчаються рухові дії людини, що включають у себе механічний рух. Саме він являє собою безпосередню мету рухових дій людини (переміститися самому, перемістити снаряд, супротивника, партнера і т.п.).

Але при цьому механічний рух здійснюється при визначальній участі в руховій дії більш високих форм руху.

Тому біомеханіка набагато складніше механіки неживих тіл, вона якісно відрізняється від механіки неживих тіл.

#### **1.4. Особливості механіки рухів у живих системах**

Механічний рух у живих системах виявляється як:

- 1) пересування всієї біосистеми щодо її оточення (середовища, опори, фізичних тіл);
- 2) деформація самої біосистеми, тобто пересування одних її частин щодо інших (у біомеханіці зміна конфігурації системи, тобто тіла людини, умовно розглядається як деформація – позна деформація).

Механічний рух людини, досліджуваний у біомеханіці спорту, відбувається під дією: 1) зовнішніх механічних сил (ваги, тертя й ін.) і 2) сил тяги м'язів (ці сили керуються центральною нервовою системою і, слід., обумовлені фізіологічними процесами).

Тому для досить повного розуміння природи живого руху необхідно не тільки вивчення власне механіки рухів, але і їхньої біологічної сторони. Саме вона визначає причини організації механічних сил.

Особливих законів механіки для живого світу не існує, проте потрібно враховувати не тільки механічні особливості живих об'єктів, але і біологічні (вплив стомлення, шляхи удосконалювання рухів і ін.).

## **1.5. Коротка історія розвитку біомеханіки. Напрямки біомеханіки**

Перші наукові праці про рух живих істот були написані Аристотелем (384-322 р. до н.е.), якого цікавили закономірності руху наземних тварин і людини. Архімедом (287-212р. до н.е.) закладені основи наших знань про рухи у воді.

На становлення біомеханіки вплинули видатні мислителі минулого: римський лікар Гален (131-201 р.), Леонардо да Вінчі (1452-1519 р.), Мікеланджело (1475-1564 р.), Галілео Галілей (1564-1642 р.), Ісаак Ньютон (1642-1727 р.), учень Галілея Джованні Альфонсо Бореллі (1608-1679 р.) – автор першої книги з біомеханіки "Про рухи тварин", що вийшла у світ в 1679 р.

І.М. Сеченов (1829-1905 р.), П.Ф. Лесгафт (1837-1930 р.), А.А. Ухтомський (1875-1942 р.) і засновник вітчизняної біомеханічної школи Н.А. Бернштейн (1896-1966р.) багато зробили для розвитку біомеханіки праці і спорту.

На розвиток біомеханіки вирішальний вплив зробив розвиток механіки, тому що теоретична механіка містить всі основні закони механічного руху. Крім того, у біомеханіці стали застосовувати дані таких самостійних наук, як аеро- і гідродинаміка, теорія механізмів і машин, опір матеріалів. Усе більш широко використовуються математичні науки, причому не тільки для статистичної обробки зібраного матеріалу, але й у самостійних методах дослідження (математичне моделювання).

З біологічних наук у біомеханіці більш інших використовувалися дані анатомії і виділилася з її (у XVI-XVII віках) фізіології. Великий вплив на біомеханіку зробили функціональна анатомія, ідеї нервізму в сучасній фізіології, навчання про вищу нервову діяльність і останні дані нейрофізіології.

У процесі розвитку біомеханіки склалися три її основних напрямки:

- 1) механічний;
- 2) функціонально-анатомічний;
- 3) фізіологічний.

Вони існують і в даний час, не окремо, а в ряді питань, навіть доповнюючи один одного.

## **1.6. Структура сучасної біомеханіки**

Сучасна біомеханіка містить такі основні розділи:

- 1) загальна біомеханіка;
- 2) приватна біомеханіка;
- 3) диференціальна біомеханіка.

Загальна біомеханіка вирішує теоретичні проблеми і допомагає довідатися, як і чому людина рухається.

При цьому головною задачею вивчення рухів, зокрема в біомеханіці спорту, є оцінка ефективності докладання сил для більш зробленого досягнення поставленої мети (тобто знайти зроблені способи рухових дій і навчити краще їх виконувати).

Ця задача має яскраво виражену педагогічну спрямованість і її найбільш повне рішення в спорті дає матеріал, необхідний для проведення науково обґрунтованого тренувального процесу.

Даний розділ біомеханіки дуже важливий для практики фізичного виховання і спорту, тому що "немає нічого практичніше гарної теорії".

Приватна біомеханіка розглядає конкретні питання технічного і тактичного підготування в окремих видах спорту і різновидах масової фізкультури.

Основними задачами при цьому є:

- вивчення (з погляду біомеханіки) будови опорно-рухового апарата спортсмена, його механічних властивостей і функцій (тобто вивчення самих спортсменів, їхніх особливостей і можливостей);

- вивчення рухів і рухових дій у різних видах спорту (тобто вивчення існуючої спортивної техніки і розробка нової, більш раціональної);

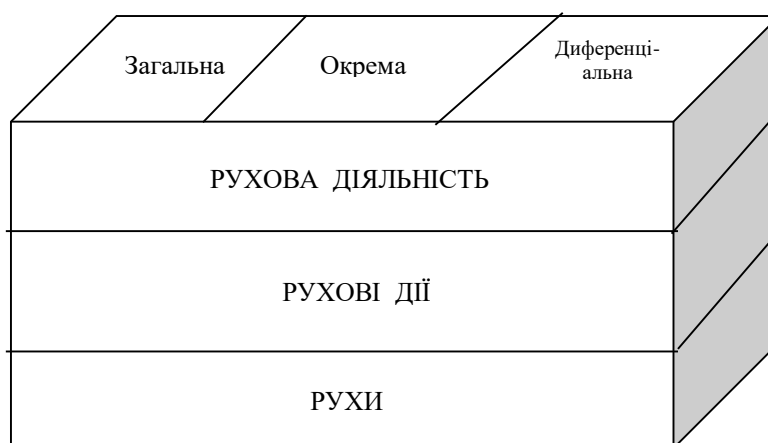
- розробка методів технічного удосконалювання спортсмена (тобто підбір допоміжних вправ, створення тренажерів для спеціальної фізичної і технічної підготовки, оцінка і контроль ефективності застосовуваних методів).

Основне питання окремої біомеханіки – як навчити людину правильно виконувати різноманітні рухи.

Диференціальна біомеханіка вивчає індивідуальні і групові особливості рухових можливостей і рухової діяльності.

При цьому враховується диференціація за віком, статі, стану здоров'я, рівнем фізичної підготовленості, спортивної кваліфікації і т.п.

Структура сучасної біомеханіки може бути представлена в такий спосіб (див. мал.).



Основним об'єктом вивчення в біомеханіці є рухова діяльність, яка може мати такі рівні:

- 1) рух;
- 2) рухові дії;

### 3) рухова діяльність.

На першому рівні фактичні дані для дослідження рухів добуваються частіше всього в експериментах з ізольованими м'язами й іншими частинами тіла тварин. Рухи окремих частин тіла об'єднані в керовані системи рухів, цілісні рухові акти (наприклад, гімнастичні вправи, прийоми гри у баскетбол і ін.). Кожен рух виконує свою роль у цілісній дії.

На другому рівні біомеханіка вивчає й удосконалює техніку рухових дій (наприклад, техніку стрибка, удару, кроку і т.д.). Рухові дії здійснюються за допомогою довільних активних рухів, викликаних і керованих роботою м'язів. "У нормі людина робить не просто рух, а завжди дії", – сказав Н.А. Бернштейн. Дії людини завжди мають мету, визначений зміст.

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, штрафний удар у футболі – з розбігу й удару ногою по м'ячу). Рухові дії в такому ланцюзі взаємопов'язані і взаємообумовлені. Тому рухова діяльність – це система рухових дій.

## 1.7. Методи досліджень у біомеханіці

У біомеханічних дослідженнях розрізняють функціональний і системно-структурний підходи до аналізу рухової діяльності.

Функціональний підхід дозволяє вивчати функціональні залежності між властивостями і станами окремих явищ. Такий підхід дає нам тільки констатацію визначених залежностей, але не дає рекомендацій з усунення, виправлення небажаних станів.

Системно-структурний підхід дає більш конкретні рекомендації. При цьому використовуються системний аналіз (тобто поділ систем рухів на складові частини) і системний синтез (тобто облік взаємозв'язків і побудова

загальної структури системи рухів). Найбільше широко розповсюдженим прийомом системно-структурного підходу є виконване за визначеними правилами поділ рухової дії на часткові ("фази").

Функціональний і системно-структурний підходи до аналізу й удосконалювання рухової діяльності доповнюють один одного.

При тактичній підготовці рухові дії вважаються "неподільними цеглинками", з яких складається рухова діяльність. При цьому застосовується системно-структурний підхід.

При технічній підготовці детально вивчається взаємодія м'язів, кісток, суглобо-зв'язкового апарата. При цьому застосовується функціональний підхід.

У сучасній біомеханіці гармонійно переплітаються ідеї і методи оптимізації рухової діяльності, функціонального і системно-структурного підходів, автоматизованого контролю за техніко-тактичною майстерністю, моделювання техніки і тактики на ЕОМ.

Однак головним усе-таки залишаються думку і працю дослідника, що осягає закономірності рухів, і педагога, що використовує ці досягнення в навчальному і тренувальному процесах.

## **1.8. Послідовність біомеханічного аналізу**

Процедура біомеханічного аналізу (тобто аналізу рухової діяльності людини) містить наступні етапи:

1) Вивчення зовнішньої картини рухової діяльності (кінематичні характеристики і хронограми).

На цьому етапі з'ясовують, з яких дій складається рухова діяльність, і в якому порядку рухові дії впливають один за одним.

Заняття з фізичної культури складається з ряду вправ. Потрібно враховувати, що характер, тривалість і інтенсивність попередніх вправ впливають на якість виконання наступних.

Приклад – на баскетбольному тренуванні, якщо під час розминки почати піднімати штангу, підтягуватися на поперечині і т.д., то очікувати високої точності влучень по кошику годі й говорити. Чи навпаки, якщо займатися інтенсивним бігом, стрибками і т.п., а потім відразу ж почати виконувати ювелірну гімнастичну комбінацію, то оцінка не буде високою.

При вивченні зовнішньої картини рухової діяльності реєструють:

а) кінематичні характеристики (будуть розглянуті в наступному розділі);

б) хронограми рухових дій і рухової діяльності (на яких графічно відображається тривалість окремих частин руху – фаз).

Хронограма рухової дії характеризує техніку.

Хронограма рухової діяльності – це перше, на що звертають увагу при аналізі спортивної техніки.

2) З'ясування причин, що викликають зміни рухів (динамічні характеристики).

Ці причини недоступні візуальному контролю, і для їхнього аналізу необхідно реєструвати динамічні характеристики (будуть розглянуті в наступному розділі).

Найважливіше значення тут мають величини сил: зовнішніх (тобто діючих на людину ззовні) і внутрішніх (тобто створюваних власними м'язами людини).

3) Визначення топографії працюючих м'язів (зняття електроміограм).

При цьому виявляється, які м'язи і як беруть участь у виконанні даної вправи (знаючи, які м'язи переважно забезпечують рухову діяльність, до якої готує себе людина, можна з безлічі фізичних вправ відібрати сприятливі розвитку саме цих м'язів і їхньої координації).

В залежності від того, яка частина всієї м'язової маси тіла задіяна, розрізняють наступні види м'язової роботи:

а) глобальна (більш  $2/3$ ).

Приклад – бігуни, плавці, лижники й ін.

б) регіональна (від  $1/3$  до  $2/3$ ).

Приклад – Деякі загальнорозвивальні гімнастичні вправи (підтягування на жердині, піднімання ніг у положенні лежачи на спині).

в) локальна (менш  $1/3$ ).

Приклад – стискання, розгинання тренувального м'яча чи гумового кільця в руці (працюють тільки згиначі кисті і пальців).

Для визначення того, які м'язи працюють, використовується реєстрація їх активності чи електроміографія. При цьому на визначенні точки тіла накладаються електроди, і сигнали записуються на папір у виді електроміограми (чим вище електрична активність м'яза, тим більше амплітуда електроміограми). Отримують так називаний електроміографічний портрет рухів.

4) Визначення енергетичних витрат і доцільності витрати енергії м'язами, що працюють (енергетичні характеристики).

Для відповіді на ці питання реєструють енергетичні характеристики (будуть розглянуті у наступному розділі).

Поряд з величинами енерговитрат важлива економічність (чи к.п.д.).

Приклад – підраховано, що підвищення к.п.д. бігу на 20% переміщає бігуна з 10-го на 1-і місце.

5) Виявлення оптимальних рухових режимів (критерії оптимальності).

Під цим розуміється виявлення найкращої техніки рухових дій і найкращої тактики рухової діяльності.

Це питання зважується на заключному етапі біомеханічного аналізу. При цьому оцінюється відповідність реальних оптимальних варіантів техніки і тактики, що мають місце.

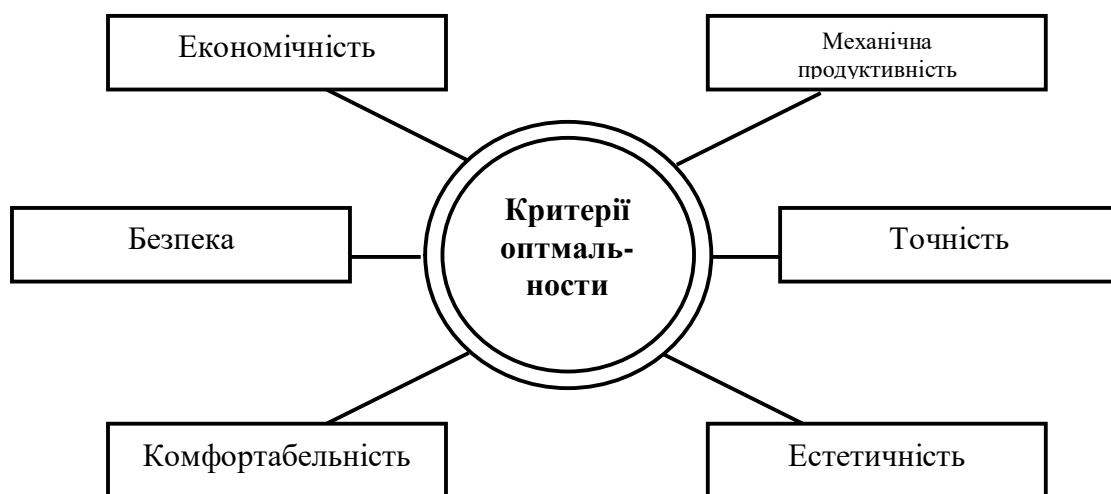


## 1.9. Оптимізація рухової діяльності і критерії оптимальності

Оптимізація рухової діяльності - це вибір найкращого варіанта з числа можливих.

При цьому розглядаються критерії оптимальності рухової діяльності.

В залежності від мети рухової діяльності розрізняють такі критерії оптимальності:



Розглянемо приведені критерії докладніше:

1. Економічність рухової діяльності обернено пропорційна енергії, що витрачається на одиницю виконуваної роботи чи метр пройденого шляху (це найважливіший критерій оптимальності).

2. Механічна продуктивність тим вище, чим більший обсяг роботи виконується за визначений час чи чим швидше виконується даний обсяг роботи.

Приклад – у циклічних видах спорту механічна продуктивність оцінюється часом подолання змагальної дистанції. У масовій фізкультурі –

це так називаний 12-ти - хвилинний тест (відстань, яку людина пробіжить чи пропливе за 12 хв.).

3. Точність рухових дій має два різновиди:

а) цільова точність

Приклад – відношення успішне виконаних дій до загального їхнього числа (% попадань у кошик у баскетболі; відхилення крапки влучення чи кулі стріли від центра мишени).

б) точність відтворення

Приклад – виконання "школи" у фігурному катанні.

4. Естетичність оцінюється близькістю кінематики (тобто зовнішньої картини руху) до естетичного ідеалу – загальноприйнятому чи прийнятому у даному виді спорту.

Приклад – фігурне катання, художня гімнастика, синхронне плавання й ін.

5. Комфортабельність оцінюється плавністю рухів (чим менше трясеться тіло при ходьбі, бігу й ін., тим вище комфортабельність рухової діяльності).

6. Безпека тим вище, чим менше імовірність травм.

### **1.10. Зв'язок біомеханіки з іншими науками**

Біомеханіка посідає особливе положення серед наук про фізичне виховання і спорт. Вона базується на анатомії, фізіології і фундаментальних наукових дисциплінах – фізиці (механіці), математиці і теорії керування.

Окрім інших медико-біологічних і педагогічних дисциплін біомеханіка використовує досягнення обчислювальної техніки й інформатики, а також сучасний апарат статистичного аналізу.

Але головне – біомеханіка служить сполучною ланкою між теорією і практикою фізичного виховання, спорту і масової фізичної культури.

Спираючись на знання біомеханіки, педагогу легше учити своїх вихованців.

Біомеханіка як одна з біологічних наук нового типу починає зближатися по методам досліджень з точними науками.

Загальна біомеханіка як розділ біофізики виникла на стику фізико-математичних і біологічних областей знання (ці науки взаємно збагачують один одного).

Інженерна біомеханіка стуляється з біонікою, інженерною психологією ("людина і машина"), зв'язана з розробкою роботів, маніпуляторів і ін.

Медична біомеханіка дає обґрунтування ряду методів протезування, травматології, ортопедії, лікувальної фізкультури, космічної медицини.

Біомеханіка спорту використовується для удосконалювання теорії і методики фізичного виховання, лікарського контролю, спортивно-педагогічних і інших дисциплін, які вирішують свої конкретні задачі в області фізичного виховання.

Ергономічна біомеханіка вивчає взаємодію людини з навколишніми предметами з метою їхньої оптимізації.

Але центральним розділом біомеханіки залишається біомеханіка фізичних вправ. Вона вивчає рухову діяльність людини під час спортивних тренувань і змагань, а також у процесі занять масовими й оздоровчими формами фізичної культури.

Безупинно удосконалюючись, біомеханіка фізичних вправ поступово перетворюється в біомеханіку рухової активності, що охоплює всі сторони рухової діяльності людини.

## **2. БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТІЛА ЛЮДИНИ І ЇЇ РУХІВ**

### (ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ)

*Біомеханічні характеристики* – одне з хрестоматійних питань біомеханіки.

Без вільного володіння зведеннями про біомеханічні характеристики так само не можна розраховувати на успіх у вивченні і практичному застосуванні біомеханіки, як можливо читати книгу, не знаючи алфавіту.

У загальному випадку характеристики бувають:

1) кількісні – вони вимірюються чи обчислюються.

При вивченні кількісних характеристик дають визначення (тобто що це таке) і встановлюють спосіб виміру (чим вимірюються).

2) якісні – вони описуються словесно, без точної кількісної міри.

Приклад – вільно, плавно, ривком і т.п.

Біомеханічні характеристики – це показники, використовувані для опису й аналізу рухової діяльності.

У біомеханіці застосовуються три види біомеханічних характеристик:

1) кінематичні – характеризують зовнішню картину рухової діяльності;

2) динамічні – несуть інформацію про причини зміни рухів;

3) енергетичні – дають уяву про механічну продуктивність і економічність.

### **2.1. Кінематичні характеристики**

Кінематика рухів людини визначає геометрію (тобто просторову форму) рухів і їхня зміна в часі (тобто характер) без обліку мас і діючих сил. Вона дає тільки зовнішню картину рухів.

Кінематичні характеристики тіла людини і його рухів - це міри положення і рухи людини в просторі і в часі.

Розрізняють:

- 1) просторові,
- 2) часові,
- 3) просторово-часові кінематичні характеристики.

Перед тим, як познайомитися з цими характеристиками, розглянемо деякі додаткові поняття.

### 2.1.1. Системи відліку відстані і часу

Рухи людини і снарядів можна вимірити тільки, порівнюючи їхнє положення з положенням обраного для порівняння тіла (тіла відліку), тобто всі рухи розглядаються як відносні.

#### а. Система відліку відстані

*Система відліку відстані* – це умовно обране тверде тіло, стосовно якого визначають положення інших тіл у різні моменти часу.

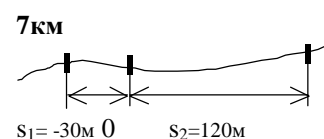
З тілом відліку зв'язують: початок відліку, напрямок виміру відстані і одиниці відліку.

Тіло, що рухається поступально, розглядають або як матеріальну крапку (положення якої визначають), або на ньому виділяють пункти відліку (визначені крапки на тілі людини).

У випадку обертального руху вибирають лінію відліку.

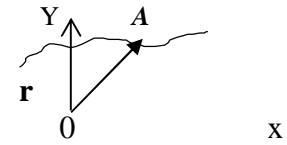
Для опису (завдання) руху застосовують такі способи:

1. Природний – при цьому положення точки (дугова координата  $s$ ) відраховують від початку відліку  $0$ , обраного на заздалегідь відомій



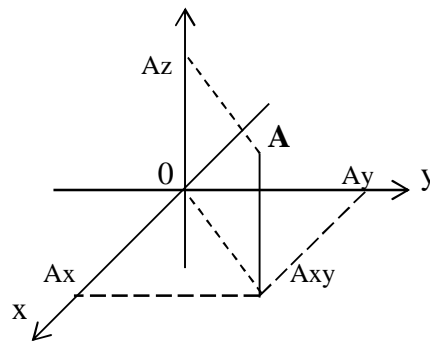
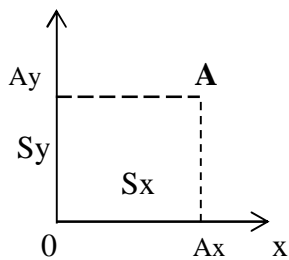
траєкторії.

2. Векторний – при цьому положення крапки визначають радіусом-вектором  $r$ , проведеним з центра  $O$  даної системи координат до точки, яка нас цікавить ( $A$ ).



### 3. Координатний.

Найчастіше використовують спосіб прямокутних координат. При цьому за початок відліку приймають крапку перетинання взаємоперпендикулярних осей  $O$  (початок координат).



Положення точки  $A$  характеризується її координатами  $(S_x, S_y, S_z)$ . **Координати** – це відстані від початку координат  $O$  до проєкцій точки  $A$  на координатні осі, тобто довжини відрізків  $OA_x, OA_y, OA_z$ .

#### Одиниці виміру відстані:

- лінійні: у Міжнародній системі одиниць СІ прийнята основна лінійна одиниця - метр (м), кратна їй - кілометр ( $1\text{км}=1000\text{м}$ ), дольні – сантиметр ( $1\text{см}=0,01\text{м}$ ), міліметр ( $1\text{мм}=0,001\text{м}$ ) і ін.

- кутові – градус, хвилина, секунда при вимірі кутів (окружність-360 , градус-60', хвилина-60"); оборот – при наближеному підрахунку поворотів навколо осі (оборот – 360, пів-обороту – 180 ); радіан – для розрахунків за формулами (радіан-57 17'44,8", 1 - 0,01745 рад).

## **б. Система відліку часу**

У системі відліку часу використовуються початок відліку й одиниці відліку.

За початок відліку приймають: північ – у всіх установах, на транспорті, зв'язку і т.д.,

північ і полудень – у звичайних життєвих умовах, суддівський час ("секундоміри на нуль") – в умовах змагань.

У біомеханіці звичайно за початок відліку приймають момент початку всього руху чи його частини, або момент початку спостереження за рухом.

За одиницю відліку часу приймають секунду (60 с - 1хв, 60 хв – 1 година), частки секунди – десята, сота, тисячна (мілісекунда).

Напрямок перебігу часу у дійсності – від минулого до майбутнього. При дослідженні руху можна відраховувати час і в зворотному напрямку – до минулого (за 0,02 с до удару, 0,05 с до відриву ноги від опори).

## **с. Інерціальні і неінерціальні системи відліку**

У світі не існує абсолютно нерухомих тіл, усі тіла рухаються.

1) Одні з тіл рухаються так, що зміни їхньої швидкості (тобто прискорення) не істотні для рішення даної задачі і ними можна зневажити – це інерціальні системи відліку.

*Приклад* – Земля і тіла, зв'язані з нею нерухомо (бігова доріжка, лижня, гімнастичний снаряд і т.д.)

У подібній системі спочиваючі тіла не випробують дії сил; жодний рух у ній не починається без дії сили.

2) Інші тіла рухаються з прискореннями, що істотно впливають на рішення даної задачі – це неінерціальні системи відліку.

**Приклад** – ковзани, лижі, скейтборд, кільця, що розгойдуються. У таких випадках способи розрахунку і пояснення особливостей руху вже інші, що обов'язково враховувати. У неінерціальних системах відліку мають місце так названі "фіктивні" сили інерції.

### **2.1.2.Просторові характеристики**

До них належать: 1) координати; 2) траєкторії; 3) переміщення.

Просторові характеристики дозволяють визначати:

1. положення тіла (вихідне, кінцеве, проміжні) – за координатами;
2. рух тіла – за траєкторією і переміщенням.

При русі тіло людини (у залежності від поставлених задач) може розглядатися як:

- матеріальна точка (коли переміщення тіла набагато більше, ніж його розміри).

- тверде тіло (коли можна не брати до уваги взаємне переміщення його ланок і деформацію тканин, а лише враховувати його розміри, розташування в просторі й орієнтацію).

#### **Приклад**

При вивченні умов рівноваги; при розгляді обертання тіла в постійній позі.

- система тіл (коли важливі ще й особливості рухів ланок тіла, що впливають на виконання рухових дій).

Тому, визначаючи основні просторові характеристики рухів людини (координати, траєкторії, переміщення), заздалегідь потрібно уточнити, до



якого матеріального об'єкта (точки, тіла, системи тіл) дорівнюють тіло людини.

### **1) Координати**

#### **Точка**

*Координати точки* – це просторова міра місця розташування крапки щодо системи відліку.

*Приклад* – лінійні координати точки  $S_x, S_y, S_z$ .

Формула розмірності:  $[s] = L = \text{м}$ .

#### **Примітка**

Формула розмірності якої-небудь величини показує, як зв'язані з нею основні одиниці Міжнародної системи одиниць (СІ):  $L$  - довжина (м),  $M$  - маса (кг),  $T$  - час (с).

Показник ступеня основної одиниці – це розмірність похідної одиниці.

Положення крапки на лінії визначає одна координата, на площині – дві, у просторі – три.

#### **Тіло**

Положення твердого тіла в просторі можна визначити:

а) по лінійних координатах трьох його точок (що не лежать на одній прямій);

б) по лінійних координатах однієї з точок тіла і кутових координат цієї точки, які характеризують орієнтацію тіла щодо системи відліку.

#### **Система тіл**

Положення системи тіл (наприклад, ланок тіла людини), що може змінювати свою конфігурацію (тобто взаємне розташування ланок), визначають по положенню кожної ланки в просторі.

При цьому зручно використовувати кутові координати (наприклад, суглобні кути) і по них установлювати позу тіла як взаємне розташування ланок.

На практиці сполучають:

1. визначення місця розташування якої-небудь точки (наприклад, ЗЦМ – загального центра мас чи тіла точки опори).
2. визначення пози тіла (тобто взаємного положення ланок).
3. визначення орієнтації тіла (по лінії відліку, проведеної в тілі).

Вивчаючи рух, потрібно визначити:

1. вихідне положення, з якого рух починається.
2. кінцеве положення, у якому рух закінчується.
3. ряд миттєвих проміжних положень, що приймає тіло при русі.

У механіці описати рух (знайти закон руху) – значить визначити положення будь-якої точки системи в будь-який момент часу.

## 2) Траєкторії

Траєкторія точки – це геометричне місце положень крапки, що рухається, у розглянутій системі відліку (простими словами – це безупинна лінія, уявлюваний слід точки, що рухається, просторовий малюнок руху точки).

Для траєкторії визначають такі величини:

1. Довжина – це відстань по траєкторії від початкового положення до кінцевого.

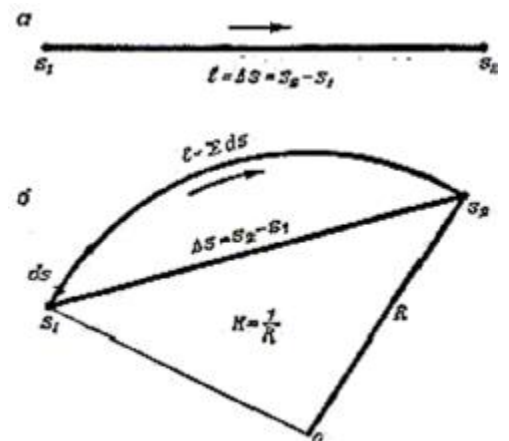
Довжина траєкторії – це шлях крапки  $l$ .

Розмірність  $[l] = L = \text{м}$ .

2. Кривизна – показує, яка форма руху крапки в просторі.

Кривизна  $k$  – це величина, зворотна радіусу кривизни  $R$ :  $k = 1/R$ , розмірність  $[k] = L^{-1} = 1/\text{м}$ .

**Приклад** – якщо траєкторія – дуга окружності, то її радіус кривизни – постійний.



3. Орієнтація в просторі – при одній і тій же формі траєкторії може бути різною.

Для прямолінійної траєкторії орієнтація визначається по координатах крапок початкового і кінцевого положень, для криволінійної траєкторії – по координатах цих двох точок і третьої точки, що не лежить з ними на одній прямій.

### **3) Переміщення**

Переміщення – це не сам рух, а лише його остаточний результат, відстань по прямій і його напрямок від початкового до кінцевого положення.

#### **Точка**

Переміщення точки показує, у якому напрямку і на яку відстань змістилася точка:

$$\boxed{Ds = s_{\text{кон}} - s_{\text{нач}}}, \quad [s] = L = \text{м.}$$

Переміщення визначає розмах і напрямок руху.

При висновку диференціальних рівнянь руху розглядається елементарне переміщення точки  $ds$  (це переміщення точки з даного положення в положення, безкінечно близьке до нього). На криволінійній траєкторії елементарне переміщення вважають рівним шляху.

#### **Тіло**

Переміщення тіла при поступальному й обертальному рухах виміряється по-різному.

Лінійне переміщення тіла (у поступальному русі) можна визначити по лінійному переміщенню будь-якої його точки.

Кутове переміщення тіла (в обертальному його русі) визначають по куту повороту:

$$\boxed{Dj = j_{\text{кон}} - j_{\text{нач}}}, \quad [j] = L^0 = \text{град.}$$

Розглядається також елементарне кутове переміщення тіла  $d\alpha$ .

Будь-яке переміщення в просторі можна представити як геометричну суму його поступального й обертального (щодо будь-якого полюса, зокрема ЦМ) рухів.

### **Система тіл**

Переміщення системи тіл (біомеханічної системи), що змінює свою конфігурацію, визначити набагато складніше.

У найпростіших випадках її рух розглядають як рух однієї матеріальної точки – звичайно загального центра мас (ЗЦМ). При цьому можна оцінити як би загальний результат рухової діяльності людини.

Вивчення рухів ланок тіла людини дозволяє більш докладно розглянути переміщення його тіла. Однак одержати повну картину переміщень всіх основних елементів тіла (включаючи і внутрішні органи, і рідкі тканини) при існуючих методах дослідження поки неможливо.

У технічних механізмах, що характеризуються визначеністю рухів, мається цілком визначений закон рухів.

У біомеханічних системах, що характеризуються невизначеністю рухів у зчленуваннях, намагаються домагатися необхідної визначеності, але можливість знайти закон руху всіх ланок тіла в цілому дуже невелика.

### **2.1.3. Часові характеристики**

Часові характеристики розкривають рух у часі: коли він почався і закінчився (момент часу), як довго тривав (тривалість руху), як часто виконувався, рух (темп), як вони були побудовані в часі (ритм).

Визначаючи, де була точка в просторі, необхідно визначити, коли вона там була.

#### ***1) Момент часу***

**Момент часу** визначають проміжком часу до нього від початку відліку; розмірність  $[t] = T [c]$ .

Момент часу визначають не тільки для початку і закінчення руху, але і для інших важливих миттєвих положень (таких, як закінчення однієї частини – фази руху і початок наступної).

## 2) Тривалість руху

Тривалість руху виміряється різницею моментів часу закінчення і початку руху:

$$\boxed{Dt = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}} , [Dt] = T [c] .$$

**Тривалість руху** – це проміжок часу між двома обмежувачими його моментами часу  $t_1$  і  $t_2$ . Самі моменти (як границі між двома суміжними проміжками часу) тривалості не мають.

Знаючи відстань, пройдену точкою, і тривалість її руху, можна визначити її швидкість.

Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм.

## 3) Темп рухів

У повторних рухах однакової тривалості темп характеризує їх протікання в часі.

Темп вимірюється кількістю рухів, що повторюються в одиницю часу:

$$\boxed{N = 1 / Dt} , [N] = T^{-1} [1/c] .$$

**Темп** – величина, зворотна тривалості рухів, тобто частота рухів. Одиниця частоти – герц ( $[гц] = c^{-1}$ ).

У повторюваних (циклічних) рухах темп може служити показником досконалості техніки.

## Приклади

- частота рухів у лижників, плавців, веслярів високої кваліфікації (при більш високій швидкості пересування) більше, ніж у менш підготовлених;

- зі стомленням темп рухів змінюється: може підвищуватися (при укороченні кроків у бігу), може знижуватися (при нездатності підтримувати його в лижному бігу).

#### **4) Ритм рухів**

Ритм рухів визначається по співвідношенню тривалостей частин руху:

$$\boxed{Dt_{12} : Dt_{23} : Dt_{34} \dots} , \quad \text{ритм - величина безрозмірна.}$$

По ритму рухів можна судити (у деякій мері) про їхню досконалість.

#### **Рекомендація**

При оволодінні вправами іноді краще спочатку задати ритм, ніж докладно описувати деталі рухів – це допомагає швидше зрозуміти особливості досліджуваної вправи, її побудови в часі.

У кожному русі є частини, що розрізняються, (наприклад, підготовчі й основні рухи, розгін і гальмування). Отже, ритм можна визначити в кожній вправі.

Так називані "неритмічні" рухи – це не взагалі позбавлені ритму рухи, а рухи з відхиленнями від заданого раціонального ритму.

Неритмічні рухи – це рухи без визначеного постійного ритму чи ритму з неправильним, нераціональним ритмом.

### **2.1.4. Просторово-часові характеристики**

За просторово-часовими характеристиками визначають, як швидко людина змінює свої положення (швидкість) і рух (прискорення).

#### **1) Швидкість (швидкість зміни положення)**

Швидкість дорівнює першій похідній за часом від переміщення в розглянутій системі відліку:

$$\dot{v} = \frac{d s}{dt} , \quad [v] = LT^{-1} [m/c] .$$

#### **Точка**

Швидкість точки визначається за зміною її координат у часі. Швидкість – величина векторна, вона характеризує швидкість руху і його напрямок.

Швидкість рухів людини звичайно перемінна (рух нерівномірне і криволінійне). Тому при розборі вправ визначають миттєві швидкості.

Миттєва швидкість – це швидкість у даний момент чи у даній точці траєкторії.

Середня швидкість – це швидкість, з якою точка в рівномірному русі пройшла  $s$  за той ж час весь розглянутий шлях. Швидкість точки (лінійна) у прямолінійному русі спрямована по траєкторії, а в криволінійному – по дотичній до траєкторії у кожній її точці.

### Тіло

Швидкість тіла визначають за швидкостями його точок.

При поступальному русі тіла лінійні швидкості всіх його точок однакові по величині і напрямку.

При обертальному русі тіла визначають кутову швидкість як міру швидкості зміни його кутового положення. Вона дорівнює першій похідній за часом від кутового переміщення:

$$\omega = d\varphi / dt, \quad [\omega] = L^0 T^{-1} [1/c].$$

Чим більше відстань від точки тіла до осі обертання (тобто чим більше радіус), тим більше лінійна швидкість точки.

Кутова швидкість для всіх точок тіла (крім лежачих на осі) однакова:

$$v_1/r_1 = v_2/r_2 = \dots = v_n/r_n = \omega.$$

Звідси лінійна швидкість будь-якої точки тіла дорівнює:  $v = \omega r$ .

Швидкість складного руху твердого тіла можна визначити по лінійній швидкості будь-якого полюса (наприклад, ЦМ) і кутової швидкості обертання тіла щодо цього полюса (наприклад, навколо осі, що проходить через ЦМ).

### Система тіл

Швидкість системи тіл, що змінює свою конфігурацію, не можна визначити в такий же спосіб, як швидкість твердого тіла.

У цьому випадку визначають лінійну швидкість ЗЦМ системи. Часто визначають лінійні швидкості крапок ланок тіла (проекцій осей суглобів на поверхню тіла), а також при змінах пози – кутові швидкості ланок тіла щодо суглобних осей (ці швидкості звичайно змінюються по ходу руху).

Для біомеханічного обґрунтування техніки потрібно в кожному випадку вибрати, які швидкості і яких ланок варто визначати.

## 2) Прискорення (швидкість зміни швидкості руху)

Прискорення дорівнює першій похідній за часом від швидкості в розглянутій системі відліку:

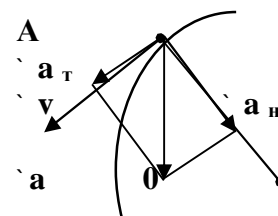
$$\dot{a} = d\dot{v} / dt, \quad [a] = L T^{-2} [m/c^2].$$

### Точка

Прискорення точки визначається по зміні її швидкості в часі.

Прискорення – величина векторна, яка характеризує швидкість зміни швидкості по величині і напрямку.

Звичайно вимірюють (чи обчислюють) миттєве прискорення. Середнє прискорення не визначають, тому що воно не характеризує подробиці руху.



Вектор прискорення можна розкласти на складові:

а) дотичне (тангенціальне) прискорення, спрямоване уздовж дотичної до траєкторії в даній крапці:

$$a_t = d\dot{v} / dt = d^2 s / dt^2.$$

б) нормальне прискорення, спрямоване перпендикулярно до вектора швидкості усередину кривизни:

$$\dot{a}_n = \dot{v}^2 / R,$$

де R – радіус кривизни в цій же точці.



Якщо  $\vec{a}_T$  – додатне, то  $\vec{v}$  збільшується; якщо  $\vec{a}_T = \mathbf{0}$ , то  $\vec{v} = \text{const}$ ; якщо  $\vec{a}_T$  – від’ємне, то  $\vec{v}$  зменшується; якщо  $\vec{a}_n = \mathbf{0}$ , то й напрямок  $\vec{v}$  – постійний.

### Тіло

Прискорення тіла буває:

а) лінійне (у поступальному русі);

б) кутове (в обертальному русі).

Лінійне прискорення визначається так само, як для крапки.

Кутове прискорення – це міра швидкості зміни кутової швидкості:

$$\epsilon = d\omega / dt = d^2j / dt^2, \quad [\epsilon] = L^0T^{-2}[1/c^2].$$

Кутове прискорення однакове для всіх точок тіла (крім лежачих на осі):

$$a_1/r_1 = a_2/r_2 = \dots = a_n/r_n = \epsilon.$$

Звідси лінійне прискорення будь-якої крапки тіла:  $\mathbf{a} = \epsilon \mathbf{r}$ .

### Система тіл

Прискорення системи тіл, яка змінює свою конфігурацію, визначається ще складніше, ніж швидкість.

При цьому прискорення служить гарним показником якості прикладених зусиль.

## **2.2. Динамічні характеристики**

Щоб розкрити механізм рухів (причини виникнення і хід зміни), Щоб розкрити механізм рухів (заподій виникнення і хід зміни), досліджують динамічні характеристики.

Розрізняють:

1) інерційні характеристики – характеризують особливості тіла людини і спонукуваних їм тіл;

2) силові характеристики – характеризують особливості взаємодії ланок тіла й інших тіл.

## 2.2.1. Інерційні характеристики

До них належать:

- 1) маса;
- 2) момент інерції.

### Поняття інертності

Властивість інертності розкривається в першому законі Ньютона:

*"Усяке тіло зберігає свій стан чи спокою рівномірного і прями́лінійного руху доти , поки зовнішні прикладені сили не змінять цей стан".*

Іншими словами, усяке тіло зберігає швидкість, поки її не змінять сили.

Будь-які тіла зберігають швидкість незмінної при відсутності зовнішніх впливів (сил). Це властивість не має міри і називається інерцією (лат. - відсталість, бездіяльність).

Різні тіла змінюють швидкість під дією сил по-різному. Це властивість, отже, має міру – його називають інертністю.

Інертність – це властивість фізичних тіл поступово в часі (не миттєво) змінювати швидкість під дією сил.

Збереження швидкості незмінної (рух як би по інерції) у реальних умовах можливо тільки тоді, коли всі зовнішні сили, прикладені до тіла, взаємно урівноважені.

В інших випадках неурівноважені зовнішні сили змінюють швидкість тіла в відповідності з мірою його інертності.

### *1) Маса тіла*

Маса тіла – це міра інертності тіла при поступальному русі.

Вона вимірюється відношенням величини прикладеної сили до викликуваному нею прискоренню:

$$m = \frac{F}{a}, \quad [m] = M \text{ [кг]},$$

где  $m$  - маса тіла, кг;  $F$  - сила, н;  $a$  - прискорення, м/с<sup>2</sup>.

Вимір маси тут засновано на 2-м законі Ньютона:

"Зміна руху прямо пропорційно зовні діючій силі і відбувається по тому напрямку, по якому ця сила прикладена".

Маса тіла залежить від кількості речовини тіла і характеризує, як саме прикладена сила може змінити його рух (та сама сила викликає більше прискорення в тіла з меншою масою, чим у тіла з більшою масою).

При дослідженні часто необхідно враховувати не тільки величину маси, але і її розподіл у тілі. Характеристикою розподілу матеріальних точок у тілі є місце розташування центра маси тіла.

В абсолютно твердому тілі є три точки, положення яких збігаються: центр маси (ЦМ), центр інерції (ЦІ), центр ваги (ЦВ). Однак це – зовсім різні поняття.

У ЦМ перетинаються напрямки сил, кожна з якої викликає поступальний рух тіла (поняття ЦМ не цілком відбиває розподіл матеріальних крапок у тілі).

Поняття ЦІ і ЦВ будуть розглянуті нижче.

## **2) Момент інерції тіла**

Момент інерції тіла – це міра інертності тіла при обертальному русі.

Момент інерції тіла щодо осі дорівнює сумі добутків мас усіх матеріальних крапок тіла на квадрати їхніх відстаней від даної осі:

$$I = \sum m_i r_i^2, \quad [I] = M L^2 \text{ [кгж}^2 \text{]}.$$

Приклад – у системі тіл, що деформується, коли її частини віддаляються від осі обертання, момент інерції системи збільшується.

Для ряду задач зручно вводити поняття "радіус інерції".

Радіус інерції тіла - це порівняльна міра інертності даного тіла щодо його різних осей:

$$R_{\text{ин}} = \sqrt{I / m} \quad , \quad [ R_{\text{ин}} ] = L [ \text{м} ] \quad .$$

Знайшовши дослідним шляхом момент інерції тіла, можна розрахувати радіус інерції ( $R_{\text{ин}}$ ), величина якого характеризує розподіл матеріальних точок у тілі щодо даної осі.

Знати про момент інерції дуже важливо для розуміння руху, хоча точне кількісне визначення цієї величини в конкретних випадках нерідко утруднене.

### 2.2.2. Силіві характеристики

До них належать:

- 1) сила, момент сили;
- 2) імпульс сили, імпульс моменту сили;
- 3) кількість руху, кінетичний момент.

Силіві характеристики розкривають зв'язок дії сили зі зміною руху (сила – не причина руху, тому що тіло може рухатися і без прикладеної до нього рушійної сили – по інерції, а причина зміни руху).

Рушійні сили прикладені не завжди, без гальмуючих сил руху не буває.

**1) Сила і момент сили** (міри швидкості зміни швидкості)

Поступальний рух

Сила – це міра механічної дії одного тіла на інше при поступальному русі.

Вимір сили, як і маси, заснований на другому законі Ньютона:

$$F = m \times a \quad , \quad [ F ] = \text{MLT}^{-2} [ \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2 = \text{н} ] \quad .$$

Сила, прикладена до даного тіла, викликає його прискорення. Джерелом сили служить інше тіло. Отже, взаємодіють два тіла.

По 3-му закону Ньютона:

*«Дії завжди існує рівне і протилежно спрямоване протидія»*, тобто дії двох тіл один на одного завжди рівні і протилежні по напрямку.

Оскільки дія і протидія прикладені до різних тіл, їх не можна складати, замінити рівнодіючою.

Хоча найчастіше говорять про силу і результат її дії, це застосовне тільки до найпростішого поступального руху тіла.

### Обертальний рух

У рухах людини як системи тіл практично всі рухи частин тіла - обертальні, а зміна обертального руху залежить не від сили, а від моменту сили.

Момент сили – це міра механічної дії одного тіла на інше при обертальному русі (тобто міра обертаючої дії сили на тіло).

Момент сили визначається добутком модуля сили на її плече:

$$M_z(F) = F \cdot d ;$$

$$[ M_z ] = ML^2T^{-2} = \text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{с}^{-2} = \text{Нм} ,$$

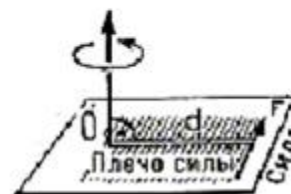
где  $F$  – сила;  $d$  – плече сили.

Плече сили ( $d$ ) - це найкоротша відстань від центра моменту, щодо якого береться момент сили, до лінії дії сили.

Момент сили - позитивний ( $M_z > 0$ ), коли сила викликає поворот тіла проти вартовий стрілки, і негативний ( $M_z < 0$ ), коли сила викликає поворот тіла по годинниковій стрілці.

**Примітка.**

Вектор момента сили  
 $M_z(F)$



Момент сили – величина векторна: сила виявляє свою обертаючу дію, коли вона прикладена на її плечі (тобто лінія дії сили не повинна проходити через вісь обертання). Якщо сила лежить не в площині, перпендикулярної до осі, знаходять складову сили, що лежить у цій площині (вона і викликає момент сили щодо осі, останні складові на нього не впливають).

Сила, що збігається з чи віссю рівнобіжна їй, не має плеча щодо осі, а, відповідно, немає і її моменту.

У біомеханіці спорту сили, що діють на спортсмена, викликають моменти відносно відповідних осей.

Приклади.

- тяга кожного м'яза утворить момент сили щодо осі відповідного суглоба;

- сили, прикладені ззовні до тіла під час руху, звичайно не проходять через його ЦМ – так що виникають моменти відносно ЦМ (якщо привести таку силу до ЦМ, те видно, що вона викликає не тільки кутове, але і лінійне прискорення тіла).

Визначення сили чи моменту сили (якщо відома чи маса момент інерції) дозволяють довідатися тільки прискорення (тобто як швидко змінюється швидкість).

Для того, щоб довідатися, наскільки зміниться швидкість, повинне бути відомо, як довго була прикладена сила (тобто потрібно визначити імпульс чи сили імпульс моменту сили).

**2) Імпульс сили й імпульс моменту сили (міри зміни швидкості руху)**

Поступальний рух

Імпульс сили – це захід впливу сили на тіло за даний проміжок часу в поступальному русі.

Якщо позначити:

$ds = \int F dt$  - елементарний імпульс сили;

$t_0, t$  - початок і кінець даного проміжку часу,

то імпульс сили  $\vec{S}$  визначиться наступною формулою:

$$\vec{S} = \int_0^t \vec{F} dt ; \quad [S] = MLT^{-1} = \text{кг} \times \text{м} / \text{с}^{-1} = \text{Н} \cdot \text{с} .$$

У випадку одночасної дії декількох сил сума їхніх імпульсів дорівнює імпульсу рівнодіючої за те ж час.

Саме імпульс сили визначає зміну швидкості; самої ж силоміць обумовлене тільки прискорення (як швидкість зміни швидкості).

### Обертальний рух

В обертальному русі момент сили, діючи протягом визначеного часу, створює імпульс моменту сили.

**Імпульс моменту сили** – це захід впливу моменту сили на тіло щодо даної осі за даний проміжок часу в обертальному русі:

$$\vec{S}_z = \int_0^t M_z(\vec{F}) dt ; \quad [S_z] = ML^2T^{-1} = \text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{с}^{-1} = \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} .$$

Внаслідок імпульсу сили чи імпульсу моменту сили виникають зміни руху, що залежать від інерційних властивостей тіла і, що виявляються в зміні швидкості.

### **3) Кількість руху і кінетичний момент** (міри зміни руху)

#### Поступальний рух

Кількість руху – це міра поступального руху тіла, що характеризує його здатність передаватися іншому тілу у виді механічного руху:

$$\vec{K} = m \vec{v} ; \quad [K] = MLT^{-1} = \text{кг} \times \text{м} \times \text{с}^{-1} .$$

**Примітка.** Кількість руху тіла може бути визначено, наприклад, по тому, як довго воно рухається до зупинки під дією обмірюваної гальмуючої сили. Відповідна зміна кількості руху відбувається під дією імпульсу сили:

$$\int_0^t F dt = Dm \cdot v .$$

### Обертальний рух

**Кінетичний момент** – це міра обертального руху тіла, що характеризує його здатність передаватися іншому тілу у виді механічного руху:

$$K_z = I \times \omega \quad ; \quad [ K_z ] = ML^2T^{-1} = \text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{с}^{-1} .$$

**Примітка.** Визначення кінетичного моменту (чи моменту кількості руху) на практиці:

$$\int_0^t M_z(\cdot F) dt = DI \cdot \omega .$$

Таким чином, кінематичними мірами зміни руху є швидкість і прискорення, а динамічними – кількість руху і кінетичний момент.

Разом з мірами дії сили (див. робота, потужність, енергія) вони відбивають взаємозв'язок сил і руху.

Вивчення цих взаємозв'язків допомагає зрозуміти фізичні основи рухів, необхідні для вивчення специфічних особливостей рухових дій людини.

### **2.3. Енергетичні характеристики**

При русі людини сили, прикладені до його тіла на деякому шляху, роблять роботу і змінюють положення і швидкість ланок тіла, що змінює його енергію.

Робота характеризує процес, при якому міняється енергія системи.



Енергія характеризує стан системи, що змінюється внаслідок роботи.

Енергетичні характеристики показують:

- як міняються види енергії при русі;
- як протікає сам процес зміни енергії.

До них належать:

- 1) робота;
- 2) потужність;
- 3) механічна енергія.

### ***1) Робота сили***

#### Поступальний рух

Робота сили – це міра дії сили на тіло при деякій його переміщенні під дією цієї сили.

Робота перемінної сили в поступальному русі на кінцевому шляху дорівнює:

$$A = \int_0^s F_v ds ; [A] = ML^2 T^{-2} = \text{кгж}^2 \text{с}^{-2} = \text{Нж} = \text{Дж} ,$$

де  $F_v$  - проекція сили  $F$  проекція сили  $v$ .

Якщо сила спрямована у бік руху (чи під гострим кутом до його напрямку), то вона робить позитивну роботу і збільшує енергію тіла, що рухається.

Якщо сила спрямована назустріч руху (чи під тупим кутом до його напрямку), то робота сили негативна й енергія тіла, що рухається, зменшується.

### ***Окремі випадки.***

1. Робота сили ваги тіла:

$$A_{\text{тяж}} = P h ,$$

де  $P$  - вага тіла, н ;  $h$  - різниця початкового і кінцевого положень тіла, м.

При опусканні тіла - робота позитивна, при підніманні - негативна.

2. Робота сили пружності при подовженні:

$$A_{\text{упр}} = - c \Delta l^2 / 2 ,$$

де  $\Delta l$  - подовження пружного тіла, м;  $c$  - коефіцієнт твердості тіла, н/м.

3. Робота сил тертя при силі, що притискає:

$$A_{\text{тр}} = - k N \Delta s ,$$

де  $k$  - коефіцієнт тертя;  $\Delta s$  - переміщення, м;  $N$  - сила нормального тиску, н.

Як видно, робота сил ваги і пружності не залежить від форми траєкторії тіла, робота ж сили тертя залежить від довжини шляху (а отже, і від траєкторії).

### Обертальний рух

Робота сили в обертальному русі на кінцевому шляху залежить від моменту сили й кутового переміщення:

$$A_z = \int_0^{\varphi} M_z(F) d\varphi ; \quad [A_z] = ML^2T^{-2} = \text{кг м}^2 \text{ с}^{-2} = \text{Нм} = \text{Дж} .$$

### **2) Потужність сили**

При енергетичних розрахунках для оцінки ролі сили визначають потужність сили, що характеризує швидкість здійснення роботи.

Потужність сили – це похідна роботи з часу:

$$N = dA / dt = \dot{F} v ; \quad [N] = ML^2T^{-3} = \text{кг м}^2 \text{ с}^{-3} = \text{Дж / с} = \text{Вт} ,$$

де  $N$  - потужність, Вт;  $dA$  - елементарна робота, Дж;  $\dot{F}$  - сила, що робить роботу, н.

Ефективність додатка сил у механіку визначають за коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.), що представляє собою відношення корисної роботи  $A_{\text{п}}$  до усій витраченій роботі  $A$  рушійним силам:

$$h = A_{\text{п}} / A = N_{\text{п}} / N .$$

Таким чином, поняття роботи – це міра зовнішніх впливів, прикладених до тіла на визначеному шляху, що викликають зміну механічного стану тіла.

### 3) Механічна енергія тіла

**Енергія** – це запас працездатності системи.

Механічна енергія визначається швидкостями руху тіл у системі (кінетична) і взаємним розташуванням тіл у системі (потенційна), тобто це енергія переміщення і взаємодії.

1. *Кінетична енергія тіла* – це енергія його механічного руху, що визначає можливість зробити роботу.

При поступальному русі вона дорівнює:

$$E_{\text{к (пост)}} = mv^2 / 2; [E_{\text{к}}] = ML^2T^{-2} = \text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{с}^{-2} = \text{Нм} = \text{Дж} ,$$

при обертальному русі:

$$E_{\text{к (вращ)}} = I\omega^2 / 2; [E_{\text{к}}] = ML^2T^{-2} = \text{кг} \times \text{м}^2 \times \text{с}^{-2} = \text{Нм} = \text{Дж} .$$

2. *Потенційна енергія тіла* – це енергія його положення, обумовлена взаємним відносним розташуванням чи тіл частин того самого тіла і характером їхньої взаємодії.

Потенційна енергія в полі сил ваги дорівнює:

$$E_{\text{п (тяж)}} = G\eta ,$$

где  $G$  - сила ваги, н;  $h$  - різниця початкового і кінцевого положень над Землею, м.

Потенційна енергія пружнодеформованого тіла дорівнює:

$$E_{п(упр)} = c \Delta l^2 / 2,$$

де  $\Delta l$  – пружна деформація, м;  $c$  – модуль пружності, н/м.

$E_{п(тяж)}$  залежить від розташування тіла щодо Землі,  $E_{п(упр)}$  залежить від відносного розташування частин тіла (системи тіл).

Потенційна енергія виникає за рахунок кінетичної (підйом тіла, розтягування м'яза) і при зміні положення тіла (падіння тіла, укорочення м'яза) переходить у кінетичну.

Кінетична енергія системи дорівнює сумі кінетичної енергії її ЦМ при плоскопаралельному русі (якщо припустити, що в ньому зосереджена маса всієї системи) і кінетичної енергії системи в обертальному русі відносно ЦМ:

$$E_k = mv_c^2 / 2 + I_c \omega^2 / 2.$$

Практичний метод визначення кінетичної енергії системи:  $E_k$  дорівнює роботі гальмуючих сил, що буде зроблена при зменшенні швидкості системи до нуля.

*Повна механічна енергія системи* дорівнює сумі її кінетичної і потенційної енергій:

$$E_{сист} = E_k + E_{п}.$$

При відсутності впливу зовнішніх сил повна механічна енергія системи не змінюється.

Зміна кінетичної енергії матеріальної системи на деякому шляху дорівнює сумі робіт зовнішніх і внутрішніх сил на цьому ж шляху:

$$D(mv^2 / 2) = A^e + A^i.$$

У рухах людини одні види механічної енергії переходять в інші. При цьому сама енергія як міра руху матерії також переходить з одного виду в інший.

### ***Приклади***

1) хімічна енергія в м'язах перетворюється в механічну (внутрішню потенційну енергію пружнодеформованих м'язів);

2) породжена останньої сила тяги м'язів робить роботу і перетворює потенційну енергію в кінетичну енергію ланок тіла, що рухаються, і зовнішніх тіл;

3) механічна енергія зовнішніх тіл (кінетична) передається при їхній дії на тіло людини ланкам тіла і перетворюється в них у потенційну енергію м'язів-антагоністів, що розтягуються, і теплову енергію, що розсіюється.

### 3. ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1. Лінійні координати переміщення;

$$1\text{ м} = 100\text{ см} = 1000\text{ мм}$$

2. Кутові координати переміщення:

$$1\text{ рад} = 57,3\text{ град.}$$

3. Час:

$$1\text{ година} = 60\text{ хв} = 3600\text{ секунд.}$$

4. Швидкість:

$$1\text{ м/с} = 60\text{ м/хв} = 3,6\text{ км/год.}$$

5. Прискорення:

$$1\text{ м/с}^2$$

6. Сила:

$$1\text{ кг} = 9,81\text{ н} = 9,81\text{ кг}\cdot\text{м/с}^2$$

7. Маса:

$$1\text{ кг} = 1 \frac{\text{н}\cdot\text{с}^2}{\text{м}}$$

8. Момент сили:

$$1\text{ н}\cdot\text{м} = \text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$$

9. Імпульс сили:

$$1\text{ н}\cdot\text{с} = \text{кг}\cdot\text{м/с}$$

10. Імпульс моменту сили:

$$1\text{ н}\cdot\text{м}\cdot\text{с} = \text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$$

11. Робота:

$$1\text{ Дж} = 1\text{ н}\cdot\text{м} = \frac{1}{9,81}\text{ кг}\cdot\text{м}$$

12. Потужність:

$$1\text{ Вт} = 1\text{ Дж/с} = \frac{1}{9,81}\text{ кг}\cdot\text{м/с}$$

## 4. ТІЛО ЛЮДИНИ ЯК БІОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА

Руховий апарат людини – це саморушній механізм, що складається з 200 костей, 600 м'язів, декількох сотень сухожиль.

Ці цифри приблизні, тому що деякі кістки (наприклад, кістки хребта, грудної клітки й ін.) зрослися один з одним, а багато м'язів мають кілька голівок (наприклад, двоголовий м'яз плеча, чотириглавий м'яз стегна) чи поділяються на безліч пучків (дельтовидна, велика грудна, прямий м'яз живота, найширший м'яз спини й ін.) .

Вважається, що рухова діяльність людини порівняна по складності з людським мозком.

Біомеханіка (на відміну від анатомії, фізіології, медицини і її відгалужень) вивчає в тілі людини, у його руховому апараті, переважно ті особливості будівлі і функцій, що мають значення для досконалості рухів.

Тому, відволікаючи від деталей анатомічної будівлі і фізіологічних механізмів рухового апарата, розглядають спрощену модель тіла людини – біомеханічну систему.

Біомеханічна система – це спрощена модель тіла людини, на якій можна вивчати закономірності рухів.

### 4.1. Біокінематичні ланцюги

#### *1. З'єднання ланок*

Руховий апарат людини складається з ланок.

Ланка – це частина тіла, розташована між двома сусідніми суглобами чи між суглобом і дистальним кінцем.

Приклад Ланки тіла – кисть, передпліччя, плече, голова й ін.

У людському тілі близько 70 ланок. Для рішення більшості практичних задач досить 14 чи 16-ланкової моделі людського тіла. При цьому деякі ланки складаються з декількох елементарних ланок.

Такі укрупнені ланки називають сегментами.

Для біомеханічного аналізу спортивних рухів використовується представлення тіла людини у виді базової біомеханічної моделі.

Як ланки базової моделі вибираються основні сегменти тіла людини: голова, передпліччя, плече, кисть, стегно, гомілка, стопа, тулуб (верхній, середній і нижній відділи). З урахуванням парності кінцівок будемо мати 16-ланкову модель.

*Таблиця 1.1*

<b>№</b>	<b>Найменування сегмента</b>	<b>Дистальна границя</b>	<b>Проксимальна границя</b>	<b>Антропометрична ознака, від якої виробляється відлік положення центра мас</b>
1 2	Стопа	Пальцева точка стопи	Нижньберцова точка, вісь гомілковостопного суглоба	Пальцева точка Стопи
3 4	Гомілка	Нижньберцова точка, вісь гомілковостопного суглоба	Верхнеберцова точка, вісь колінного суглоба	Верхнеберцова точка
5 6	Стегно	Верхнеберцова точка, вісь колінного суглоба	Передньопідвздошна ость, вісь тазостегнового суглоба	Передньо- підвздошноостиста точка



7 8	Кисть	Пальцева точка кисті	Шиловидна точка	Пальцева точка кисті (кисть випрямлена)
9 10	Передпліччя	Шиловидна точка	Променева точка, вісь ліктьового суглоба	Шиловидна точка
11 12	Плече	Променева точка, вісь ліктьового суглоба	Акроміальна точка	Променева точка
13	Голова	Верхівкова точка	Остистий відросток 7-го шийного хребця	Верхівкова точка
14	Верхній відділ тулуба	Остистий відросток 7-го шийного хребця	Среднегрудинна точка	Остистий відросток 7-го шийного хребця
15	Середній відділ тулуба	Среднегрудинна точка	Пупкова точка	Среднегрудинна точка
16	Нижній відділ тулуба	Пупкова точка	Вісь тазостегнового суглоба	Пупкова точка (верхній край)

Границі сегментів задаються відомими в анатомії антропометричними точками, а також з'єднуючими їхніми лініями і площинами.

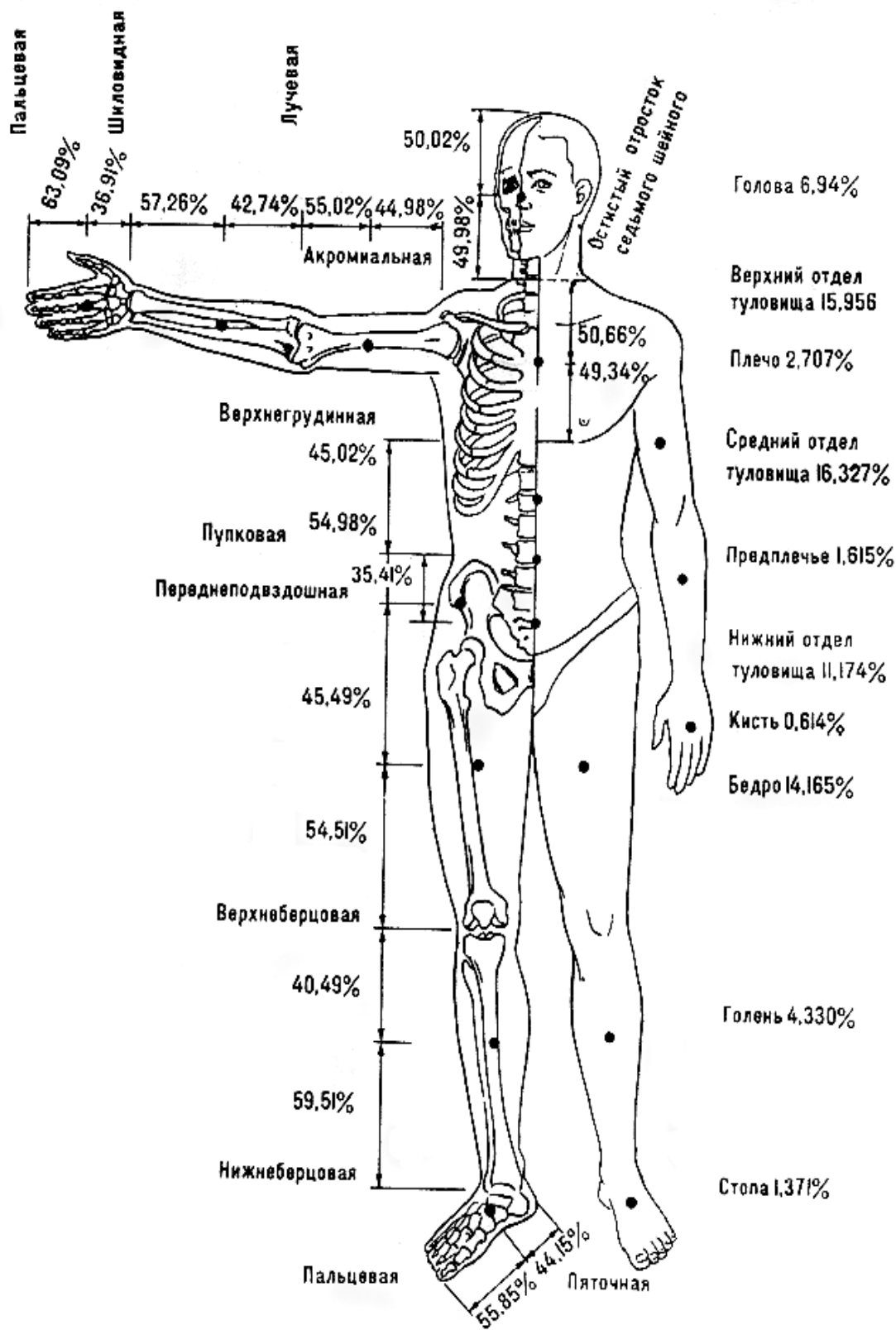


Рис.1.1. Относительные веса и положения ЦМ отдельных звеньев тела

Граничні орієнтири основних сегментів, а також антропометричні ознаки крапок, від яких виробляється відлік положень центрів мас сегментів тіла людини, приведені в таблиці 1.1.

Трохи спрощено вважають, що центри мас сегментів розташовані на подовжніх осях, що з'єднує центри суглобів.

### ***Визначення ваги і положень центрів мас сегментів тіла***

Найбільш простий спосіб визначення ваги і положення центра мас кожного сегмента заснований на використанні коефіцієнтів Фішера:

$$P_i = n_i \cdot P / 100, \quad (1)$$

$$l_{ци} = m_i \cdot l_i / 100, \quad (2)$$

где  $P_i$  – вага і-того сегмента (кг);

$P$  – вага тіла людини (кг);

$l_{ци}$  – відстань до центра мас і-того сегмента (см);

$l_i$  – довжина і-того сегмента (см) – результати вимірів кожного спортсмена;

$n_i, m_i$  – коефіцієнти Фішера (%), значення яких приведені у таблиці 1.2 і на мал.1.1 .

### ***Приклад визначення основних параметрів біомеханічної моделі.***

У стовпцях  $P_i, l_i, l_{ци}$  таблиці 1.2 приведені обмірювані значення  $l_i$  обчислені по формулах (1) і (2) значення  $P_i, l_{ци}$  для спортсмена, вага якого  $P = 60$  кг і ріст  $H = 169$  см.

*Таблиця 1.2*

<b>№</b>	<b>Найменування сегмента</b>	<b><math>n_i</math> (%)</b>	<b><math>m_i</math> (%)</b>	<b><math>P_i</math> (кг)</b>	<b><math>l_i</math> (см)</b>	<b><math>l_{ци}</math> (см)</b>
1	Стопа	1,317	55,85	0,79	25	13,96
2	Гомілка	4,330	40,49	2,60	42	17,01
3	Стегно	14,165	45,49	8,50	45	20,47
4	Кисть	0,614	63,09	0,37	19	11,99
5	Передпліччя	1,615	57,26	0,97	25	14,32

6	Плече	2,707	55,02	1,62	35	19,26
7	Голова	6,940	50,02	4,16	20	10,00
8	Верхня частина тулуба	15,956	50,66	9,57	27	13,68
9	Середня частина Тулуба	16,327	45,02	9,80	20	9,00
10	Нижня частина тулуба	11,174	35,41	6,70	14	4,96

Розрахункова вага спортсмена  $P' = \sum P_i = 2(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} = 59,92 \text{ кг}$ .

Погрішність визначення ваги тіла  $\Pi = \frac{P - P'}{P} * 100\% = \frac{60 - 59,92}{60} * 100\% = 0,13\%$ .

Розрахунковий ріст спортсмена  $H' = \sum l_i = l_2 + l_3 + l_7 + l_8 + l_9 + l_{10} = 168 \text{ см}$ .

Погрішність визначення росту  $\Pi I = \frac{H - H'}{H} * 100\% = \frac{169 - 168}{169} * 100\% = 0,59\%$ .

З'єднані дві сусідніх ланки утворять біокінематичні пари, а пари з'єднуються в біокінематичні ланцюги.

Біокінематичні ланцюги бувають:

1) незамкнуті, у яких мається вільне (кінцеве) ланка, що входить тільки в одну пару.

У незамкнутих ланцюгах можливі ізольовані рухи в якому-небудь окремо узятому суглобі.

2) замкнуті, у яких немає вільної кінцевої ланки, кожна ланка входить у дві пари.

У замкнутих ланцюгах ізольовані рухи в одному суглобі неможливі (у рух неминуче утягують і інші з'єднання).

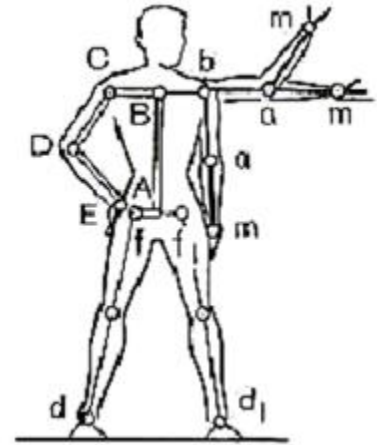
3) розгалужені, у яких мається кілька вільних ланок.

На малюнку є такі позначення:

*bat* – незамкнутий ланцюг;

*ABCDEA* – замкнутий ланцюг (на себе);

*dff<sub>1</sub>id<sub>1</sub>* – замкнута (через опору).



Приклад 1

Незамкнутий ланцюг може стати

замкнутим, якщо кінцева (вільна) ланка одержить зв'язок (через захоплення чи через яке-небудь тіло).

Приклад 2

Значна частина незамкнутих біокінематичених ланцюгів оснащена багатосуглобними м'язами. Тому рухи в одних суглобах через такі м'язи бувають зв'язані з рухами в сусідніх суглобах. Однак при точному керуванні рухами в багатьох випадках цей зв'язок можна перебороти. У замкнутих же ланцюгах це неможливо.

## 2. Ступені зв'язку і ступені волі рухів

У технічних механізмах з'єднання двох ланок – кінематичні пари – улаштовані так, що можливо лише цілком визначені, заздалегідь задані рухи. Одні рухи не обмежені (їх характеризують ступеня волі руху), інші цілком обмежені (їх характеризують ступеня зв'язку).

Розрізняють наступні зв'язки :

- а) геометричні (наприклад, кісткове обмеження в суглобі);
- б) кінематичні (наприклад, обмеження швидкості ланки м'язом-антагоністом).

- майже всі біокінематичні пари – обертальні;

- деякі допускають чисто поступальне ковзання ланок друг відносно одна одної;

- тільки одна пара (гомілковостопний суглоб) допускає гвинтовий рух.

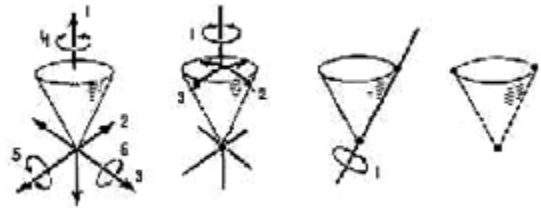
Фізичне тіло, що не має обмежень (зв'язків), може рухатися в просторі у всіх трьох вимірах, тобто рухатися поступально уздовж будь-який їхніх трьох осей ( $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ ), а також рухатися обертально навколо кожної з трьох осей.

Отже, таке тіло (вільне тіло) має шістьох ступенів волі руху (тобто максимальна кількість).

Кожен зв'язок зменшує число ступенів волі (див. мал.):

1. Зафіксувавши одну крапку вільного тіла, зробивши його ланкою пари, відразу позбавляють його трьох ступенів волі (тобто трьох можливих лінійних переміщень уздовж трьох основних осей координат).

Приклад – кулястий тазостегновий суглоб, у якому три ступені волі із шести (можливе обертання щодо трьох осей).



2. Закріплення двох крапок ланки говорить про наявність вісі, що проходить через ці крапки. У цьому випадку залишається тільки один ступінь волі.

Приклад – одноосьові суглоби - міжфаланговий, променеволіктьовий, атлантаосьовий.

3. Закріплення третьої точки, що не лежить на цій вісі, цілком позбавляє ланка руху.

Приклад – таке з'єднання до суглобів не належить.

4. В анатомії виділяють також двовісні суглоби, що мають два ступені волі.

Приклад – суглоби – поменезап’ястковий, п’ястнофаланговий 1-го пальця.

### ***Визначення чисел ступенів волі біокінематичних пар***

Характер відносних переміщень ланок механічної моделі визначається рухливістю в суглобах. Для того, щоб розрізнити типи кінематичних пар моделі вводиться поняття "клас кінематичної пари", номер якого обчислюється по формулі:

$$k = S_{max} - S \quad , \quad (3)$$

де  $k$  – номер класу кінематичної пари;

$S$  – число ступенів волі, що допускаються парою ( $S_{max} = 6$ ).

Для визначення числа ступенів волі необхідно жорстко зафіксувати один із сегментів кінематичної пари, а другий обертати в суглобі по всіх припустимих напрямках, але без вивиху суглоба.

Кожен припустимий напрямок руху (згинання - розгинання, відведення - приведення, супінація – пронація) вважається одним ступенем волі.

### ***3. Ланки тіла як важелі і маятники***

Основу біокінематичних ланцюгів утворюють кістки – тверді (негнучкі) ланки, з’єднані рухливо.

Ланки тіла виступають при рухах як важелі (при передачі руху і роботи на відстань) і маятників (при збереженні рухів під дією сил).

***1) Кісткові важелі*** – це ланки тіла, рухливо з’єднані в суглобах і службовці для передачі руху.

Усі сили, прикладені до ланки як важелю, можна об’єднати в двох груп:

1. сили (чи їх складові), що лежать у площині осі важеля (вони не впливають на рух навколо цієї осі).

2. сили (чи їх складові), що лежать у площині, перпендикулярній осі важеля (вони можуть впливати на рух навколо осі в двох протилежних напрямках).

Розглядаючи дію сил на важіль,

враховують тільки сили:

1. рушійні – спрямовані по ходу руху;
2. гальмуючі – спрямовані проти ходу руху.

Розрізняють такі види важелів:

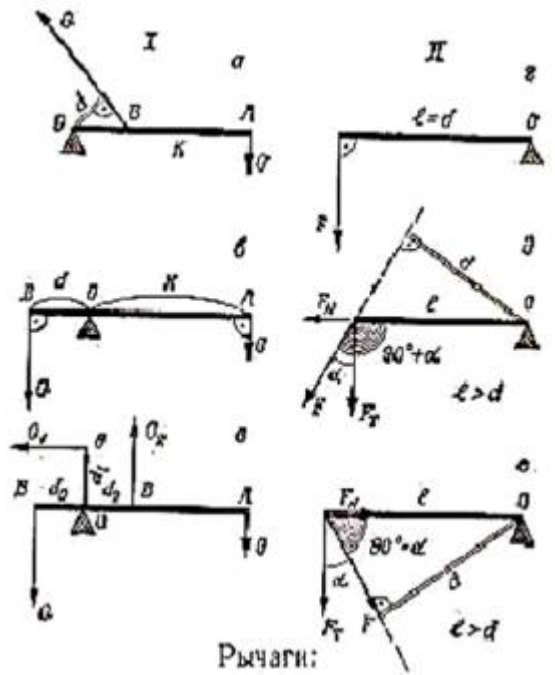
1. важіль першого роду (двуплечий) – коли сили прикладені до важеля по дві сторони від вісі.
2. важіль другого роду (одноплечий) – коли сили прикладені до важеля по одну сторону від вісі.

Для різних м'язів, прикріплених у різних місцях кісткової ланки, важіль може бути різного роду.

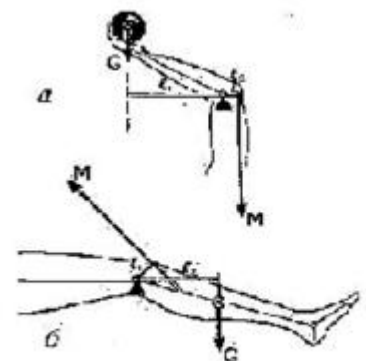
Приклад.

а) Передпліччя відносно м'язів-розгиначів (трицепс) при утриманні вантажу над головою являє собою двуплечий важіль.

б) Гомілка щодо своїх м'язів-розгиначів при роботі проти ваги вантажу являє собою



I – види важелів: а – одноплечий; б - двуплечий; в - перехід від двуплечого важеля до одноплечового; II - плече сили при куті додатка сили: з - прямому, д - тупому, е -





одноплечий важіль .

Кожен важіль має такі елементи:

1. точка опори ( тчк. **O** ) ;
2. точки додатка сил ( тчк. **A** и **B** ) ;
3. плечі важеля ( відстані від точки опори до крапок додатка сил – **l** , **l<sub>1</sub>** ) ;
4. плечі сил ( відстані від точки опори до ліній дії сил, тобто опущені на ці лінії перпендикуляри – **d** , **d<sub>1</sub>** ) .

Мірою дії сили на важіль служить її момент щодо точки опори:

$$M = Fd = F_l l \quad .$$

Сила, прикладена до важеля, може бути розкладена на дві складові:

1. тангенціальну  $F_T$  (спрямовану по дотичній до траєкторії крапок важеля) .

$F_T$  впливає на швидкість руху важеля .

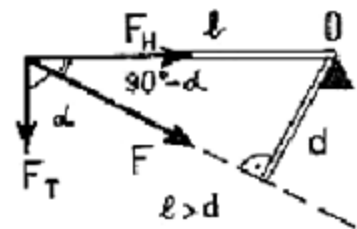
Її називають обертаючою ( чи явною ) .

2. нормальну  $F_H$  (спрямовану перпендикулярно до напрямку руху) .

$F_H$  спрямована уздовж важеля і на рух важеля не впливає .

Вона притискає суглобні поверхні друг до друга, тобто зміцнює суглоб.

Її називають зміцнювальною ( чи схованою ) .



### Умови рівноваги і прискорення кісткових важелів

Збереження положення і руху ланки як важеля залежить від співвідношення протилежно діючих моментів сил (рушійних і гальмуючих).

Якщо ці моменти рівні, то ланка зберігає своє чи положення продовжує рух з колишньою швидкістю ( моменти сил урівноважені -  $M_{дв} = M_{горм}$ ,  $v=0$  чи  $v=const$  ,  $a=0$  ).

Якщо один з моментів більше іншого, то ланка одержує прискорення в напрямку його дії (моменти сил не урівноважені -  $M_{дв} \neq M_{горм}$ ).

Перевага моменту рушійних сил додає ланці позитивне прискорення (тобто убік руху) -  $M_{дв} > M_{горм}$ ,  $a > 0$ ; перевага моменту гальмуючих сил - негативне прискорення (тобто викликає гальмування ланки) -  $M_{дв} < M_{горм}$ ,  $a < 0$ .

В одноплечих важелях напрямок переданої сили змінюється, у двоплечих – не змінюється.

Кісткові важелі в людському тілі звичайно дають вигреш у швидкості і програш у силі по наступним причинах:

1. М'язові тяги діють на більш короткому плечі важеля, тому що м'язи прикріплені поблизу суглобів;
2. У тих випадках, коли м'язи прикріплені удалечині від суглобів, кут тяги їх дуже мале і тому плече сили також дуже мало;
3. Енергія витрачається також у м'язах-антагоністах (але в цьому є визначений зміст, тому що суглоб під час великих навантажень зміцнюється завдяки напрузі м'язів, які його оточують).

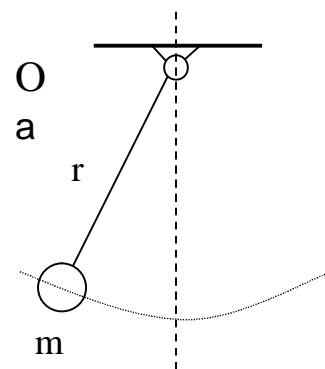
Ланки тіла діють у біокінематичному ланцюзі найчастіше як складені важелі, у яких дуже складні умови передачі руху і роботи.

## 2) Біокінематичні маятники

Біокінематичні маятники – це ланки тіла, що продовжують після розгону рух по інерції (вони мають подібність з фізичним маятником).

Маятник у поле сили ваги, виведений з рівноваги, спочатку під дією моменту сили качається вниз, а потім, затрачаючи придбану кінетичну енергію, піднімається по інерції нагору.

Період хитання маятника:  $T = 2\pi\sqrt{l/(mgr)}$ ,



де  $I$  - момент інерції маятника щодо осі, що проходить через крапку підвісу ;

$m$  - його маса ;

$g$  - прискорення вільного падіння ;

$r$  - радіус центра мас .

Період хитань визначає власну частоту хитань маятника:  $\omega = 1/T$  .

Ця формула справедлива, коли кут  $\alpha \in 5-7^\circ$  , тобто коли  $\sin \alpha \approx \alpha$  - куту відхилення.

При більш значних відхиленнях (хитання ніг при ходьбі й ін.) частота хитань залежить від їх амплітуди. Більш того, довжина "маятника" при згинанні і розгинанні ноги змінюється (тому нога як маятник постійної власної частоти не має).

Прискорення ланки  $e$  як маятника залежить від прикладеного моменту сили  $M_o = F \times d$  і моменту інерції маятника  $I = mR_{ин}^2$  :

$$e = M_o / I, \text{ де } R_{ин} - \text{радіус інерції.}$$

Щоб збільшити прискорення треба збільшити або силу, або плече, або і те й інше чи зменшити радіус інерції.

Складені маятники (трохи підвішених друг до друга маятників – ланок) поведуться набагато складніше.

Приклад.

При ходьбі в кожному кроці моменти м'язових сил потрібно пристосовувати до перемінним механічних умов, щоб забезпечувати відносну сталість кроків.

## 4.2. Біомеханічна система

З погляду біомеханіки опорно-руховий апарат – це керовані біокінематичні ланцюги (ланки і їх з'єднання, кістки і суглоби), оснащені групами м'язів.

У комплексі вони виконують рухи, що задаються, як біомеханізм чи біомеханічна система.

Рухова діяльність спортсмена в періоди тренувань чи змагань виявляється у виді упорядкованої в просторі і в часі системи рухових дій, орієнтованих на досягнення конкретної мети (зокрема, високого спортивного результату).

Кожному виду спорту притаманні свої особливості виконання рухової дії, обумовлені його цільовою спрямованістю, зовнішньою середовищем і правилами змагань.

У складі рухової дії можна виділити підготовчий, виконавчий і оцінний періоди :

- підготовчий період включає формування плану і визначення способу рішення рухової задачі;
- виконавчий період рухової дії являє собою власне процес рішення рухової задачі, тобто систему конкретних цілеспрямованих рухів;
- оцінний період містить повну чи часткову оцінку спортсменом результату рухової дії.

Якість рухової дії характеризується умінням раціонально організувати окремі рухи в просторі і в часі, наслідуючи відомому зразку чи вибираючи їх відповідно до індивідуальних рухових навичок.

Принципи об'єднання рухів у єдину систему рухової дії визначають техніку його виконання (як окремих рухів, так і всієї їхньої сукупності).

Необхідність детального аналізу окремих рухів найчастіше виникає тоді, коли потрібно порівняти техніку спортсменів різної кваліфікації. Такий

аналіз проводиться з використанням тих чи інших числових характеристик, одержуваних при вимірах і обчисленнях для конкретної рухової дії.

Наприклад, при бар'єрному бігу перехід через бар'єр (після відштовхування) починається з руху махової ноги в напрямку нагору при зігнутому коліні. Відзначається, що в КМС кут згинання менше ( $23^\circ$ ) у порівнянні зі спортсменами більш низької кваліфікації ( $46^\circ$ ). Маються також розходження в кутах активного розгинання коліна при викиді гомілки вперед у момент, коли стегно досягає горизонтального положення. При завершенні фази відштовхування кут у колінному суглобі в КМС складає  $69^\circ$ , а в починаючих спортсменів (III розряд) -  $90^\circ$ . Кваліфіковані бар'єристи виконують відштовхування за 0,12 - 0,13 с, тоді як починаючим спортсменам потрібно для цього 0,16 с. У процесі переходу через бар'єр у відповідь на підтягування поштовхової ноги (згинання і відведення) відбуваються компенсаторні рухи рук. Ступінь погодженості всіх рухів дозволяє скоротити час переходу (майже в 1,5 рази в КМС у порівнянні зі спортсменами III розряду).

При біомеханічному розборі рухової дії визначають такі величини:

1. Характеристики положень і рухів окремих частин тіла (стопи, гомілки, стегна, тулуба, голови, плеча, передпліччя і кисті).
2. Характеристики кутів у суглобах у різних фазах рухової дії.
3. Моменти часу, що відповідають зміні характеру рухів (наприклад, переходів від згинання до розгинання, від відштовхування до польоту і т.п. )

При цьому характеризують вихідні положення (пози), що передують початку рухів, кінцеві положення, що завершують рухову дію, а також ряд проміжних.

У даній роботі і ряді наступних, поєднуючи верхній, середній і нижній відділи тулуба в одну ланку, використовуємо в дослідженнях 14-ланкову модель тіла.

Результатом біомеханічного розбору рухової дії є визначення всіх необхідних характеристик, що описують досліджуваний рух.

#### **4.2.1. Будова біомеханічної системи**

Найхарактернішою рисою будівлі біомеханічної системи є її перемінний характер. І число ланок, що рухаються, і ступеня волі рухів, і склад м'язових груп, і їх взаємодії змінні.

##### **Ланки біокінематичних ланцюгів і їх з'єднання**

Біокінематичні ланцюги опорно-рухового апарата складаються з рухливо з'єднаних ланок (твердих, пружних, гнучких) і відрізняються перемінними складом, довжиною і формою (тому що являють собою складені важелі і маятники):

- фіксування суглобів (блокада) і їхнє звільнення (зняття динамічних зв'язків – тяг м'язів) змінюють число ланок, що рухаються, тобто склад ланцюга ;

- відстань по прямій від проксимального зчленування до кінця відкритого ланцюга (тобто довжина ланцюга) при її згинанні, розгинанні змінюються (тому багатоланкові складені маятники мають перемінну довжину);

- біокінематичні ланцюги, замикаючи геометрично (зв'язуванням між собою кінцевих ланок) чи змінюючи суглобні кути між ланками, змінюють свою форму і, отже, свої властивості (моменти інерції, довжини пліч важелів і ін.). Виникають складені важелі зі складною передачею тяг багатосуглобних м'язів.

Тверді (кістки), пружні (м'яза), гнучкі (зв'язування, сухожилля, м'яза) ланки, змінюючи ступінь і характер своєї участі в рухах, забезпечують різноманітні можливості рухів.

##### **Механізми з'єднання ланок**

Майже у всіх суглобах (крім одноосьових) ступенів волі більше, ніж одна.

Крім того, напрямку рухів, швидкості ланок і розмах рухів у ряді суглобів взаємозалежні завдяки наявності багатосуглобних м'язів .

Тому сам пристрій пасивного апарата (тобто зчленування, з'єднання) обумовлює можливість безлічі рухів, тобто значну невизначеність рухів. Механізми, що мають такі з'єднання, як згадувалося вище, називаються неповно'зв'язними .

З безлічі можливостей за допомогою керуючих впливів м'язів виділяють заданий керований рух (тобто накладають додаткові зв'язки і залишають для руху тільки ту один ступінь волі, що потрібно). Такий механізм з'єднання називається повно'зв'язним.

При цьому безліч ступенів волі кінематичної пари в багатоосних суглобах вимагає для виконання кожного визначеного руху:

- а) вибору необхідної траєкторії;
- б) керування рухом по траєкторії (напрямок і величиною швидкості);
- в) регуляції руху (тобто боротьби з перешкодами, що збивають тіло з траєкторії).

М'язові тяги в біокінематичних ланцюгах складаються в м'язові синергії – погоджені тяги м'язів перемінної дії, що керують групою ланок.

З одного боку, дія м'язів по ходу руху змінно. З іншого боку, у ряді випадків спільна дія м'язів настільки стабільно, що вони являють собою дуже постійні стійкі об'єднання ("рухові ансамблі" – за А.А. Ухтомським).

Активність таких "ансамблів" (м'язових синергій) строго погодиться з безліччю сил, прикладених до кісткових ланок, і спрямована на найбільш раціональне використання законів біомеханіки для рішення задачі рухової дії.

#### **4.2.2. Основні процеси в біомеханічній системі**

У біомеханічній системі поряд з руховою діяльністю протікають такі процеси :

- 1) енергозабезпечення рухів (регулювання підведення і витрати енергії);
- 2) керування руховими діями ( у перемінних умовах рухів, при зміні рухових задач і т.д.) .

#### **Енергетичне забезпечення рухів**

Джерелами механічної енергії в біомеханічній системі є :

- енергія, яка підводиться ззовні, тобто робота зовнішніх сил;
- енергія, яка підводиться зсередини, тобто хімічна енергія, що перетворюється в м'язах у механічну.

При цьому механічна енергія біомеханічної системи може витрачатися:

- ефективно – на виконання заданих рухів ;
- непродуктивно – при розсіюванні енергії.

При рухах у біомеханічній системі мають місце наступні види деформацій:

- 1) поза – зміна пози як взаємного розташування ланок ( під дією внутрішніх і зовнішніх сил );
- 2) м'язова – зміна довжини і поперечника м'язів (при їх скороченні і розтягуванні, при напрузі і розслабленні, тобто зміна скорочувальних і пружних компонентів при порушенні і навантаженнях);
- 3) внутрішня – зсув м'яких і рідких тканин (при прискореннях і появі сил інерції і тертя).

Позна деформація – це ті рухи, що необхідні для рішення рухової задачі

На неї енергія затрачається ефективно.



М'язова деформація дозволяє виконувати задані рухи. На неї також енергія витрачається ефективно.

М'язова і внутрішня деформації супроводжуються розсіюванням (дисипацією) енергії, тобто непродуктивною витратою її на роботу проти сил – тертя, пружної, грузлих, інерції й ін., а також на перетворення механічної енергії в теплову в м'язах.

Біомеханічні системи не є ізольованими (замкнутими) системами, у яких зберігається загальна кількість механічної енергії; вони є відкритими системами, що можуть обмінюватися енергією з навколишнім середовищем.

### **Керування руховими діями**

(приспосувальна активність до перемінних зовнішніх і внутрішніх умов і стану організму)

На біомеханічну систему може впливати безліч навколишніх тіл (снаряди, обтяження, партнери, супротивники), опора і середовище (повітряна, водяна). Ці впливу (зовнішні сили) звичайно змінні по величині, напрямку і місцеві додатка.

Внутрішні активні сили (сили м'язових тяг) збільшуються і зменшуються, змінюються їхні плечі (плечі сил), що обертають моменти, тобто сукупність м'язових тяг у край мінлива.

Внутрішні пасивні опори (пружні, грузлі, інерційні сили, сили тертя, реакції опори й ін.) також мінливі. Особливо великі і зміни по величині і напрямку інерційні реактивні сили (відцентрові при обертальному русі, інерційний опір і напір ланок при розгоні і гальмуванні).

Таким чином, перемінні м'язові сили діють у перемінних умовах зовнішнього впливу і внутрішніх опорів, що виникають у самій біомеханічній системі.

В абсолютно твердому тілі прискорення всього тіла, усіх його часток виникає в момент додатка сили.

У пружному тілі механічний ефект передається всім його часткам лише з плином часу, тобто має місце запізнювання механічного ефекту. Величина загального запізнювання практично не може бути передбачена точно через дуже велику кількість діючих факторів.

«Зв'язку між нервовим імпульсом, силою тяги м'яза і рухом ланки неоднозначні і залежать від безлічі факторів" (Н.А.Бернштейн).

Запізнювання механічного ефекту не виключає того, що завдяки сигнальному значенню подразників організм заздалегідь підготовляється до майбутнього впливу, випереджає його.

Тому для відповідності руху руховій задачі необхідно керувати їм з обліком всіх умов (зовнішніх і внутрішніх), що можливо завдяки пристосувальній активності нервової системи.

## 5. БІОМЕХАНІКА РУХОВИХ ДІЙ

### 5.1. Геометрія мас тіла

Геометрія мас тіла (розподіл мас тіла) характеризується такими показниками, як маса (вага) окремих ланок тіла, положення центрів мас окремих ланок і всього тіла, моменти інерції окремих ланок і всього тіла щодо різних осей обертання й ін.

#### 5.1.1. Загальний центр мас тіла людини (ЗЦМ)

Вага окремих ланок тіла залежить від ваги тіла в цілому. Наближені величини відносної ваги ланок тіла (у відсотках до ваги всього тіла) приведені на малюнку (числа праворуч від фігури людини).

Ці дані отримані з використанням так званих коефіцієнтів Фішера по формулі:

$$p_i = n_i \cdot P ,$$

де  $P$  - вага тіла, кг ;

$n_i, p_i$  - коефіцієнт Фішера і розрахункова вага і – тієї ланки тіла,

і придатні лише в якості грубого початкового орієнтира, тому що відносна вага окремих ланок тіла непостійний.

#### *Приклад*

Якщо людина, що важила 60 кг, поправившись, стала важити 90 кг, то це не означає, що усі ланки її тіла (зокрема, кисті, стопи, голова й ін.) теж стали важити в 1,5 рази більше.

Крім того, у даному методі розрахунку не враховується вплив росту людини на відносну вагу ланок.

Більш точні результати при визначенні ваги окремих ланок тіла дає використання рівнянь множинної регресії, що враховують вплив на величини, що обчислюються, як ваги, так і росту людини:

$$p_i = b_{0i} + b_{1i} \cdot P + b_{2i} \cdot H ,$$

де  $p_i$  - вага  $i$ -тої ланки тіла (кг);

$b_{0i}, b_{1i}, b_{2i}$  - коефіцієнти регресії для  $i$ -тої ланки;

$P, H$  - вага (кг) і ріст (см) людини.

Центр мас твердого тіла є цілком визначеною фіксованою крапкою, що не змінює свого положення щодо тіла.

У біомеханіці розрізняють центри мас окремих ланок тіла (наприклад, стопи, гомілки та інш.) і центр мас усього тіла.

Найбільш загальним показником розподілу мас у тілі служить загальний центр мас (ЗЦМ) тіла. В усі сторони від ЗЦМ, по будь-якому напрямку, моменти сил ваги взаємно врівноважуються. Рівнодіюча рівнобіжних сил ваги, що діють на всі частини тіла, прикладена до ЗЦМ.

Положення ЗЦМ визначається анатомо-фізіологічними особливостями тіла людини, позою, функціонуванням дихальної, травної, серцево-судинної й іншої систем, що приводять до переміщення значних мас речовини в організмі.

При зміні пози (позна деформація) ЗЦМ тіла зміщується й у деяких випадках (наприклад, нахилах уперед та назад) може знаходитися поза тілом людини.

**Приклад.** Питома вага грудного відділу тулуба змінюється в залежності від фази подиху (при вдиху питома вага менше, при видиху - більше), що приводить до зсуву ЗЦМ.

При переході з горизонтального положення у вертикальне і навпаки кров, переміщуючись по інерції, збільшує чи зменшує на якийсь час вагу окремих частин тіла.

Розташування ЗЦМ залежить від статури людини.

**Приклад.** У людей з більш розвитими ногами ЗЦМ відносно нижче, ніж у людей з більш могутньою мускулатурою тулуба і рук.

У симетричних положеннях стоячи з опущеними руками ЗЦМ знаходиться на рівні від першого до п'ятого крижового хребця, приблизно на 4-5 см вище поперечній вісі тазостегнових суглобів.

Передньо-задня площина, що проходить через ЗЦМ, поділяє тіло людини майже симетрично. Вона трохи зміщена вправо від серединної площини, тому що права половина тіла людини важче лівої на 400 -500 м у зв'язку з несиметричним розташуванням внутрішніх органів і нерівномірним розвитком рухового апарата. У правшій права половина тіла розвита краще і має більшу вагу.

У передньо-задньому напрямку ЗЦМ розташовується між хрестцем і лобком у залежності від положення тіла при стоянні.

Розташування ЗЦМ визначається і статевими, і віковими особливостями.

*Приклад.* У дітей, що мають велику масу голови стосовно тулуба, ЗЦМ розташовується вище, ніж у дорослих. У жінок, у зв'язку з властивими ним пропорціями тіла, зокрема, більш масивним тазовим поясом, ЗЦМ розташовується нижче, ніж у чоловіків.

Для визначення положення ЗЦМ тіла використовуються такі методи:

1. експериментальні;
2. розрахункові (аналітичні);

Розрахункові (аналітичні) методи використовуються набагато частіше, ніж експериментальні. При цьому для розрахунку повинні бути відомі:

- а) положення окремих ланок тіла в просторі, що визначають по фотограмах, кінограмам і інш. способами;
- б) ваги окремих ланок тіла  $p_i$ , знайдені за допомогою коефіцієнтів Фішера чи по рівнянню регресії (див. вище);
- в) положення ЦМ окремих ланок тіла  $l_{цi}$ .

При визначенні  $l_{цi}$  вважають, що ЦМ ланок розташовані на подовжніх осях, що з'єднує центри суглобів, і використовують або коефіцієнти Фішера  $m_i$  і формулу

$$l_{цi} = m_i \cdot l_i,$$

де  $l_i$  - довжина  $i$  - тієї ланки,

або рівняння множинної регресії:

$$l_{\text{ци}i} = d_{0i} + d_{1i} \cdot P + d_{2i} \cdot H$$

Для визначення положення ЗЦМ тіла розрахунковим шляхом звичайно використовують теорему Вариньона: сума моментів сил щодо осі дорівнює моменту рівнодіючої сили щодо цієї осі:

$$\sum_{i=1}^n P_i \times x_{ij} = P \times x_j$$

де  $i$  – номер сегмента моделі тіла людини;

$n$  – кількість сегментів;

$j$  – номер положення тіла в руховій дії;

$m$  – кількість положень тіла;

$P_i$  – вага  $i$ -того сегмента;

$x_{ij}$  – координата центра мас  $i$ - того сегмента в  $j$ -тім положенні тіла по деякій заданій осі;

$P$  – вага тіла спортсмена;

$x_j$  – координата ЗЦМ у  $j$ - тім положенні тіла по заданій осі.

Таким чином, для застосування аналітичного методу перебування положення ЗЦМ тіла необхідно попередньо визначити вагу всього тіла, маси і координати центрів мас окремих сегментів.

Для спрощення розрахунків беруть не абсолютні, а відносні ваги (маси) частин тіла:

$$p_i = \frac{P_i}{P} .$$

В даний час розроблені і всі частіше застосовуються методи автоматичного розрахунку на ЕОМ зазначених параметрів: ЕОМ сама малює контурні зображення спортсмена (ЕОМ-кінетограми), позначаючи на них положення ЦМ окремих ланок і ЗЦМ усього тіла.

### 5.1.2. Моменти інерції тіла

Момент інерції системи матеріальних крапок щодо осі обертання (див. розд. "Біомеханічні характеристики") дорівнює сумі добутків мас цих крапок на квадрати їхніх відстаней до осі обертання:

$$I = \sum m_i \cdot r_i^2$$

Центральним моментом інерції ланки називається момент інерції щодо осі обертання, що проходить через ЦМ цієї ланки.

Момент інерції щодо вісі, рівнобіжної центральній, можна розрахувати по формулі (теорема Гюйгенса-Штейнера):

$$I_x = I_c + m \cdot l^2 \quad ,$$

де  $I_x$ - шуканий момент інерції;

$I_c$ - центральний момент інерції ланки;

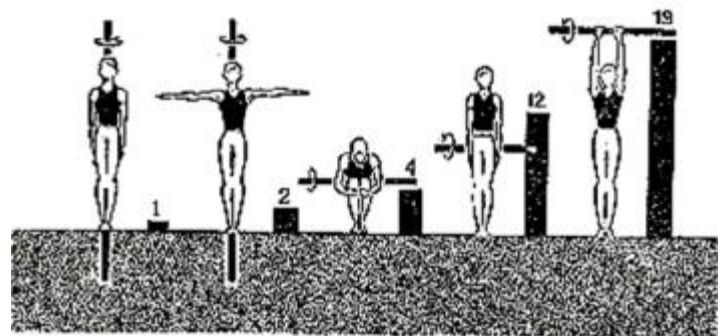
$m$  - маса ланки;

$l$  - відстань від осі обертання до ЦМ.

Момент інерції всього тіла залежить від пози тіла й осі обертання (див. мал.).

Зміною пози можна дуже сильно змінити момент інерції.

**Приклад.** Згрупування при виконанні сальто зменшує момент інерції в порівнянні з прямим положенням тіла приблизно в 3 рази.



Моменти інерції тіла человека в різних позах относительно різних осей

Моменти інерції окремих ланок і всього тіла людини при обертанні щодо різних осей (сагітальної, фронтальної, горизонтальної) можуть

визначатися по рівняннях множинної регресії в залежності від ваги і росту спортсмена [ 1 ] :

$$I_x = B_0 + B_1P + B_2Ж .$$

Коефіцієнти регресії  $B_0$  ,  $B_1$  ,  $B_2$  різні для різних ланок (сегментів) тіла і для різних осей обертання.

### 5.1.3. Центр обсягу і центр поверхні тіла

ЦО і ЦП також, як і ЗЦМ, відносять до показників геометрії мас тіла.

Центр обсягу тіла – це точка додатка рівнодіючих сил гідростатичного тиску (сил Архімеда).

ЦО й ЗЦМ тіла не збігаються один з одним, тому що щільність тіла людини неоднакова.

**Приклад.** Легені займають великий обсяг, а важать дуже мало. Тому в положенні людини коштуючи ЦО знаходиться на 2-6 див вище ЗЦМ.

Взаємне положення ЦО й ЗЦМ впливає на умови статичної рівноваги тіла у воді.

Центр поверхні тіла – це точка додатка рівнодіючих сил дії середовища (повітря, води).

ЦП тіла залежить від пози і напрямку потоку середовища.

При великих швидкостях польоту (напр., стрибки з парашутом, стрибки на лижах і ін.) сили опору середовища (повітря) великі. При цьому відносне положення ЦП і ЗЦМ тіла впливають на збереження динамічної рівноваги.



## 6. СИЛИ В РУХАХ ЛЮДИНИ

Усі сили, прикладені до тіла людини, можна розділити на:

1. зовнішні, котрі викликані дією зовнішніх для людини тіл (опора, снаряди, інші люди, середовище і т.д.).

Тільки при їхній наявності можлива зміна траєкторії і швидкості ЦМ, без них рух ЦМ не змінюється.

2. внутрішні, котрі виникають при взаємодії частин тіла людини з іншим.

Самі по собі вони не можуть змінити руху ЦМ. Але тільки внутрішніми силами тяги м'язів людина керує безпосередньо, викликаючи руху ланок у суглобах.

Поділ сил, прикладених до тіла людини, на зовнішні і внутрішні відносно. (завжди треба порушувати питання: стосовно якого тіла чи якій системі тіл робиться цей поділ?).

Усі зовнішні сили бувають:

1. контактні, котрі діють при контакті тіла людини з відповідними зовнішніми тілами.

2. дистанційні, що можуть діяти на тіло людини без контакту, на відстані.

Прикладом таких сил є лише сили ваги.

### 6.1. Зовнішні щодо системи сили

#### 6.1.1. Сили інерції зовнішніх тіл

Зовнішні сили змінюють рух людини, викликають прискорення – тоді і виникають сили інерції.

Сила інерції зовнішнього тіла (реальна) – це міра дії на тіло людини з боку зовнішнього тіла, що прискорюється людиною:

$$\vec{F}_{ин} = - m\vec{a}$$

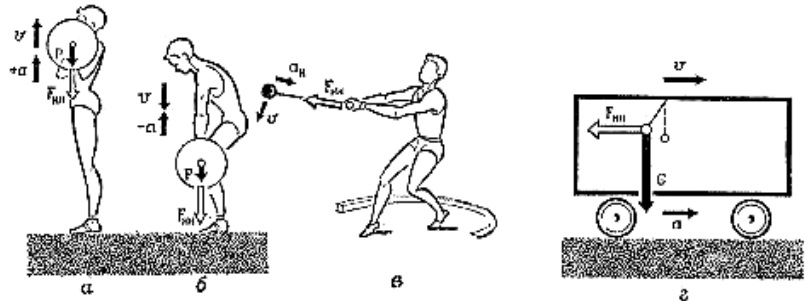
Сила інерції зовнішнього тіла при його прискоренні людиною спрямована убік, протилежний прискоренню.

### Приклади

- людина збільшує швидкість ядра, штовхаючи його від себе => має знак "+" (сила інерції - опір);

- людина зменшує швидкість набивного м'яча,

ловлячи його на себе => має знак "-" (сила інерції – напір);



Сила інерції:  
*a, b, v* – реальна при прискореннях; *a* – додатньому; *b* – від'ємному; *v* – нормальному; *z* – фіктивна сила інерції.

- людина утримує диск при розгоні, виникає відцентрова сила інерції.

При обертальному русі ця сила інерції може бути розкладена на тангенціальну  $F_{ин}^T = m \epsilon r$  и нормальну  $F_{ин}^N = m \omega^2 r$  складові.

Так визначаються реальні сили інерції зовнішніх сил при використанні інерціальної (нерухомої) системи відліку. У цих випадках сила інерції тіла, що прискорюється, (ядра, м'яча, диска й ін.) викликається тілом, що прискорює, (людиною). Сила інерції (реальна) – це протидія зовнішнього тіла, що прискорюється, (за 3-м законом Ньютона).

При використанні неінерційної системи відліку (при цьому закони Ньютона не застосовні) вводять "фіктивну" силу інерції (що дозволяє застосувати закони Ньютона). Вона має ту ж величину і напрямок, що і реальна сила інерції. Але точкою додатка "фіктивної" сили інерції вважається центр інерції тіла, що прискорюється. Фіктивна тут не сама сила інерції, а точка її додатка (напр., центр інерції ядра, м'яча, диска – замість робочої крапки тіла людини).

Застосовувані у фізичних вправах обтяження діють не тільки своєю вагою (не змішувати із силою ваги), але і реальної силоміць інерції, якщо обтяженню надається прискорення.

За принципом еквівалентності гравітація (тяжіння) і інерція (прискорення) по дії практично нерозрізнені.

### 6.1.2. Сили пружної деформації

Усі реальні тіла під дією прикладених сил деформуються. Сили, що виникають у тілі, що протидіють деформації і відновлюють форму тіла, називаються пружними.

Сила пружної деформації – це міра дії деформованого тіла на інші тіла, що викликають цю деформацію.

Пружні сили залежать від властивостей деформованого тіла, а також виду і величини деформації:

$$\boxed{\overline{F}_{\text{упр}} = C \Delta l} \quad ; \quad [F_{\text{упр}}] = MLT^{-2} ,$$

де  $\overline{F}_{\text{упр}}$  - пружна сила,  $\Delta l$  - деформація,  $C = \frac{\overline{P}}{\Delta l}$  - коефіцієнт твердості (пружності) тіла..

**Прикла.** Спортсмен стискає динамометр, розтягує еспандер, згинає під час наскоку пружний чи трамплін батут; у них при деформації виникають пружні сили. Наростаючи, вони зупиняють деформації.

Як відновлюють форму динамометр і еспандер, спортсмену байдуже, а от відновлення форми пружного чи трампліна батута передає кінетичну енергію тілу спортсмена. Пружні сили деформованого чи трампліна батута роблять позитивну роботу.

### 6.1.3. Сили ваги і вага

За законом всесвітнього тяжіння всі тіла на Землі випробують силу її притягання:

$$F_{\text{ТЯГ}} = \gamma \frac{m \cdot M}{r^2},$$

де  $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^2$  - гравітаційна постійна (гравіс *лат.* - важкий);

$m, M$  - маси тіла і Землі відповідно, кг;

$r$  - відстань між їхніми центрами, м.

Сила ваги тіла - це міра його притягання до Землі (з урахуванням впливу обертання Землі):

$$\overline{G} = m \overline{g} \quad ; \quad [G] = MLT^{-2}$$

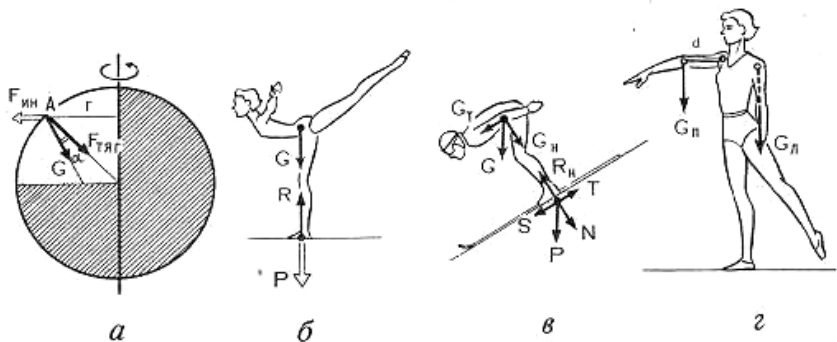
Сила ваги залежить від мас Землі і тіла, що притягається нею, а також від відстані між ними.

6357 км - відстань від центра Землі до поверхні на полюсі.

6378 км - відстань від центра Землі до поверхні на екваторі.

На екваторі сила тяжіння менше, ніж на полюсах, на 0,2 %.

Тому що Земля обертається навколо своєї осі, тіло на її поверхні випробує дію відцентрової сили інерції (фіктивної) у неінерційної (обертової) системі відліку. Вона більше



всього на екваторі і зменшує там силу тяжіння ще на 0,3% (у порівнянні з положенням на полюсах).

Сила ваги (G) :

$a$  - її гравітаційна ( $F_{\text{тяг}}$ ) і інерційна ( $F_{\text{ин}}$ ) складові;  $b, v, z$  - дія сили ваги на горизонтальній опорі і на похилій;  $P$  - вага тіла.

Тому сила ваги дорівнює геометричній сумі сил тяжіння (гравітаційної) і відцентрової (інерції). На кожен ланку і на все тіло людини діють сили ваги, як зовнішні сили, викликані притяганням і обертанням Землі. Рівнодіюча рівнобіжних сил ваги тіла прикладена до його центра ваги.

Коли тіло спочиває на опорі (чи підвішено), сила ваги, прикладена до тіла, притискає його до опори (чи відриває від підвісу).

Вага тіла (статична) – це захід впливу тіла в спокої на спочиваючу ж опору (чи підвіс), що заважає його падінню.

Виходить, сила ваги і вага тіла не та сама сила.

Вага всього тіла людини прикладений не до нього самому, а до його опори (сила ваги – дистанційна, вага – контактна сила). У фазі польоту, у бігу – ваги немає, це - випадок невагомості.

При впливі голови на шийні хребці взаємодіють голова і хребетний стовп. Таким чином, вага голови щодо тіла людини – сила внутрішня, щодо ж хребта – зовнішня. Вага, наприклад, штанги, утримуваної людиною, для неї, звичайно, зовнішня сила.

При русі тіла з прискоренням, спрямованим по вертикалі, виникає вертикальна сила інерції. Вона спрямована у бік, протилежний прискоренню.

Якщо сила інерції спрямована вниз, то вона складається зі статичною вагою; сила тиску на опору при цьому збільшується.

Якщо сила інерції спрямована нагору, то вона віднімається зі статичної ваги; сила тиску на опору при цьому зменшується.

В обох випадках змінену вагу називають динамічною, вона більше чи менше статичної (на величину сили інерції тіла).

### ***Приклади***

- динамічна вага штанги в руках спортсмена діє на нього ззовні (зовнішня сила);

- динамічна вага тулуба при вистрибуванні нагору діє на ноги усередині тіла (внутрішня сила відносно всього тіла і зовнішня – щодо ніг).

### **6.1.4. Сила реакції опори**

Реакція опори – це міра протидії опори дії тіла, що знаходиться з нею в контакті (у спокої чи в русі). Вона дорівнює силі дії тіла на опору, спрямована в протилежну сторону і прикладена до цього тіла.

Звичайно людина, знаходячись на горизонтальній платформі, випробує протидію своїй вазі. У цьому випадку опорна реакція, як і вага тіла, спрямована перпендикулярно до опори. Це – нормальна реакція опори (якщо поверхня не плоска, те опорна реакція перпендикулярна до площини, дотичної до точки опори).

Коли вага статична, то реакція опори – статична: по величині вона дорівнює статичній вазі.

Якщо людина на опорі рухається з прискоренням, спрямованим нагору (чи вниз), то до статичної ваги додається (чи віднімається) сила інерції. Виникає динамічна реакція опори.

Реакція опори – сила пасивна (реактивна). Вона не може сама по собі викликати позитивні прискорення. Але без її (якщо не від чого відіпхнутися, якщо немає опори) людина не може активно переміщатися.

Якщо відштовхуватися від горизонтальної опори не прямо нагору, то і сила тиску на опору буде прикладена не під прямим кутом до її поверхні.

Реакція опори також не буде перпендикулярна до поверхні – її можна розкласти на нормальну і дотичну складові.

Якщо дотичні поверхні – рівні, без виступів, шипів і т.п. (асфальт, підошва черевика), то дотична складова реакції опори і є сила тертя.

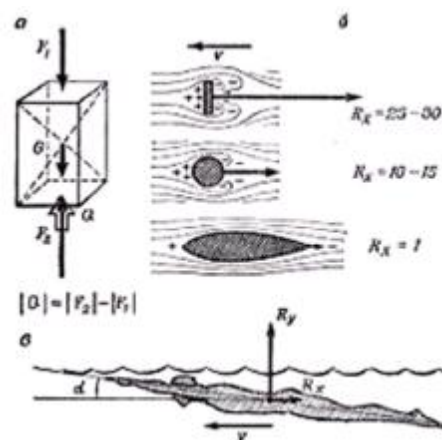
Рівнодіюча нормальної і дотичний складових називається загальною реакцією опори. Вона проходить через ЦМ людину тільки при вільному (нерухомому) його положенні над (під) опорою. Під час же рухів, чи відштовхування амортизації вона звичайно не проходить через ЦМ, утворити щодо нього момент.

#### **6.1.5. Сила дії середовища**

Спортсмену нерідко приходится переборювати опір чи повітря води. Середовище, у якій рухається людина, робить свою дію на його тіло.

Ця дія може бути:

- 1) статична (виштовкуюча сила,  $Q$ );
- 2) динамічна (лобовий опір  $R_x$ , нормальна реакція середовища  $R_y$ ).



Сила, що виштовхує  $Q$  – це міра дії середовища на занурене в неї тіло. Вона вимірюється вагою витиснутого обсягу рідини  $\bar{G}_V$  і спрямована нагору.

Сили дії середовища:  
 $a$  – статична (що виштовхує,  $Q$ );  
 $b, c$  – динамічна;  $b$  – лобового опору ( $R_x$ );  $c$  – під'ємна ( $R_y$ ).

Якщо сила, що виштовхує  $\bar{Q}$  більше сили ваги  $\bar{G}$ , те тіло спливає. Якщо  $\bar{G}$  більше  $\bar{Q}$ , те тіло тоне.

Лобовий опір  $R_x$  – це сила, з яким середовище перешкоджає руху тіла щодо її:

$$\boxed{\bar{R}_x = S_M \times C_x \times \rho \times v^2} \quad ; \quad [R_x] = MLT^{-2} = \text{кг} \times \text{м} / \text{с}^2 = \text{Н}$$

де  $S_M$  - мідель (площа поперечного перерізу тіла);

$C_x$  - коефіцієнт лобового опору, що залежить від форми тіла (обтічності) і його орієнтації щодо напрямку руху в середовищі;

$\rho$  - щільність середовища (вода - 1000 кг/м<sup>3</sup>, повітря - 1,3 кг/м<sup>3</sup>);

$v$  - відносна швидкість середовища і тіла.

Змінюючи величини  $S_M, C_x, v$ , можна змінити вплив середовища.

### Приклади

- 1) У лижника при спуску з гори у високій стійці площа найбільшого поперечного перерізу майже в три рази більше, ніж у низькій стійці. Отже, опір повітря при спуску можна змінювати майже в три рази;

2) Плавець, приймаючи у воді пози з кращою обтічністю, може зменшити опір води;

3) Опір середовища (води чи повітря) різко збільшується зі збільшенням швидкості пересування (приблизно пропорційно квадрату швидкості).

Нормальна реакція середовища  $\overline{R}_y$  - це сила, що діє з боку середовища на тіло, розташоване під кутом до напрямку його руху. Вона залежить від тих же факторів, що і лобовий опір:

$$\boxed{\overline{R}_y = S_M \times C_y \times \rho \times v^2} ; \quad [R_y] = MLT^{-2} = кг \times м / с^2 = Н ,$$

де  $C_y$  - коефіцієнт нормальної реакції середовища (в польоті він має назву під'ємної сили).

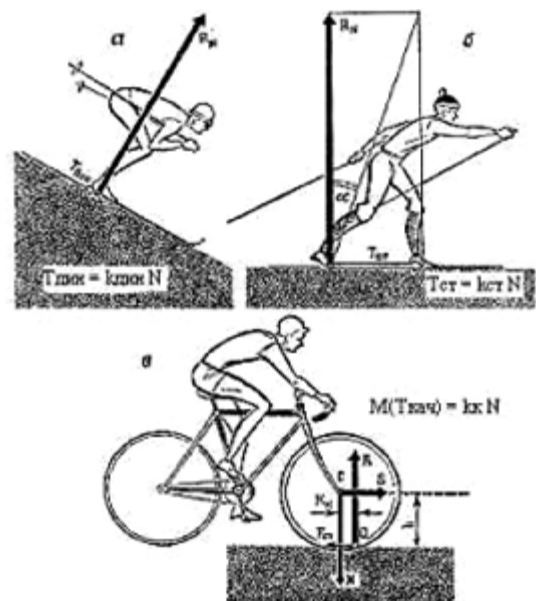
**Приклад** Нормальна реакція середовища при гребку спрямована перпендикулярно силі лобового опору.

З нормальною реакцією середовища як з піднімальною силою приходиться вважатися (наприклад, плавцю під час просування по дистанції; стрибуну на лижах із трампліна під час польоту в повітрі).

### 6.1.6. Сили тертя

Абсолютно гладких поверхонь опори практично не існує. Між тілом людини й опорою при русі по ній завжди виникає тертя.

Сила тертя – це сила протидії опори тілу, що рухається, спрямована по дотичній до дотичного поверхням:





$$\boxed{\bar{T} = \bar{N} \times k_{TP}}; \quad [T] = MLT^{-2} = H,$$

де  $\bar{T}$  - сила тертя, н;

$\bar{N}$  - сила нормального тиску, н;

$k_{TP}$  - коефіцієнт тертя.

Коефіцієнт тертя – це відношення сили тертя до сили нормального тиску (притискуючій сили):

$$\boxed{k_{TP} = \bar{T} / \bar{N}}$$

Розрізняють такі види тертя:

1. Тертя ковзання, коли одне тіло переміщається щодо іншого, не втрачаючи контакту з ним (тобто ковзає по ньому).

При цьому має місце динамічна сила тертя.

Якщо одне тіло не може ковзати по іншому, тобто сила, що зрушує, не може зрушити його, то, слід., сила тертя утримує тіло в нерухомості.

Така сила тертя називається статичної (чи силою тертя ковзання спокою).

Статичний коефіцієнт тертя ковзання дорівнює відношенню граничної статичної сили тертя ковзання до сили нормального тиску (тобто відношенню сили, що зрушує, до що притискає):

$$\boxed{k = \bar{T}_{CT} / \bar{N}}$$

Механізм тертя ковзання пояснюють зачепленням нерівностей ковзних тіл одне за одне (механічна теорія), а також молекулярним зчепленням при щільному контакті гладких поверхонь тіл (молекулярна теорія). При змащенні нерівності поверхонь як би "згладжуються".

2. Тертя катання, коли точки дотику тіл увесь час міняються (наприклад, крапки покришки колеса велосипеда і місця його опори на доріжці).

Механізм тертя катання пояснюють деформацією дотичних тіл. Колесо як би вдавлюється в опору, утворити ямку, через край якої колесу увесь час приходиться перекочуватися.

Коефіцієнт тертя катання дорівнює відношенню моменту рушійної сили  $(\bar{S} \times h)$  до моменту тертя  $(\bar{N} \times k_k)$ .

Плече  $k_k$  сили  $N$ , що утрудняє "викочування" з ямки і є коефіцієнт тертя катання  $([k_k]=L=m)$ .

3. Тертя вертіння, коли між третювими поверхнями є нерухома точка і рух відбувається навколо цієї крапки.

### ***Приклади***

1) Стопа при відштовхуванні від опори, якщо на підошві взуття немає шипів, обертається щодо ґрунту.

2) У металника молота на підошві взуття мається шип, вертіння відбувається при повороті навколо шипа.

Сили тертя, спрямовані назустріч руху, гальмують його. Вони викликають негативне прискорення і роблять негативну роботу.

Сили тертя, спрямовані убік руху, не створюють позитивного прискорення, не роблять позитивної роботи, а тільки не дають точці контакту тіла, що рухається, "прослизати" назад.

## **6.2. Внутрішні щодо системи сили**

Ці сили виникають унаслідок взаємодії частин біомеханічної системи тіла. Вони виявляються усередині тіла як:

1. сили притяжіння;
2. сили відштовхування.

В абсолютно твердому тілі такі сили взаємно урівноважені, деформації і напруги не виникають.

У тілі людини внутрішні сили можуть діяти:

1. статично (викликаючи тільки напруги в деформованих тканинах);
2. динамічно (викликаючи рух ланок і змінюючи позу).

Внутрішні для тіла людини сили розділяють на:

- 1) сили м'язової тяги;
- 2) сили пасивної взаємодії органів і тканин.

### **6.2.1 Сили м'язової тяги**

Сили м'язової тяги прикладені до ланок кінематичних ланцюгів усередині тіла (до кіст кістяка).

Вони виконують наступні функції:

1. енергетична (робота м'язів - основне джерело енергії рухів людини);
2. керуюча (м'яза, змінюючи положення частин тіла, обумовлюють його вплив на навколишні фізичні об'єкти - середовище, опора, снаряди, інші люди і т.д.).

За допомогою м'язових тяг людина керує рухами, використовуючи зовнішні сили й інші внутрішні сили. Сили м'язової тяги в біомеханіці називаються зусиллями. Удосконалювання рухів дозволяє краще використовувати м'язові сили.

### **6.2.2. Сили пасивної взаємодії**

Сили пасивної взаємодії на відміну від сил м'язової тяги не викликані безпосередньо фізіологічною активністю, біологічними процесами (хоча до деякої міри і залежать від них).

Сили пасивної взаємодії включають:

1. опорні реакції в суглобах і місцях прикріплення м'язів і зв'язувань (як протидія статичній і динамічній вазі ланок);
2. сили сухого і рідинного тертя (обумовлені взаємним зсувом органів і тканин у місці їхнього контакту - у суглобах, між м'язами, усередині м'язів й ін.);
3. сили інерції при прискореннях ланок, органів, тканин;
4. пружні сили деформації пружних утворень (зв'язковий апарат, з'єднання елементів хребта й ін.).

У статиці зустрічаються 1, 2 і 4 сили (крім сил інерції). У динаміку руху ланок відбуваються з прискореннями: доцентровими (при суглобних рухах) і тангенціальними (при розгоні ланки – позитивні, при гальмуванні - негативні). Тому сили інерції є при русі завжди. Це найчисленніша група сил внутрішньої пасивної взаємодії.

У будь-якому русі, гальмуючи ланку і зупиняючи його, розтягуються м'язи-антагоністи. При цьому завжди виникають пружні сили (деформація сполучно – тканинних і м'язових елементів). У статиці зустрічаються 1, 2 і 4 сили (крім сил інерції).

У динаміці рухи ланок відбуваються з прискореннями: доцентровими (при суглобних рухах) і тангенціальними (при розгоні ланки – позитивні, при гальмуванні – негативні). Тому сили інерції мають при русі завжди. Це сама численна група сил внутрішньої пасивної взаємодії.

У будь-якому русі, гальмуючи ланку і зупиняючи її, розтягуються м'язи-антагоністи. При цьому завжди виникають пружні сили (деформація сполучно-тканинних і м'язових елементів). При великих прискореннях інерційні і пружні сили особливо великі. При так називаній "пружній віддачі" роль цих двох груп сил є ведучої в рухах.

Таким чином, внутрішні сили пасивного (у біологічному змісті) взаємодії відіграють роль не тільки зв'язків, що обмежують рухи; у визначених умовах вони використовуються як рушійні сили, що підвищують ефективність м'язової роботи.

Рухи людини являють собою результат спільної дії зовнішніх і внутрішніх сил. Зовнішні сили, що виражають вплив зовнішнього середовища, обумовлюють багато особливостей рухів. Внутрішні сили, безпосередньо керовані людиною, забезпечують правильне виконання заданих рухів.

Ріст технічної майстерності виявляється в підвищенні ролі зовнішніх і пасивних внутрішніх сил, як рушійних сил. Задачі удосконалювання рухів, підвищення їхньої ефективності зводяться до підвищення результату сил, що прискорюють, і зниженню дії шкідливих опорів. Це особливо важливо в спорті, де всі рухи спрямовані на ріст спортивного результату.

## Контрольні питання

1. Предмет біомеханіки. Основні розділи курсу і їх задача.
2. Послідовність біомеханічного аналізу.
3. Види біомеханічних характеристик.
4. Кінематичні характеристики. Системи відліку відстані і часу.
5. Динамічні характеристики.
6. Поняття інерції й інертності. Види динамічних характеристик.
7. Енергетичні характеристики. Перехід одних видів енергії в інші.
8. Тіло людини як біомеханічна система.
9. Ланки тіла, біокинematичні пари і ланцюги.
10. Ступені зв'язку і ступені волі рухів.
11. Ланки тіла як важелі і маятники. Види важелів. Елементи важеля.
12. Біокинematичні маятники. Складені важелі і маятники.
13. Біодинаміка м'язів. Основні біомеханічні властивості м'язів.
14. Основні характеристичні криві: "сила-довжина", "сила-швидкість".
15. Режими м'язового скорочення: ізометричний, анізометричний, що переборює, що уступає.
16. Режими максимальної потужності і найбільш економічний.
17. Групові взаємодії м'язів: синергізм і антагонізм.
18. Робочі й опорні тяги м'язів.
19. Неповнозв'язний і повнозв'язний механізми з'єднання ланок.
20. Особливості будівлі біомеханічної системи.
21. Основні процеси в біомеханічній системі.
22. Види деформацій у біомеханічних системах.
23. Джерела механічної енергії у біосистемі.
24. Геометрія мас тіла.
25. Загальний центр мас (ЗЦМ) тіла.
26. Відносні ваги і положення ЦМ окремих ланок тіла.
27. Сили в рухах людини.

28. Класифікація сил: зовнішні, внутрішні; контактні, дистантні.
29. Сили інерції зовнішніх тіл.
30. Сили ваги і вага, реакції опори.
31. Сили пружної деформації.
32. Сили тертя.
33. Сили внутрішні що до людини.
34. Три компонентна модель м'яза.
35. Взаємодія скорочувальних і пружних елементів м'яза при скороченні.
36. Поняття про рухові якості.
37. Рухове завдання. Максимальні і лімітні значення  $F, v, t$ .
38. Поняття про силові якості. СДЧ і сила м'язів. Топографія сили.
39. Біомеханічні вимоги до спеціальних силових вправ (принцип динамічної відповідності, метод сполученого впливу).
40. Поняття про швидкісні якості.
41. Показники швидкісних якостей.
42. Види рухових реакцій. Фази в рухових реакціях.
43. Основні ергометричні показники.
44. Стомлення. Типи стомлення. Фази стомлення при м'язовій роботі.
45. Витривалість і способи її виміру.
46. Показники витривалості.
47. Біомеханічні основи економизації спортивної техніки.
48. Гнучкість. Способи ви міру гнучкості. Види гнучкості.
49. Дефіцит активної гнучкості. Умови прояву гнучкості. Запас гнучкості.
50. Характеристики положення тіла. Умови рівноваги тіла людини.
51. Збереження положення тіла. Типові нерухомі положення.
52. Види рівноваги твердого тіла. Показники стійкості тіла.
53. Особливості стійкості біомеханічних систем.
54. Керування збереженням положення. Основні зони площі опори.

55. Рухи, що дозволяють керувати збереженням положення.
56. Рухи на місці.
57. Основні частини біомеханічної системи при рухах на місці.
58. Закон збереження руху ЦМ системи і висновки з нього.
59. Рушійні і гальмуючі сили, сили що переборюють і уступають при рухах на місці.
60. Фазова структура рухів на місці.
61. Умова руху тіла навколо осі.
62. Основні поняття: що прискорює і утримує тіла, доцентрова і відцентрова сили.
63. Види осей обертання.
64. Керування рухами біомеханічної системи навколо осей зі зміною кінетичного моменту.
65. Керування рухами біомеханічної системи навколо осей зі збереженням кінетичного моменту.
66. Закон збереження кінетичного моменту і висновки з нього.
67. Зовнішні для ланки сили. Види обертань вільного тіла в польоті.
68. Локомоторні рухи: визначення, рухова задача.
69. Механізм відштовхування від опори.
70. Загальна схема взаємодії махов іх рухів і відштовхування ногами.
71. Крокові рухи-основний від рухів у локомоціях.
72. Основні періоди крокові х рухів і фази в цих періодах.
73. Повний цикл рухів у ходьбі і бігу, їхні відмінності.
74. Види спортивних локомоцій. Класифікація спортивних локомоцій.
75. Біодинаміка стрибка. Механізм відштовхування від опори.
76. Фазова структура стрибка. Роль реакції опори.
77. Біодинаміка плавання (переміщення з опорою на воду).
78. Сили, що діють на плавця.
79. Біодинаміка пересувань з механічними перетворювачами рухів (педалювання на велосипеді, академічне веслування).



80. Рухи, що переміщують. Їх задача. Приклади застосування.
81. Вимоги до спортивних рухів, що переміщують.
82. Види рухів, що переміщують, по способі виконання.
83. Польшот спортивних снарядів.
- 84 Величини, що визначають траєкторію польоту.
- 85 Прояв сили дії в рухах, що переміщують.
86. Швидкість у рухах, що переміщують.
87. Етапи збільшення швидкості в рухах, що переміщують, з розгоном тіла.
88. Точність у рухах, що переміщують.
89. Цільова точність. Види помилок. Купчастість.
90. Ударні дії. Визначення поняття "удар". Ударний імпульс.
91. Види ударів. Коефіцієнт відновлення.
92. Класифікація ударів: в залежності від напрямку руху до удару; в залежності від напрямку ударного імпульсу.
93. Основне співвідношення для центрального удару. Окремі випадки.
94. Фази ударної дії. Ефективність ударної дії.
95. Підготовка дослідження.
96. Етапи досліджень.
97. Мета біомеханічного дослідження.
98. Задачі біомеханічного дослідження.
99. Методи досліджень.
100. Вимоги до методів досліджень:
101. Рухова дія як система рухів.
102. Види спортивної техніки.
103. Просторові елементи системи рухів.
104. Тимчасові елементи системи рухів.
105. Структура системи рухів.
106. Рухові структури.
107. Інформаційні структури.

108. Узагальнені структури.

109. Спортивна дія як керована система рухів.

## Література

### Базова

1. Донской Д.Д. Биомеханика / Донской Д.Д., Зацюрский В.М. – М : ФиС, 1979. – 429 с.
2. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники / Донской Д.Д. – М.: ФиС, 1971. – 272 с.
3. Донской Д.Д. Биомеханика / Донской Д.Д. – М.: Просвещение, 1975. – 234 с.
4. Бранков Г. Основы биомеханики / Бранков Г. – К.: Олимпийская литература, 1981.- 165 с.
5. Петров В.А. Механика спортивных движений / Петров В.А., Гагин Ю.А. – М.: ФиС, 1974. – 433 с.
6. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений / Уткин В.Л. – М.: Просвещение, 1989. – 163 с.
7. Лапутін А.Н. Біомеханіка фізичних вправ / Лапутін А.Н., Хапко В.Е. – К.: Радянська школа, 1986. – 586 с.
8. Беляєв В.П. “Основні закони механіки”. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів / Беляєв В.П., Суріков В.Є. – ДДІФКіС, Дніпропетровськ, 2009. – 33 с.
9. Дубровский В.И. Биомеханика: Учебн. для средн. и высш. учебн. заведений / Дубровский В.И., Федорова В.Н. – 3-е изд. – М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2014. – 669 с.
10. Теоретическая механика и ее приложения и решению задач биомеханики / [Р.Н. Рудаков, Ю.И. Няшин, О.Р. Ильялов, Р.М. Подгаец]. – Пермь: Издательство ПГТУ, 2016. – 234 с.
11. Біомеханіка спорту : [Під ред.Лапутіна А.Н.]. – К. : Олімпійська література, 2005. – 353 с.

12. Няшин Ю.И. Экспериментальные методы в биомеханике / Ю.И. Няшин, Р.М. Подгаец – Пермь : Издательство ПГТУ, 2016. – 432 с.
13. Попов Г.И. Биомеханика / Попов Г.И. – М.: Издательский дом “Академия”, 2015. – 254с.
14. Бегун П.И. Биомеханика / Бегун П.И., Шукейло Ю.А. – С-Петербург: Политехника, 2015. – 463 с.
15. Суріков В.Є. Розрахунково-графічні роботи з біомеханіки спорту. – Дніпро: Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту, 2017. – 61 с.
16. Суріков В.Є. Рішення задач з біомеханіки. – Дніпро: Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту, 2017. – 63 с.
17. Кичайкина, Н.Б. **Биомеханика: учебно-методическое пособие/** Н.Б. Кичайкина, И.М. Козлов, А.В, Самсонова; Санкт-Петербургский гос. ун. физической культуры им. П.Ф. Лесгафта, СПб: [б.и.], 2008. – 160 с., с ил.
18. Попов Г. И. **Биомеханика Учебник.** М., Академия, 2013. – 321 с.
19. Попов Г. И. , Самсонова А. В. **Биомеханика двигательной деятельности.** М., Академия, 2013. – 212 с.

### Допоміжна

1. Беляєв В.П. “Біомеханічний аналіз техніки веслових видів спорту”. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів / В.П. Беляєв, Е.В. Борисов, В.Є. Суріков. – Дніпропетровськ: ДДІФКіС, 2009. – 57 с.
2. Скурлатова М. В. Бионика как связь природы и техники // Молодой ученый. — 2015. — №10. — С. 1283-1289. — URL <https://moluch.ru/archive/90/18343/>
3. Илясов Л.В. Биомедицинская измерительная техника: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 2007. — 342 с.: ил. ISBN 978-5-06-005535-1.

4. Румянцева Н.В. Методы математической статистики, используемые в педагогических исследованиях: метод рек. для студентов дневного и заочного отделений фак. Физической культуры. – Вологда: Русь, 2005. – 24 с.
5. Агашин Ф.К. Биомеханика ударных движений / Ф.К. Агашин. – М.: ФиС, 1977. – 190 с.
6. Беляєв В.П. Локомоторні рухи / В.П. Беляєв, В.Є. Суріков. – Дніпропетровськ: ДДІФКіС, 2015. – 49 с.
7. Бочаров, А.Ф. Биомеханика: Учебное пособие [Текст] / А.Ф. Бочаров, Г.П. Иванова, В.П. Муравьев. – СПб. [б.и.]: СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 2000. – 74 с.
8. Бранков Г. Основы биомеханики / Г. Бранков. – М.: Мир, 1981. – 191с.
9. Годик М.А. Контроль тренировочных нагрузок / М.А. Годик. – М.: ФиС, 1988 – 130 с.
10. Донской Д.Д. Движения спортсмена: Очерки по биомеханике спорта / Д.Д. Донской. – М.: Физкультура и спорт, 1965. – 90 с.
11. Донской Д.Д. Законы движений в спорте: Очерки по структурности движений / Д.Д. Донской. – М.: ФиС, 1968. – 176 с.
12. Жуков Е.К. Биомеханика физических упражнений / Е.К. Жуков, Е.Г. Котельникова, Д.А. Семенов. – М.: ФиС, 1963. – 260 с.
13. Загrevский В.И. Биомеханика физических упражнений. Учебное пособие / В.И. Загrevский. – Могилев: МГУ им А.А. Кулешова, 2002 с.
14. Задания и методические указания для самостоятельной работы студентов по курсу “Биомеханика” / Сост. А.И. Навойчик. – Гродно: ГрГУ, 1992. - С. 3-8.
15. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Арутин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
16. Иванов В.В. Комплексный контроль в подготовке спортсменов / В.В. Иванов. – М.: ФиС, 1987. – 256 с.

17. Кизилова Н.Н. Методические указания для подготовки к тестированию по курсу “Основы биомеханики” / Н.Н. Кизилова. – Харьков: ХНУ, 2012. – 16 с.
18. Кичайкина Н.Б. Биомеханика: Учебное-методическое пособие [Текст] / Н.Б. Кичайкина, И.М. Козлов, А.В.Самсонова /Под ред. Н.Б.Кичайкиной. – СПб: СПбГУФК [б.и.], 2008. – 160 с.
19. Козлов И.М. Биомеханические факторы организации спортивных движений: монография [Текст] /И.М.Козлов Санкт-Петербургская гос. академия физ. культуры им. П.Ф.Лесгафта – СПб, [б.и.], 1998.– 141 с.
20. Козлов И.М. Практикум по биомеханике / И.М. Козлов. – М.: ФиС, 1980. – 80 с.
21. Коренберг В.Б. Основы качественного биомеханического анализа / В.Б. Коренберг. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 208 с.
22. Internet – віртуальні (мережеві електронні) бібліотеки, онлайнві журнали, бази знань з дисципліни.