

М.Ю. ЯЧНЮК



# Біомеханіка рухових дій

Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича

**М.Ю. Ячнюк**

# **Біомеханіка рухових дій**

*Навчально-методичний посібник*



Чернівці  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича  
2023

УДК 796.012(075.8)  
Я 956

Друкується за ухвалою вченої ради  
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича  
(протокол № 1 від 30 січня 2023 року)

**Рецензенти:**

**Афанасьєв С.М.**, доктор наук з фізичного виховання і спорту, перший проректор з науково-педагогічної роботи, професор кафедри фізичної терапії, ерготерапії Придніпровської державної академії фізичної культури і спорту

**Цигикало О.В.**, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри гістології, цитології та ембріології Буковинської державної медичної академії

**Ячнюк М.Ю.**

Я 956 Біомеханіка рухових дій : навч.-метод. посіб. Чернівці : Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 172 с.

ISBN 978-966-423-761-8

У навчально-методичному посібнику розглянено наукові основи біомеханіки, біомеханічного аналізу рухової діяльності людини та як вона пов'язана з галуззю фізичної культури і спорту.

Наведено дані з практичних досліджень, методів біомеханічного модулювання рухових дій, подано біомеханічну класифікацію опорно-рухового апарату людини.

Для студентів факультету фізичної культури та здоров'я людини денної та заочної форм навчання.

**УДК 796.012(075.8)**

ISBN 978-966-423-761-8

© М.Ю. Ячнюк, 2023

© Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича, 2023

## ЗМІСТ

### **ТЕМА 1**

#### ***БІОМЕХАНІКА ЯК НАУКА ТА НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА У ФІЗИЧНІЙ КУЛЬТУРІ*** 8

- 1.1. Біомеханіка та її особливості як науки та навчальної дисципліни в галузі фізичної культури. 8
- 1.2. Загальне і конкретні завдання біомеханіки. 11
- 1.3. Предмет і методи біомеханіки. 12
- 1.4. Напрями розвитку біомеханіки. 15
- Тестові завдання до теми 1 для самоперевірки знань. 18

### **ТЕМА 2**

#### ***БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТІЛА ЛЮДИНИ ТА ЇЇ РУХОВИХ ДІЙ*** 21

- 2.1. Класифікація біомеханічних характеристик. 21
- 2.2. Просторові характеристики. 21
- 2.3. Часові характеристики. 23
- 2.4. Просторово-часові характеристики. 27
- 2.5. Інерційні характеристики. 32
- 2.6. Силкові характеристики. 35
- 2.7. Енергетичні характеристики. 38
- Тестові завдання до теми 2 для самоперевірки знань. 40

### **ТЕМА 3**

#### ***БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ*** 42

- 3.1. Біомеханіка м'язового скорочення. Основні біомеханічні показники роботи м'яза. 42
- 3.2. Залежність сили тяги м'яза від його довжини. 43
- 3.3. Залежність сили тяги м'яза від часу. 46
- 3.4. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (крива Хілла). 47
- Тестові завдання до теми 3 для самоперевірки знань. 50

## **ТЕМА 4**

### **БІОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ ШВИДКІСНИХ ТА СИЛОВИХ ЯКОСТЕЙ** 52

- 4.1. Силові якості. Максимальна сила дії людини. Топографія сили. 52
- 4.2. Оцінювання біомеханічних аспектів швидкісно-силових якостей людини. 55
- 4.3. Біомеханічні вимоги до спеціальних силових вправ. 57
- 4.4. Комплексна та елементарні форми прояву швидкісних якостей людини. 58
- 4.5. Фази рухових реакцій. Види рухових реакцій. Антиципація як засіб передбачення розвитку ситуації. 61
- Тестові завдання до теми 4 для самоперевірки знань. 63

## **ТЕМА 5**

### **БІОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ ВИТРИВАЛОСТІ, ГНУЧКОСТІ ТА СПРИТНОСТІ** 65

- 5.1. Ергометрія. Правило оборотності рухових завдань. 65
- 5.2. Фази втоми та її біомеханічні прояви. 66
- 5.3. Витривалість, як здатність протистояти втомі. 68
- 5.4. Аспекти біомеханічної енергетики фізичних вправ. 69
- 5.5. Критерії біомеханічної економізації спортивної техніки. 71
- 5.6. Біомеханічні особливості пасивної та активної гнучкості. 72
- 5.7. Біомеханічне обґрунтування спритності. 73
- 5.8. Лабораторний та природний способи кількісного оцінювання рівня розвитку спритності. 77
- 5.9. Значення специфічних якостей для техніки виконання фізичних вправ. 78
- 5.10. Визначення рівня розвитку стереоскопічного зору. 81
- 5.11. Визначення рівня розвитку вміння відчувати величину сили. 82
- 5.12. Оцінювання властивостей уваги. 83
- 5.13. Оцінювання здатності швидко оволодівати новими рухами та швидко засвоювати нові завдання. 87
- Тестові завдання до теми 5 для самоперевірки знань. 91

## **ТЕМА 6**

### **БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДИНИ** 93

- 6.1. Модель живого рухового механізму в біомеханічній системі. 93
- 6.2. Біомеханічні пари та ланцюги біоланок. 94
- 6.3. Ланки та ступені свободи біоланок при виконанні фізичних вправ. 96
- 6.4. Важелі, види важелів біомеханічної системи. 97  
Співвідношення моментів сил при виконанні різних вправ.
- 6.5. Способи визначення абсолютної та відносної маси частин тіла людини. 99
- 6.6. Положення центру маси та окремих частин тіла людини. 100
- 6.7. Теорема Варіньйона, її використання для визначення положення центра маси тіла людини. 101
- 6.8. Центр об'єму та центр поверхні тіла людини та їх значення при виконанні фізичних вправ. 103  
Тестові завдання до теми 6 для самоперевірки знань. 104

## **ТЕМА 7**

### **ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОТІЛЬНИХ СИСТЕМ** 106

- 7.1. Маса, сила тяжіння, вага та сила інерції. 106
- 7.2. Реакція опори, пружні сили. 107
- 7.3. Види сил, що діють на тіло людини в процесі виконання рухових дій. 109
- 7.4. Опір рухові тіла у повітряному та водному середовищі. 110
- 7.5. Сила тертя ковзання. Способи її зменшення і збільшення. 111
- 7.6. Гістерезис матеріалу. Опір коченню колеса. 115  
Тестові завдання до теми 7 для самоперевірки знань. 117

## **ТЕМА 8**

### ***БІОМЕХАНІКА ОБЕРТАЛЬНИХ РУХОВИХ ДІЙ ТА СТІЙКОСТІ ТІЛА ЛЮДИНИ*** 119

- 8.1. Біомеханічні особливості виконання обертальних рухових дій. 119
- 8.2. Зміна кінетичного моменту біомеханічної системи при обертанні тіла людини. 123
- 8.3. Приклади обертання тіла людини зі зміною кінетичного моменту біомеханічної системи. 124
- 8.4. Обертання тіла людини без зміни кінетичного моменту біомеханічної системи. 129
- 8.5. Приклади обертання тіла людини без зміни кінетичного моменту біомеханічної системи. 131
- 8.6. Стійкість та способи її оцінювання. 132
- 8.7. Види рівноваги тіла людини. 134
- 8.8. Збереження рівноваги тіла людини при виконанні фізичних вправ та їх особливості. 135
- Тестові завдання до теми 8 для самоперевірки знань. 137

## **ТЕМА 9**

### ***БІОМЕХАНІКА ЛОКОМОТОРНИХ ТА ПЕРЕМІЩАЮЧИХ РУХОВИХ ДІЙ*** 139

- 9.1. Поняття про локомоції людини. Завдання локомоторних рухових дій. 139
- 9.2. Механізм відштовхування від опори. 140
- 9.3. Особливості стартових дій в біомеханічних дослідженнях. 141
- 9.4. Дальність польоту тіл. 143
- 9.5. Біомеханіка польоту спортивних снарядів. Ефект Магнуса. 145
- 9.6. Точність у переміщаючих діях. 146
- 9.7. Біомеханічні особливості ударної взаємодії. 148
- Тестові завдання до теми 9 для самоперевірки знань. 152

## **ТЕМА 10**

<b>ВІКОВІ, ІНДИВІДУАЛЬНІ, ГРУПОВІ ТА СТАТЕВІ</b>	<b>154</b>
<b>БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МОТОРИКИ</b>	
10.1. Моторика людини в онтогенезі від немовля до дошкільного віку. Показ як основний засіб навчання.	154
10.2. Моторика в онтогенезі шкільного віку. Пубертатний період.	156
10.3. Моторика в онтогенезі дорослої людини. Спортивне довголіття та старість.	156
10.4. Вплив віку та дозрівання на ефективність навчання та тренування. Сензитивні періоди.	158
10.5. Вплив на моторику тотальних розмірів тіла людини.	161
10.6. Статеві біомеханічні особливості спортсменів.	164
10.7. Рухові переваги.	165
Тестові завдання до теми 10 для самоперевірки знань.	167
Список рекомендованої літератури.	169



## ТЕМА 1

### БИОМЕХАНІКА ЯК НАУКА ТА НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА У ФІЗИЧНІЙ КУЛЬТУРІ

#### 1.1. Біомеханіка та її особливості як науки та навчальної дисципліни в галузі фізичної культури.

**Механіка** – являє собою розділ фізики, який займається вивченням механічних рухів і механічну взаємодію матеріальних тіл.

**Біомеханіка** як розділ *біофізики*, вивчає закони механічного руху в живих системах.

Термін «**біомеханіка**» був утворений двома грецькими словами: «*bios*» – життя та «*mechané*» – знаряддя.

**Біомеханіка** як наука, вивчає рухову діяльність живих систем у всіх її проявах.

Рухова діяльність живих систем виступає *об'єктом* біомеханіки, а закономірності її використання у різних сферах життєдіяльності людини (у тому числі й в галузі фізичної культури) виступає її *предметом*.

**Біомеханіка** як навчальна дисципліна, розглядає рухові можливості та рухову діяльність людини пов'язану з виконанням різноманітних рухових дій у галузі фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та рекреації, а також розглядає способи та методики її удосконалення.

В своїй структурі рухи живих систем і рухи механізмів принципово відрізняються, саме тому між біомеханікою та класичною механікою існує низка відмінностей:

1. Кінцевою метою всіх фізичних вправ є звичайний механічний рух, який реалізується завдяки вищим формам руху матерії: біологічній, хімічній і соціальній. Наприклад, у футболі кінцевою метою команди є не складне, механічне переміщення м'яча у ворота суперника, проте воно здійснюється завдяки високо організованим біологічній, хімічній і соціальній формам руху матерії.

2. Переважна більшість явищ у живих системах не може розглядатись як наслідок прямої залежності дії законів класичної

механіки (механістичний підхід) тому, що такі явища є наслідками взаємодії багаторівневих складних самокерованих елементів або повністю автономних систем. Наприклад, якщо м'яз людини відокремити (ізолювати) від центрально-нервової та системи кровообігу, то він не зможе скорочуватись та імітувати різні механічні характеристики. Механічна поведінка живого м'яза, яку ми можемо спостерігати, є результатом керуючого впливу нервової системи.

3. Схожість між руховою діяльністю тварини і людини простежується лише на біологічному рівні, оскільки рухові дії тварин відбуваються рефлексивно, а рухова діяльність людини – цілеспрямована, усвідомлена та довільна. Живі системи є автономними та самокерованими. Під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників жива система сама керує власними діями, що не є притаманним неживим механізмам. Рух окремими частинами тіла поєднаний керуючою дією центрально-нервової системи в цілісні рухові акти - система рухів. Окремо взятий рух виконує свою роль у цілісності дій, та певним чином відповідає її меті. Виконуючи конкретне рухове завдання людина свідомо ставить перед собою відповідну мету спочатку, далі обирає оптимальний варіант поведінки, а вже потім відбувається керування необхідними функціональними м'язовими групами. Видима нам зовнішня структура рухів людини є лише наслідком складної керуючої функції нервової системи. Саме тому біомеханіка розглядає не «окремі рухи», а «рухові дії», або «рухотворні дії», а втрата людиною цілеспрямованості власних рухових дій, їхньої довільності та усвідомленості призводить до її недосконалості як члена суспільства.

4. Згідно з твердженням одного з основоположників біомеханіки М.О. Бернштейна, людина будує свої рухи не за принципом наслідування певної моделі, а за принципом доцільного пристосування до відповідних змін зовнішнього і внутрішнього середовища. В той самий час рухова дія – це не ланцюжок складових а складна структура, яку при вивченні ми умовно поділяємо на окремі системно пов'язані компоненти. Свідоме керування руховою

дією за певним алгоритмом з врахуванням специфіки біологічних закономірностей людини забезпечує їх високу ефективність при різних умовах виконання.

5. Різноманітні механічні переміщення тіла людини в просторі та в часі завжди пов'язані з додатковими витратами енергії на переміщення частин тіла (їх опускання та піднімання, розгін і гальмуванням у певних режимах, які викликані необхідністю реалізації відповідної зовнішньої картини рухів). На відміну від неживих механізмів в біологічних організмах неможливий повний взаємний перехід енергії з однієї форми в іншу, від однієї частини тіла до іншої чи накопичення механічної енергії для її наступного використання (наприклад у послідовних пружних розтягнутих компонентах м'яза). Кожна частина тіла приводиться рухом власними рушіями – м'язами, функціонування яких синхронізоване та поєднане на вищих рівнях організації матерії (наприклад: спільність нервової системи, кровообігу, виконання окремих рухів у суглобах у відповідному поєднанні з іншими рухами частин тіла за рахунок міжм'язової координації для досягнення поставленої мети в руховій дії). Наприклад, плавці та велосипедисти витрачають на переміщення власних частин тіла в процесі виконання рухової діяльності від 30 до 90% від загальних енерговитрат організму; тенісисти на відбивання м'яча витрачають не більше 3% своїх енерговитрат, а решта енергії витрачається на переміщення тіла по майданчику та окремих частин тіла спортсмена.

6. Виконання статичної роботи м'язами людини з утримання пози, збереження рівноваги тощо, яка пов'язана з певними умовами їхнього скорочення без відповідних періодів розслаблення, з позицій класичної механіки дорівнює нулю, а в біомеханічних дослідженнях оцінюється за імпульсами прикладених сил. Виконання людиною тривалої механічної роботи, яка пов'язана з втому певних функціональних м'язових груп та організму загалом, з позицій механіки обирає нераціональний режим збільшення загальних енерговитрат з метою зниження навантаження на основні м'язові

групи. Це дає змогу зберегти їхню відповідну працездатність до кінця виконання рухового завдання.

7. Основні закони класичної (Ньютоновської) механіки описують рух твердих тіл, які абсолютно не деформуються. У живих системах постійно відбуваються зміни відносно розташування їхніх частин. Власно частини тіла біологічних систем також явно деформуються. Тому, досліджуючи рух живої системи, необхідно враховувати певну роботу м'язів (наприклад завдяки гнучкості хребта або грудної клітини), що необхідна для деформації окремих частин тіла, які постійно супроводжуються витратами енергії, її розсіюванням. Саме тому вводиться поняття «*живої маси*», тому що рухаються складні утворення з м'яких тканин, кісткових елементів, внутрішніх органів, газів, рідин тощо, а не тверді тіла. Математично неможливо розрахувати енерговитрати, які пов'язані з складними згасаючими коливними процесами, що відбуваються в біомеханічній системі при відповідних її рухах (особливо – ударного характеру), але ці витрати також чи малі.

Спрощене моделювання живих систем, а особливо рухової діяльності людини, може призвести до хибних результатів.

## ***1.2. Загальне і конкретні завдання біомеханіки.***

Біомеханіка займається вивченням рухових дії людини з метою виявлення найдосконаліших способів і навчання цих рухів.

**Головне завдання біомеханіки** – оцінювання ефективності прикладених сил людиною, для найкращого, найоптимальнішого досягнення нею поставленої мети (результату).

Безперечно, оцінити відразу ефективність прикладених людиною сил неможливо: для цього необхідно подолати ряд етапів. Тому *головне завдання біомеханіки* має три конкретні завдання – етапи його розв'язання:

- *перший* етап – вивчення функцій рухового апарату людини та індивідуальних особливостей її будови (визначення конституціональних особливостей, тотальних розмірів тіла, пропорцій, мас-інерційних характеристик окремих частин тіла,

визначення рівня розвитку силових та швидкісних якостей, гнучкості, витривалості, спритності та специфічних якостей, потенційних можливостей, динаміки систем дихання та кровообігу тощо);

- *другий* етап – враховуючи дані, отримані на попередньому етапі й спираючись на кількісні та якісні характеристики досліджень та результати педагогічних експериментів, у даному виді рухової діяльності, практику й досвід фахівців різних галузей науки, розробити індивідуальний зразок для конкретної людини її раціональної індивідуальної техніки;
- *третій* етап – порівнюючи відповідні характеристики реалізації рухових дій людини з розрахованими еталонними, оцінити ефективність прикладених людиною зусиль та розробити (підібрати) засоби та методику індивідуального рухового вдосконалення (у тому числі спеціальні тренажери, способи та засоби контролю) – *педагогічне завдання*.

Педагогічне завдання може частково вирішуватись після першого етапу, коли виявляється невідповідність деяких потенційних можливостей конкретної людини визначеними вимогам, необхідним для досягнення запланованого результату.

Ці етапи розв'язку головного завдання біомеханіки отримали назву конкретних завдань біомеханіки. Останнє конкретне педагогічне завдання біомеханіки, що займається навчанням та вдосконаленням рухової діяльності людини, має змогу зарахувати її до педагогічних наук (а не до фізико-математичних чи біологічних, як може скластися на перший погляд).

### ***1.3. Предмет і методи біомеханіки.***

*Теорія* будь-якої науки являє собою сума нагромаджених знань, сформованих у цілісну систему.

*Методи* будь-якої науки представляють собою шляхи дослідження для отримання нових знань та виявлення нових закономірностей.

Загалом теорія та методи виражаються відповідними законами та поняттями, які розкривають зміст науки.

В біомеханічних дослідженнях частіше використовується порівняно простий *функціональний метод*, який застосовується для виявлення взаємозв'язку між досліджуваними біомеханічними характеристиками рухових дій, в процесі їх виконання, або характеристиками досліджуваної людини та між результатами її рухової діяльності. Даний метод допомагає вивчити функціональну залежність між властивостями та станом системи, явищ чи процесів. Їх характеризують певні параметри, конкретні умови та кількісно визначений закон. В подібних дослідженнях не ставиться завдання вивчити причинну внутрішньої структури явища, а досліджується лише їх функція. Виявлені залежності між будовою системи та її функцією, мають переважно імовірний (статистичний) характер. Першочергово досліджують функцію системи в цілому, не вивчаючи складові її внутрішніх механізмів.

*Функціональний підхід* дозволяє констатувати певні недоліки техніки і тактики. Проте він не дає можливості відповісти на питання «чому», тобто не надає можливість розробити чіткі рекомендації для їх усунення, як наслідок педагог вимушений діяти навмання.

Основою сучасного розуміння рухових дій є *метод системно-структурного аналізу і системно-структурного синтезу*, де людина досліджується, як система, що рухається, а рухові процеси – як системи рухів, що розвиваються.

*Системно-структурний підхід* являє собою діалектичний принцип наукового пізнання структурності та цілісності складних об'єктів та систем. Подібний підхід до технічної складової рухових дій як до предмета навчання спрямований проти метафізичного (розділ філософії, що займається дослідженням природи реальності, світу та буття) поділу цілого без урахування взаємодії його елементів.

Метод системно-структурного аналізу та синтезу стосовно дослідження рухових дій людини реалізовується у теорії структурності рухів, закладеної М.О. Бернштейном, згідно з якою

рухова діяльність людини являє собою не ланцюжок деталей, а структуру, яка умовно диференціюється на складові частини.

У теорії структурності рухів закладені наступні принципи:

- принцип *структурності побудови системи рухів* – усі вони взаємопов'язані; саме ці структурні зв'язки визначають цілісність та досконалість рухових дій;
- принцип *свідомої цілеспрямованості системи рухів* – людина ставить свідомо мету та повноцінно керує свідомими рухами для досягнення цієї мети;
- принцип *цілісності дії* де усі рухи створюють єдине ціле, що спрямоване на досягнення загальної мети, зміна окремого руху буде відповідно впливати на всю систему рухів.

Проте усі рухові дії людини повноцінно підпорядковані законам класичної механіки. Тому метод системно-структурного аналізу і синтезу в загальному вигляді у своїй основі має системний синтез дій із застосуванням кількісних характеристик, зокрема моделювання рухів.

Біомеханіка як експериментальна наука спирається на результати експериментів та спостережень. Застосовуючі різні прилади відбувається реєстрація кількісних характеристик рухових дій (наприклад швидкість, траєкторії руху, зусилля, прискорення тощо), які дають можливість розрізняти рухові дії та проводити між ними порівняльний аналіз. За відповідними характеристиками систему рухів умовно можна поділити на окремі складові частини, здійснюючи дослідження складових системи за окремими елементами (*це є системно-структурний аналіз*) та досліджуючи «слабкі ланки», які необхідно замінити. Проводячи дослідження змін кількісних характеристик, виявляють, окремі елементи впливають, що один на одного та визначають причини цілісності системи (*це є системно-структурний синтез*).

На вищих рівнях системного аналізу можна здійснювати моделювання рухових дій, застосовуючи відповідне програмне забезпечення, здійснювати оптимальні варіанти дій. Системний

аналіз та системний синтез рухових дій суцільно пов'язані між собою (взаємодоповнююче системно-структурне дослідження).

Системно-структурний підхід надає більш конкретні рекомендації: відповіді на питання, з яких структурних елементів складаються рухові дії та як ці елементи пов'язані між собою, також пояснюють причини внутрішніх механізмів системи рухів.

Функціональний метод аналізу рухових дій застовується на початковому етапі досліджень, коли потрібно розв'язати нові завдання чи конкретні питання педагогів-практиків. Цим методом користуються, коли певний вид рухової діяльності недостатньо досліджений, його визначальні складові не виявлені, або коли апаратна база не відповідає вимогам методу системноструктурного аналізу та синтезу. Проте статистичні результати, одержані при застосуванні функціонального методу, часто не можуть розв'язувати питання індивідуалізації технічного вдосконалення.

Метод системно-структурного аналізу та синтезу рухових дій передбачає ретельне та повне виконання всіх завдань біомеханіки, цей метод вимагає глибоких узагальнень. Складність даного методу – тривалість та вартість значно перевищують аналогічні показники функціонального методу. Саме тому, для деяких складних і малодосліджених видів рухової діяльності застосування системно-структурного підходу пов'язане із значними труднощами. Проте цей метод дає можливість розробляти раціонально-індивідуальні зразки техніки для конкретних осіб на відповідний період для конкретних умов виконання рухових дій.

#### ***1.4. Напрями розвитку біомеханіки.***

Враховуючи, що наука біомеханіка виникла на стику класичної механіки та біології, а також фізіології, динамічної анатомії, педагогіки та психології, вона розвивалась за кількома паралельними напрямками: механічним, функціонально-анатомічним та фізіологічним.

*Механічний напрям*, розпочатий роботами Леонардо да Вінчі та Джованні Бореллі (який у 1697 р. написав трактат «Про рухи



тварин»), досліджує ідеї зміни рухів живих систем при взаємодії прикладених сил за законами класичної механіки. Зараз даний підхід до вивчення рухів людини дає змогу визначати кількісні міри рухотворчих процесів – одна з основ біомеханіки, що ніколи не втратить свого значення. Вивченню будови та властивостей опорно-рухового апарату людини, її рухових дій велику увагу приділяють біомеханічні школи США, Німеччини, Іспанії, Польщі тощо, в тому числі й вітчизняна.

Однак, суто механічний підхід до вивчення рухових дій людини призводить до невиправданих спрощень, які невраховують специфіку живого, дають тільки механістичне пояснення ієрархічно вищих біологічних і соціальних форм руху матерії за допомогою механічних факторів.

Біомеханіка – це не «прикладна до живого» механіка, як її сприймають певні фахівці з технічною або математичною освітою, це самостійна сучасна наука, яка вивчає механічні закони руху живих систем із позицій системного підходу.

*Функціонально-анатомічний* напрям започаткований при вивченні будови людського тіла в динаміці. Професори М.Ф. Іваніцький та М.А. Джафаров започаткували вітчизняну школу динамічної анатомії, розробивши теорію єдності та взаємозумовленості форми і функції живого організму, та вперше впровадили в навчальний план Львівського державного інституту фізичної культури спецкурс біомеханіки (під назвою «Динамічна анатомія»). Всесвітньовідомий російський анатом П.Ф. Лесгафт, учнями якого є згадані вчені, започаткував новий підхід у вивченні анатомії тіла людини під в процесі фізичних навантажень, здійснюючи опис та аналіз рухів у суглобах, досліджуючи участь окремих м'язів при збереженні положення тіла в рухах. З 1877 р. спекурс «Теорія тілесних рухів» («Теорія рухів») П.Ф. Лесгафт та його учні викладали слухачам курсів фізичної культури та студентам інституту фізичної освіти.

Знання морфологічних особливостей біомеханічної системи забезпечує серйозне обґрунтування фізичної та технічної підготовки.

*Фізіологічний* напрям розвитку біомеханіки започаткував ідеї нервізму, вчення про вищу нервову діяльність й останні досягнення нейрофізіології. Іван Михайлович Сеченов, Іван Павлович Павлов, Петро Кузміч Анохін та один із засновників сучасної біомеханіки Миколай Олександрович Бернштейн та інші науковці розкрили рефлекторну природу механізмів нервової регуляції та рухотворчих дій при взаємодії організму з навколишнім середовищем, а проведені ним дослідження нервово-м'язового апарату людини та регуляторних механізмів ЦНС створюють уяву про виняткову досконалість і складність процесів керування її руховими діями.

Сучасний аналіз фізичних вправ ґрунтується на головних засадах керування руховими діями: пристосування керуючих імпульсів в процесі виконання рухового завдання до відповідних умов його виконання, корекція відхилень (усунення) від обраного способу поведінки та в кільцевому результаті характерність процесів керування шляхом аналізу чуттєвих сигналів.

Системно-структурне поєднання сучасних досягнень усіх вказаних напрямів розвитку сучасної біомеханіки дає змогу правильно зрозуміти сутність рухових дій живих систем та активно їх вдосконалювати.

## Тестові завдання до теми 1 для самоперевірки знань

1. В біомеханічних дослідженнях найчастіше використовується \_\_\_\_ метод дослідження:

- a. екстрополяції
- b. системно-структурного аналізу
- c. порівняно-функціональний
- d. системно-структурного синтезу

2. Об'єктом біомеханіки є:

- a. рухи людини у всіх їх проявах
- b. рухова діяльність живих систем
- c. вивчення та вдосконалення типології рухів людини
- d. закономірності рухової діяльності людини

3. Головне завдання біомеханіки:

- a. вивчення індивідуальних особливостей будови і функцій рухового апарату людини.
- b. оцінювання ефективності сил, що прикладаються людиною, для найоптимальнішого досягнення нею найкращого результату.
- c. оцінити ефективність зусиль прикладених людиною та розробити засоби й методику індивідуального рухового удосконалення.
- d. розробити індивідуальний для конкретної людини зразок її індивідуальної раціональної техніки.

4. Предметом біомеханіки є вивчення її закономірностей:

- a. використання у галузі спорту
- b. використання у сфері фізичної культури
- c. використання в живих організмах
- d. використання в різних сферах

5. *Що з переліченого нижче біомеханіка не розглядає як навчальна дисципліна:*

- a.** методики удосконалення рухової діяльності людини
- b.** цілеспрямовану та усвідомлену рухову діяльність людини
- c.** рухові можливості та рухову діяльність людини
- d.** способи удосконалення рухової діяльності людини

6. *Що з переліченого не є принципом, який закладений в структуру рухів:*

- a.** свідомої цілеспрямованості системи рухів
- b.** системно-структурного аналізу і синтезу
- c.** структурності побудови системи рухів
- d.** цілісності дії

7. *Якого з перерахованих напрямків розвитку біомеханіки не існує:*

- a.** фізіологічний
- b.** анатомічний
- c.** механічний
- d.** функціонально-анатомічний

8. *Який етап на відноситься до головних завдань біомеханіки:*

- a.** вивчення індивідуальних особливостей будови та функцій рухового апарату людини
- b.** розробити індивідуальний для конкретної людини зразок її індивідуальної раціональної техніки
- c.** оцінити ефективність прикладених нею зусиль та підібрати засоби й методику рухового удосконалення
- d.** досліджувати біомеханічні переміщення тіла людини в просторі

9. *З позиції класичної маханіки статична робота:*

- a.** дорівнює нулю
- b.** є відємною
- c.** є енерговитратною
- d.** не береться до розрахунку

10. *Механістичний розвиток біомеханіки започаткували:*

**a.** Джованні Бореллі

**c.** Рафаель Санті

**b.** Буонарроті Мікеланджело

**d.** Леонардо да Вінчі

## **ТЕМА 2**

### **БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТІЛА ЛЮДИНИ ТА ЇЇ РУХОВИХ ДІЙ**

#### **2.1. Класифікація біомеханічних характеристик.**

Для об'єктивного оцінювання якості виконання рухової дії людиною необхідно провести порівняння певних кількісних характеристик її виконання з аналогічними характеристиками обраного зразка.

Проблематика коректного вимірювання та розрахунків різних кількісних характеристик виконання людиною рухових дій надзвичайно актуальна та важлива. Правильний вибір біомеханічних характеристик для проведення оцінювання якості рухової дії за ними – це достатньо складне завдання. Подібні кількісні характеристики виконання конкретної фізичної вправи називаються провідними чи визначальними – тобто критерії оцінювання техніки.

Зовнішню картину рухових дій людини (яку ми можемо спостерігати) можна описати кінематичними біомеханічними характеристиками, за допомогою яких можна кількісно охарактеризувати переміщення в просторі та часі окремих досліджуваних точок або частин тіла. Самі ж причини рухових дій розкриваються динамічними біомеханічними характеристиками – інерційні, силові та енергетичні.

Об'єктивна реєстрація біомеханічних характеристик рухової дії розпочинає біомеханічний аналіз та оцінювання. Варто звернути увагу, що реєстрація кінематичних характеристик порівняно проста за реєстрації динамічних, особливо в природних умовах.

#### **2.2. Просторові характеристики.**

Здійснюючи обробку відеограми, зручно вивчати розташування окремих точок тіла людини, а також їхнє переміщення в просторі відносно певної нерухомої системи координат. Найчастіше такою стає горизонтальна вісь, яка паралельна поверхні тощо та перпендикулярна відносно вертикальної вісі, та спрямована удовж

стіни будівлі тощо, точка перетину яких прив'язана до певного нерухомого предмета в площині зйомки – тіла відліку.

У певних випадках системі координат необхідно мати і третю вісь із метою вивчення складних рухових дій у декількох площинах (праворуч-ліворуч, вперед-назад, вгору-додолу чи обертання відносно вказаних осей). У певних дослідженнях систему координат прив'язують до центра маси тіла людини чи транспортного засобу. Система координат, тіло відліку, до якого прив'язується система, та спосіб вимірювання часу входять до системи відліку, використання якої дозволяє ефективно визначати конкретні кінематичні характеристики для наступного порівняння їх із зразковими, тобто якісно оцінити техніку.

За допомогою просторових біомеханічних характеристик можна визначити розташування точки або тіла відносно певної системи відліку в заданий момент часу. До просторових біомеханічних характеристик відносять площу, розмір, об'єм, шлях, відстать, координату, кут повороту, траєкторію, кривизну траєкторії (рис. 2.1), а також кут нахилу, азимут, крутизну, профіль, перепад висот тощо.

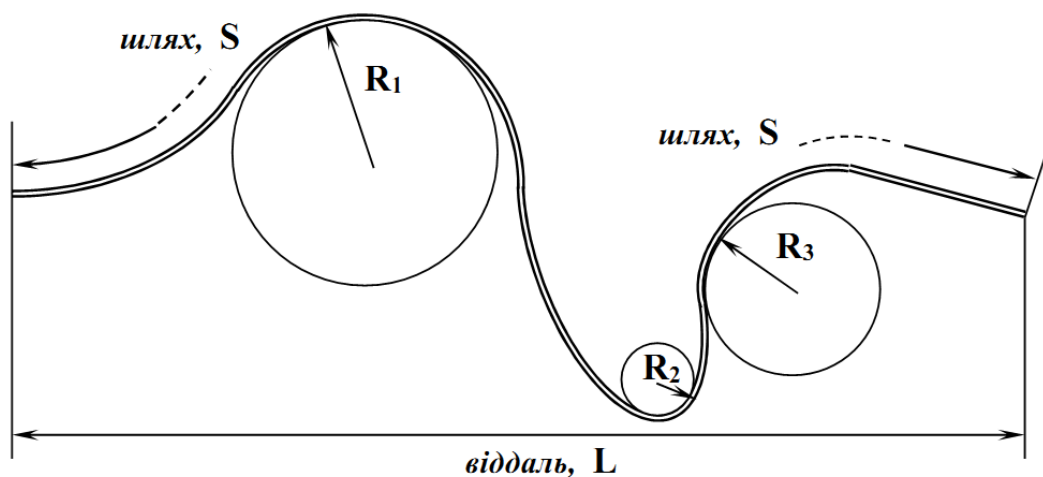


Рис. 2.1. Траєкторія руху точки, її кривизна, шлях та відстань, які проходить точка

Усі просторові характеристики мають розмірності, що пов'язані з мірами простору – метри (міліметри, сантиметри, кілометри, милі, ярди, фути, тощо), радіани (градуси), 1/м – для кривизни, відношення чи відсотки – для крутизни, ухилу, чи перепаду висот.

**Траєкторія** представляє собою уявну лінію в просторі, уздовж якої рухається конкретна точка.

**Шлях** – представляє собою відстань, яку долає точка під час руху уздовж певної траєкторії.

Так наприклад, у метаннях спортивних приладів – диск, ядро, спис, граната тощо – ці предмети долають значно довший шлях, ніж відстань (дальність), за якою оцінюється результат. То саме стосується польоту м'яча, стрибків у довжину, а також руху трасою.

Достатньо рідко траєкторія руху точок бувають прямими лініями. Найчастіше під впливом сил, що відхиляють предмет із заданої траєкторії (тяжіння, реакція опори, дія інших тіл, інерція тощо) або утримуючих тіл при обертових рухах траєкторія руху точок володіють змінною кривизною – величина, обернена до величини радіуса кола, дугою переміщення тіла на певній ділянці є траєкторія (рис. 2.1).

### **2.3. Часові характеристики.**

#### *2.3.1. Тривалість вправи, її фаза або частина.*

**Тривалість вправи** – представляє собою час виконання всієї рухової дії від моменту її початку до кінця:

$$\Delta t = t_k - t_n [c],$$

*де  $\Delta t$  – тривалість самої вправи;*

*$t_k$  – астрономічний час завершення виконання вправи,*

*$t_n$  – астрономічний час початку виконання вправи.*

Тривалість виконання фізичної вправи, коли результат оцінюють витраченим на її виконання часом, так і визначають, наприклад у випадку:

- коли старт дається в одному місці, а фініш знаходиться зовсім в іншому (марафонські забіги, велосипедні перегони на шосе, триатлон, лижні перегони зі спільним стартом, легкоатлетичний крос, спортивне орієнтування тощо);



- коли спортсмени долають дистанцію по черзі (лижні перегони, біатлон, автомобільні ралі тощо).

У такому способі вимірювання часу тривалості змагальної вправи система відліку прив'язується до астрономічного часу: на старті та на фініші фази початку та кінця виконання вправи реєструються різними пристроями та записуються у різні протоколи змагання, а спортивні результати вираховуються за формулою записаною вище.

Проте у більшості випадків лінія старту та фінішу знаходиться в одному місці (деякі види легкоатлетичного бігу, кільцеві перегони, плавання), або зв'язані телеметрично дротовим чи радіозв'язком (гірськолижний та санний спорт, велосипедний спорт на треку, рекордні заїзди, легкоатлетичний біг тощо). В такому випадку система відліку часу зв'язується із одним пристроєм, що дає змогу, без використання формули розрахувати визначення тривалості, вимірювати її відразу, а також проводити старт за готовністю спортсменів, проводити повторний старт при фальстарті, у реальному часі одержувати протоколи змагань.

В сучасних умовах, завдяки комп'ютеризації галузі фізичної культури та спорту, обидва способи вимірювання тривалості змагальної вправи об'єднуються: комп'ютерні системи хронометражу різних суддів об'єднуються у єдину мережу завдяки інтернету (чемпіонати Європи і світу з багатьох видів спорту, Олімпійські ігри).

Визначення часу всієї вправи та часу її складових частин (наприклад стартових дій, подолання бар'єра, проходження окремих частини траси, виконання певного технічного прийому тощо) або певної фази рухової дії (замах, відштовхування, стрибок, доворот, ударна дія, підтягування, випад, перенесення тощо) відрізняються між собою тривалістю часових інтервалів і способом фіксації початку та кінця які необхідно оцінити. Незначна різниця у тривалості виконання відповідного рухового завдання різними особами та незначна тривалість деяких фаз рухових дій не дають змогу застосовувати ручний хронометраж (коли людина керує

пуском та зупинкою хронометра). Це обмеження зумовлене похибкою ручного вимірювання часу – до  $\pm 0,2$  °С, яка визначається не точністю самих приладів, а психомоторною точністю дій хронометристів; до того ж, має місце їхня суб'єктивність. Тому практично в усіх випадках замість ручного хронометрування впроваджуються автоматичні пристрої, які здійснюють фіксацію відповідних моментів часу:

- мікрофон – для здійснення моменту реєстрації старту (стартовий пістолет) у легкій атлетиці, в бігу на ковзанах, у плаванні, велоспорті;
- стартова планка – у бігу на лижах та в біатлоні, у гірськолижному спорті;
- фотоелектронні пари – на проміжних ділянках траси та на фініші у гірських лижах, бігу на ковзанах, автомобільних перегонах, санному спорті та бобслеї;
- контактні полоси – у вело, мото та автоспорті;
- фінішна стінка сенсорного типу – у плаванні.

У деяких випадках необхідна фото-, відеозйомка (наприклад при розв'язуванні суперечок під час фінішування групи спортсменів чи для вивчення тривалості окремих фаз фізичної вправи).

Тривалість вправи, її частин та фаз мають для біомеханічного аналізу вагоме самостійне значення, даючи змогу об'єктивно оцінити ефективність виконання рухової дії, але в переважній більшості використовуються з метою розрахунку інших – інтегральних біомеханічних характеристик, наприклад часового ритму вправи або частоти рухів.

### 2.3.2. Частота рухів (темп).

**Частота рухів** – представляє собою кількість виконаних циклів фізичної вправи за певну одиницю часу – біомеханічна характеристика, яка має застосування лише у циклічних видах рухової діяльності, також застосовується при оцінюванні циклічних фізіологічних процесів (наприклад частота дихання, ЧСС.):

$$\eta = 1 / \Delta t_{\text{ц}},$$

де  $\eta$  – темп (частота рухів);

$\Delta t_{\text{ц}}$  – тривалість одного циклу.

Частота рухів потрібна для оцінювання їхньої потужності та інтенсивності м'язової роботи, що виконується. Між частотою циклічних фізіологічних процесів та частотою рухів існує тісний взаємозв'язок. Темп розраховується за тривалістю одного циклу (чи, у випадку відносно стабільної частоти, за певною тривалістю декількох циклів) рухових дій, які виконуються, шляхом ручного хронометражу від 5-ти до 10-ти циклів, а також шляхом проведення розрахунку за зазначеною формулою, використовуючи результати відеограми, тензограми, акселерограми.

Сучасні портативні електронні системи дозволяють автоматично розраховувати частоту рухів у різних видах спорту або частоту фізіологічних процесів та порівнювати її із заданою, порівнювати, запам'ятовувати, використовувати для проведення розрахунку інших біомеханічних характеристик.

### 2.3.3. Часовий ритм рухів (співвідношення часу окремих фаз).

Особливо важливою для педагогіки та практики багатьох видів людської діяльності та видів спорту часовою характеристикою є часовий ритм рухів чи відношення часу окремих фаз рухової дії. Записується часовий ритм наступним чином:

$$\Delta t_1 : \Delta t_2 : \Delta t_3 : \Delta t_4 \dots = 2 : 4 : 6 : 8 : \dots,$$

де  $\Delta t$  – час (у частинах секунди, секундах, кадрах кінограми тощо) кожної окремої фази фізичної вправи.

Способи вимірювання часового ритму – аналогічні, як і для фази фізичної вправи або тривалості цих частини.

Фахівці давно помітили, що у багатьох видах спорту часовий ритм вправ налічує самостійне значення при оцінюванні, вивченні та становленні спортивної техніки. Виявилось, що в різних видах спорту часовий ритм різних за своєю структурою фізичних вправ тісно пов'язаний з успішністю їх виконання (зайнятим місцем, показаним результатом тощо), ніж деякі традиційні валідні

характеристики (прискорення, зусилля, переміщення, фізіологічні або біохімічні показники).

Механізми зв'язку часового ритму з якістю виконуваної вправи в цілому та іншими характеристиками в переважній більшості випадків вдається визначити; проте педагогу чи тренеру-практику набагато простіше в процесі заняття визначати часові фази фізичних вправ, які виконують його підлеглі, порівнюючи їх з еталонними середньостатистичними або індивідуальними зразковими фазами, вносити корективи безпосередньо у процес підготовки.

#### *2.3.4. Фаза.*

У біомеханіці **фаза фізичної вправи** – це найменший часовий елемент загальної системи рухів, що включає усі складові елементи рухів від початку до кінця фази, які виконують суцільне завдання.

Наприклад перша фаза штовхання ядра – скачок: основне її завдання – розігнати максимально ядро до горизонтальної швидкості найсильнішими м'язами – розгиначами ніг. Особливо важливо завдання навчити спортсмена в кінці скачка не сповільнювати ядро, а випускати його вперед, із розгинанням пальців, або виконувати без пауз серію стрибків підряд.

Друга фаза – підйом із доворотом – виконується лише разом із стрибком після його засвоєння: її обов'язкова початкова умова при виконання другої фази – максимальна горизонтальна швидкість ядра. Основним завдання фази підйому з доворотом – розігнати ядро вгору: щоб досягнути цього використовують сильні м'язи-розгиначі (прямі та косі) спини. Тулуб повертається за ядром в напрямку польоту та одночасно випрямляється, виштовхуючи ядро вгору.

Тепер зрозуміти, чому остання, третя фаза – фінальне зусилля – не може розучуватись самотійно: штовхання ядра з місця.

## **2.4. Просторово-часові характеристики.**

### *2.4.1. Способи задавання руху точки.*

Описуючи рух точки, потрібно вказати залежність її координат від часу. Для цього використовують три способи задавання руху точки: звичайний, векторний і координатний.

Звичайний спосіб зазвичай застосовують у навчально-тренувальному процесі і полягає в наочній демонстрації конкретної рухової дії під час виконання вправи чи її частини, схем, використання макетів, відеоматеріалів та словесного опису. У практиці підготовки фахівців із деяких видів людської діяльності використовуються спеціальні тренажери, які автоматично забезпечують необхідні характеристики руху окремих точок або частин тіла людини, або надають експрес-інформацію про відхилення їх від еталонного зразка.

Векторний спосіб задання руху точки – це визначення положення точки в системі координат  $X Y Z$  у будь-який момент часу за напрямком і величиною радіус-вектора  $\mathbf{r}$ , що з'єднує початок системи координат з досліджуваною точкою. В процесі руху точки вектор  $\mathbf{r}$  з плином часом буде змінюватись за величиною та напрямком. Вираз  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$  визначається законом руху точки у векторній формі тому, що він дозволяє у довільний момент часу  $t$  побудувати відповідний вектор  $\mathbf{r}$  та знайти положення досліджуваної точки, що рухається. Геометричне місце кінців векторів, що визначаються положенням точки в просторі з плином часу, мають назву годограф.

Координатний спосіб передбачає задання положення точки відносно заданої системи координат  $X Y Z$  за її лінійними координатами. У процесі руху всі  $X Y Z$  координати з часом можуть змінюватись. Для визначення розташування точки в просторі у певний момент часу, потрібно знати миттєві значення її координат, що задаються наступними рівняннями:

$$X = X(t); Y = Y(t); Z = Z(t).$$

Координатний спосіб задання руху точки найзручніший для наступного комп'ютерного аналізу, а процес «оцифрування»

результатів фото-відеозйомки саме й полягає у задаванні руху окремим розрахунковим точкам у координатній формі.

#### 2.4.2. Лінійна швидкість руху.

**Вектор** – представляє собою математичне поняття що характеризується напрямком і величиною, та додається до наступних векторів за правилом паралелограма (рис. 2.2):

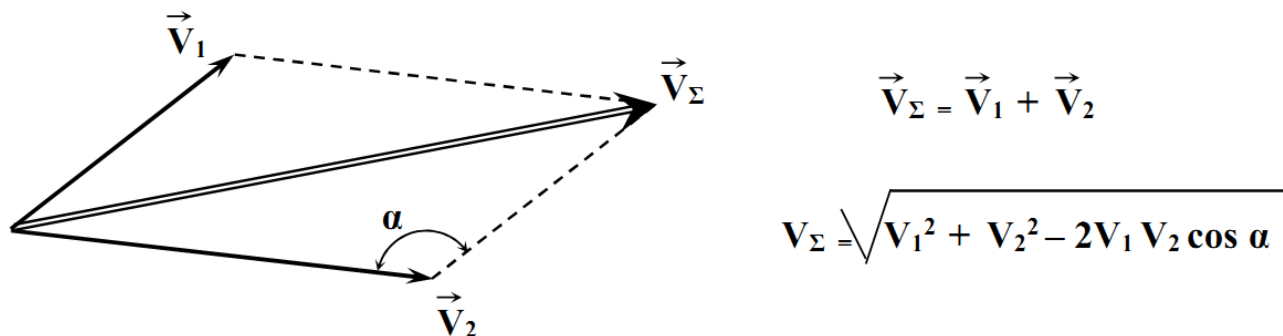


Рис. 2.2. Схема додавання векторів за правилом паралелограма

**Швидкість** – представляє собою векторну величину, що характеризує напрямок та інтенсивність руху точки в даній системі відліку.

Вектор лінійної швидкості постійно спрямований по дотичній до траєкторії руху точки (рис. 2.3).

Модуль швидкості постійного прямолінійного руху дорівнює відношення шляху **S** до часу **t** конкретного переміщення в просторі:

$$|\vec{V}| = S / t \text{ [м/с]}$$

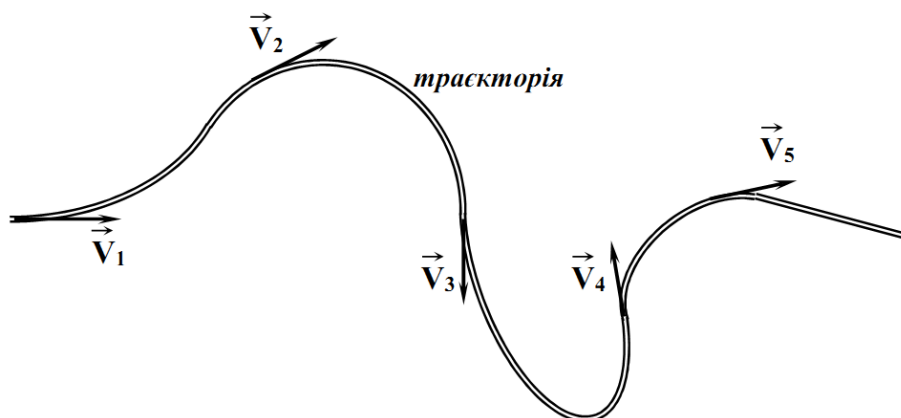


Рис. 2.3. Напрямок вектора лінійної швидкості

Розрахункові точки тіла людини практично ніколи не знаходяться в прямолінійному та рівномірному русі: навіть

виконуючи одну вправу величина та напрямок швидкості руху окремих досліджуваних точок постійно змінюються, саме тому поняття середньої швидкості в біомеханічному аналізі зазвичай не використовується. В дослідженні замість середньої швидкості, беруть до уваги основні способи реєстрації фізичної вправи та розраховується так звана миттєва швидкість.

**Миттєва швидкість** – представляє собою швидкість руху точки в конкретний момент часу чи у заданій точці траєкторії:

$$|V| \approx \Delta S / \Delta t \text{ [м/с]},$$

*де  $\Delta S$  та  $\Delta t$  - короткі відрізки шляху та часу, які відповідають переміщенню досліджуваної точки, наприклад, положення між зафіксованими на сусідніх кадрах відеограми.*

Визначення швидкості руху досліджуваних точок тіла спортсмена дає змогу об'єктивно оцінювати техніку виконання різними спортсменами багатьох фізичних вправ; за відповідною швидкістю центра мас тіла у відповідних фазах відразу можна дослідити та визначити ефективність прикладання сил. Хоча біомеханічний аналіз на порівнянні та визначенні лінійних швидкостей руху тіла не закінчується, вони мають важливе значення, а також використовуються для розрахунку інтегральних показників (кінетична енергія, імпульс тощо).

### *2.4.3. Лінійне прискорення руху.*

В процесі виконання будь-яких фізичних вправ швидкості досліджуваних точок тіла людини постійно змінюються як за напрямком, так і за величиною. Кожна зміна швидкості (завдяки **інертності** – здатність змінювати свою швидкість поступово) завжди утворює силу інерції, яка заважає руху тіла у заданому силами напрямку. У багатьох випадках інертність всього тіла, як і його окремих частин або елементів спорядження, заважає ідеальному виконанню рухових дій. Мірою інертності тіла при поступальному русі є його маса.

Зміну лінійної швидкості руху можна охарактеризувати **прискоренням** – векторна величина, що характеризує інтенсивність та напрямок зміни швидкості точки в досліджуваній системі відліку. Напрямок лінійного прискорення збігається з напрямком лінійної швидкості при зростанні її величини (модуля) або протилежний до нього – при її зменшенні.

**Прискорення** – досить важлива для біомеханічного аналізу характеристика, оскільки вона дозволяє визначити силу інерції, від аналізу кінематичних рухових дій перейти до динамічних (знаючи величини сил, що діють на кожну окрему частину тіла – інерція, тяжіння, опір середовища тощо – можна розрахувати енерговитрати організму, вирахувати навантаження на конкретні функціональні м'язові групи, оцінити ефективність прикладання сил для досягнення найкращого спортивного результату).

За другим законом Ньютона

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ [м/с}^2\text{]}$$

де  $\vec{F}$  - сила,  
 $m$  - маса,  
 $\vec{a}$  - прискорення.

Миттєве прискорення так само, як і миттєва швидкість у заданий момент часу чи у заданій точці траєкторії, визначається за вище наведеною формулою.

#### *2.4.4. Просторово-часові характеристики обертального руху.*

**Обертальним рухом** називають рух твердого тіла, при якому усі досліджувані точки рухаються по колах із спільним центром. Великою переміщення тіла при обертальному русі є кут повороту.

**Кутова швидкість** представляє собою вектор, що характеризує напрямок та інтенсивність обертання тіла в даній системі відліку.

В процесі виконання фізичних вправ інтенсивність обертання біологів та тіла загалом, розташування обертових осей в просторі не залишаються сталими, тому, в процесі поступального руху, поняття



середнього кутового прискорення або середньої кутової швидкості втрачають сенс.

Довільна рухова дія здійснюється за допомогою одночасних обертальних рухів у різних суглобах із різними прискореннями та кутовими швидкостями, що забезпечує відповідні траєкторії руху досліджуваних точок тіла та спорядження. Тому визначення кінематичних характеристик обертальних рухів довкола різних суглобових осей має першочергове значення для аналізу техніки. Знаючи величину кутового прискорення та кутової швидкості, як і з поступальним рухом, можна визначити імпульс обертання кожної частини тіла (кінетичний момент), а за другим законом Ньютона момент сили інерції, тобто можна розрахувати динамічні характеристики виконуваних дій.

В процесі виконання фізичних вправ окремі точки тіла людини, частини тіла, центри мас тощо рухаються в більшості випадків зі змінними швидкостями. Динаміка досліджує причини виникнення та зміни тіла загалом та окремих його частин. Динамічні характеристики – силові, інерційні та енергетичні – розкривають механізм рухових дій.

## ***2.5. Інерційні характеристики.***

Фізичні сутності явищ інерції розкривається першим законом Ньютона: «Існують системи відліку, відносно яких швидкість тіла не змінюється, якщо на нього не діють інші тіла або дії цих тіл взаємокомпенсуються». Такі системи відліку називаються інерційними. Згідно із зазначеним законом інерції (законом Ньютона), якщо на тіло не діють інші дії інших тіл або тіла взаємокомпенсуються, то у випадку інерційної системи відліку тіло знаходиться у стані спокою або рухається прямолінійно та рівномірно. Усі інерційні системи відліку знаходяться в стані спокою або рухаються без прискорення ( $\mathbf{a} = \mathbf{0}$ ).

Неінерційні системи відліку рухаються з певним прискоренням відносно інерціальних систем, наприклад: футбольні ворота – тіло

відліку інерціальної системи, а центр маси гравця, що рухається з прискоренням, – тіло відліку неінерціальної системи.

Явище збереження модуля і напрямку швидкості тіла відносно інерційної системи відліку називається інерцією. При взаємодії різних тіл їх швидкість буде змінюється неоднаково. Властивість тіла поступово та по-різному буде змінювати власну швидкість при їх взаємодії називається **інертністю**. Тіло з більшою інертністю, буде повільніше змінюється швидкість свого руху під дією інших тіл.

Кількісна характеристика інертності тіла при його поступальному русі є **маса тіла** – скалярна фізична величина, яка виступає мірою інертності тіла при його поступальному русі: **m [кг]**.

Щоб виміряти масу конкретного тіла, його необхідно привести в контактну взаємодію з еталоном маси і порівняти зміну швидкостей тіла та еталона:

$$m_x = (V_e / V_x) \cdot m_e \quad [кг]$$

де **m<sub>x</sub>** – маса тіла;  
**m<sub>e</sub>** – маса тіла-еталона;  
**V<sub>x</sub>** – швидкість тіла;  
**V<sub>e</sub>** – швидкість тіла-еталона

Визначена в такий спосіб маса називається інертною та проявляється при контактній взаємодії тіл. Маса являє собою постійну величину при швидкостях руху, значно менших за швидкість світла.

При дослідженні рухових дій часто виникає потреба врахувати не лише величину маси, але й її розподіл за об'ємом чи довжиною тіла, який визначає розташування центра маси.

**Центр маси тіла (ЦМТ)** – є точка перетину прямих, уздовж яких повинні спрямовуватися сили, щоб тіло рухалося поступально.

За будь яких обставин не можна казати, що це точка, де сконцентрована вся маса тіла, чи що це точка, до якої прикладається сила тяжіння: ЦМТ – це суто уявна, розрахункова точка.

Розміщення ЦМТ тіла людини зумовлюється позою, анатомо-фізіологічними особливостями, функціонуванням органів травлення, транспортної, дихальної та інших систем, які забезпечують переміщення відповідних речовин в організмі в процесі його життєдіяльності.

Визначення розташування ЦМТ – принципово важливе завдання біомеханіки, адже траєкторія руху центрів маси окремих частин тіла та центра маси тіла та у переважній більшості випадків є показниками досконалості техніки.

Зміна траєкторій рухів ЦМТ, згідно з першим законом Ньютона, описує дію на тіло інших тіл, що дає можливість встановити багато кінематичних та динамічних характеристик, а також розрахувати напрямок та величину опорної реакції при відштовхуванні.

**Момент інерції тіла** – міра інертності тіла при його обертальному русі. Для вивчення обертального руху момент інерції відіграє аналогічну роль, як і маса при дослідженні поступального руху тіла. Проте якщо масу конкретного тіла прийнято вважати величиною постійною, то момент інерції цього ж тіла залежить від положення осі обертання.

Момент інерції матеріальної точки (малого тіла, розміри якого порівняно з відстанню до осі обертання можна не враховувати) відносно досліджуваної осі обертання називається скалярна величина, що дорівнює добутку маси досліджуваної точки на квадрат її відстані від вказаної осі обертання:

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

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

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

**r** – відстань матеріальної точки від осі обертання.

Момент інерції тіла відносно будь-якої осі є величина додатня і така, що не дорівнює нулю. У біомеханічних системах, яка можуть деформуватись (наприклад тіло та кінцівки людини), при віддаленні її частин від осі обертання момент інерції цілої системи збільшується.

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

$$I = \sum m_i \times r_i^2 \text{ [кг} \times \text{м}^2\text{]}$$

де  $\Sigma$  – знак суми;

$m_i$  – маса  $i$ -тої частини тіла;

$r_i^2$  – відстань центра мас  $i$ -тої частини тіла від осі обертання.

Момент інерції тіла відносно осей обертання, що проходять через його центр маси, називаються центральними (або головними) моментами інерції тіла.

## 2.6. Силі характеристики.

Рухи тіла відбуваються під дією прикладених до нього рушійних сил або без їх присутності (по інерції), коли діють лише гальмівні сили. Рушійні сили діють не постійно, у той час як без менших або більших гальмівних сил рух тіла ніколи не відбувається. Напрямок дії сили може збігатися і не збігатися з напрямком руху тіла. Зміна руху відбувається лише під дією сил, які виступають причинами змін даного руху. Зв'язок дії сили із зміною руху тіла розкривають силі характеристики: сила, імпульс сили, імпульс моменту сили, момент сили, градієнт сили.

**Сила** – це векторна величина, кількісна характеристика (міра) дії одного тіла на інше. Іншими словами, сила – це міра взаємодії двох тіл. За другим законом Ньютона: «Сила, з якою одне тіло діє на інше, прямо пропорційна масі тіла та одержаному цим тілом, внаслідок дії вказаної сили, прискоренню»:

$$\vec{F} = m \times \vec{a} \text{ [кг} \times \text{м/с}^2\text{]}$$

де  $\vec{F}$  – сила;

$m$  – маса тіла;

$\vec{a}$  – прискорення.

Внутрішніми називаються сили, які взаємодіють між тілами однієї системи. Зовнішніми називаються сили, які діють на тіло однієї системи з боку інших тіл, які не належать до даної системи.

В біомеханічних дослідженнях розглядають три типи зовнішніх сил:

- сили *взаємного притягування* між тілами – гравітаційні сили, що діють на відстані та називаються дистантними;
- сили *зумовлені деформацією контактуючих тіл* – пружні сили, що діють на тіло з боку стиснутої або розтягнутої пружини, сила, з якою підвіс діє на закріпленій до його кінця вантаж тощо;
- сили, що виникають лише *при контакті тіл* та зумовлені поверхневими явищами – контактні сили тертя.

Якщо розглядати рух певної частини тіла як окремого тіла, наприклад гомілки, то тяги м'язів, які відносяться до стегна, вагу стопи й утримуючу дію стегна слід віднести до зовнішніх сил, оскільки їхня дія зумовлена тілами, що не входять до поняття «гомілка».

Отже, одні і ті ж сили можуть бути і зовнішніми, і внутрішніми, залежно від того, які тіла були зараховані до досліджуваної біомеханічної системи, а які – не зараховали.

Градiєнт сили (швидкість зміни сили) – це інтенсивність зміни сили з плином часу: «швидкість» як вираз застосовується не лише для характеристики інтенсивності руху, але й як міра інтенсивності зміни різних показників, у тому числі й сили.

Сила певних функціональних м'язових груп при виконанні різноманітних вправ безперервно змінюється. Від швидкості наростання сили досить часто залежить кінцевий ефект рухової діяльності (особливо в процесі швидких рухів в умовах дефіциту часу на виконання деяких окремих фаз вправи). У багатьох рухових завданнях (спринт, кидок, удар тощо) максимальну силу необхідно розвинути за мінімальний проміжок часу, оскільки окремі фази вправи відбуваються протягом 0,09 – 0,25 с (наприклад в спринтерському бігу або під час відштовхування від опори в стрибках у висоту). Час, що витрачається на виконання таких фаз, необхідний для досягнення максимальної сили та коливається у межах від 0,8 до 1,0 с (понад 90% від максимальної сили тяги м'яз спортсмена досягає приблизно за 0,3 с).

Якщо спортсмен за певний проміжок часу може розвинути силу, яка перевищує аналогічний показник іншого спортсмена, то, незважаючи на те, що максимальна сила другого спортсмена може бути вищою, при виконанні швидких вправ перевагу матиме перший спортсмен (рис. 2.4.).

Математично швидкість наростання сили буде виражатись співвідношенням  $dF/dt$ : як перша похідна від сили за часом.

Для чисельної характеристики градієнта сили використовують наступні три показники:

- $t_{1/2}$  – час досягнення сили, що дорівнює половині від максимальної. Власне це і є **градієнт сили**;
- частка від ділення виразу  $F_{max}/t_{max}$ . Цей є **швидкісно-силовий індекс**, що дорівнює тангесу кута  $\beta$  (рис. 2.5);
- **коефіцієнт реактивності**, що застосовується у випадках переміщення не інших тіл (спортивні прилади), а власне тіло (долання підйомів, стрибки, підтягування тощо):

$$K_r = \frac{F_{max}}{t_{1/2} \times M}$$

де  $K_r$  – коефіцієнт реактивності;  
 $F_{max}$  – максимальна сила тяги м'яза;  
 $t_{1/2}$  – градієнт сили.

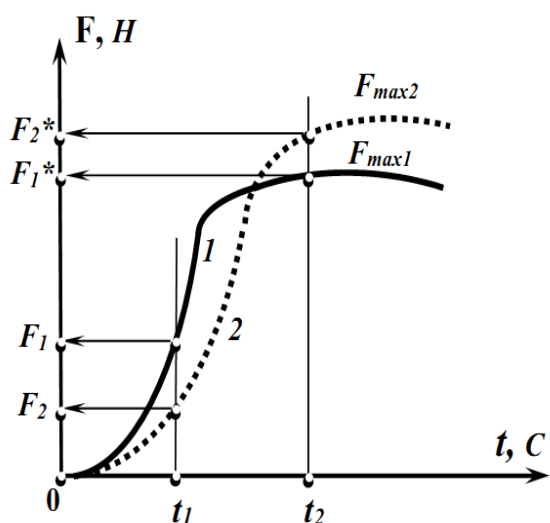


Рис. 2.4. Наростання сили тяги м'язів із плином часу у двох осіб

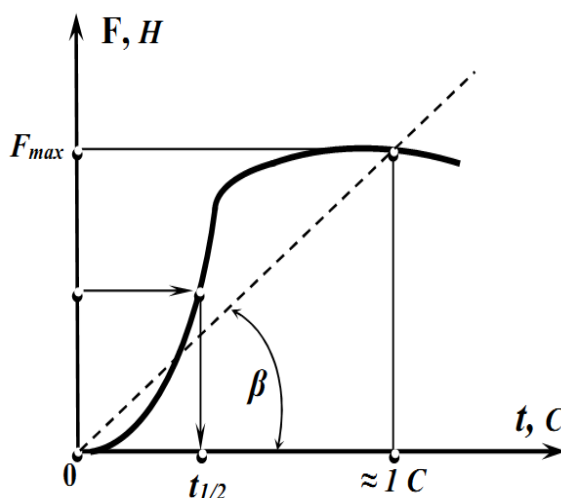


Рис. 2.5. Визначення швидкісно-силового індексу

Говорити про силу й результат її дії можна лише у випадку поступального руху тіла. Але рухові дії тіла людини як біомеханічної системи найчастіше характеризуються обертальними рухами в суглобах. Зміна обертального руху залежить від моментів сил – їх обертальної дії на окремі частини тіла.

## 2.7. Енергетичні характеристики.

Сили, прикладені до певного твердого тіла, виконують *механічну роботу*, змінюючи швидкість руху та положення його частин тим самим змінюючи його механічну енергію. Виконувана робота характеризує змінні процеси енергії системи. Натомість енергія характеризує стан системи, яка може змінюватися лише через виконання нею певною роботою.

**Механічна енергія** являє собою запас працездатності біомеханічної системи, яка виражається кількісною характеристикою її механічного стану. Змінюватися механічна енергія твердого тіла буде при умові, якщо на нього діятимуть зовнішні сили та моменти.

Енергія, яка буде визначатися взаємним розташуванням тіл (або частин досліджуваного тіла), між якими діють постійні сили (сили гравітаційного притягання), називається *потенціальною енергією*, якою володіють тіла, що підняті над площиною відліку, або zdeформовані (стиснуті, зігнуті, скручені чи розтягнуті) пружні тіла. Тіла, що знаходяться на поверхні Землі, потенціальна енергія звичайно (проте не завжди) приймається такою, що дорівнює нулю.

Потенційну енергію  $E_n$  тіла в полі сил тяжіння, піднятого на певну висоту  $h$ , визначають за формулою:

$$E_n = m \times g \times h \text{ [ДЖ]},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння тіла на Землю у середніх широтах  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$m$  – маса тіла;

$h$  – висота на яку піднято тіло.

Змінюючи розташування тіла (в процесі його підйому чи опускання, зміні пози тощо) потенціальна енергія тіла переходить у **кінетичну**. **Кінетична енергія** – це енергія руху, яка визначається швидкістю тіла, називається, це енергія механічного руху тіла. При поступальному русі вона дорівнює масі тіла та квадрату його швидкості:

$$\vec{E} = \frac{m \times \vec{V}^2}{2} [\text{Дж}],$$

де  $m$  – маса тіла (кг);

$\vec{V}$  – швидкість руху тіла (м/с).

$$\vec{E}_k = \frac{I \times \vec{\omega}^2}{2} [\text{Дж}],$$

де  $I$  – момент інерції тіла (кг $\times$ м $^2$ );

$\vec{\omega}$  – кутова швидкість обертання тіла (1/с $^2$ ).

Сума потенціальної, кінетичної і пружної енергій твердого тіла становить повну його механічну енергію. При відсутності впливу дії зовнішніх сил повна механічна енергія системи твердих тіл не змінюється.

Існує три можливі шляхи збереження енергії в тілі людини:

- перехід енергії руху (кінетичної енергії) окремих його частин в їх потенціальну енергію (енергія, що розміщена в полі сил тяжіння);
- власне перехід механічної енергії від однієї до іншої частини тіла;
- накопичення енергії в послідовних пружних компонентах (сухожилках і сарколемі) пасивно розтягуваних м'язах (аналогічне накопичення енергії у пружинах, що деформуються) з наступним її повернення (беручи до уваги часткові втрати на релаксацію з плином часу) у систему з метою виконання рухового завдання;
- зворотнє перетворення механічної роботи в хімічну енергію.



## Тестові завдання до теми 2 для самоперевірки знань

1. Момент інерції тіла – це міра інертності тіла при його:
  - a. криволінійному русі
  - b. гальмуванні руху
  - c. обертовому русі
  - d. прямолінійному русі
  
2. Центром маси тіла це – точка перетину прямих, уздовж яких мають бути спрямовані сили, щоб тіло:
  - a. зберігало рівновагу
  - b. прискорювалось
  - c. рухалося поступально
  - d. уповільнювалось
  
3. Просторові біомеханічні характеристики дають змогу визначити:
  - a. розташування тіла відносно обраної системи відліку у заданий момент часу
  - b. розташування точки відносно обраної системи відліку у заданий момент часу
  - c. розташування точки або тіла відносно обраної системи відліку
  - d. розташування точки або тіла відносно обраної системи відліку у заданий момент часу
  
4. Енергія механічного руху тіл це:
  - a. градієнт сили
  - b. кінетична енергія
  - c. механічна енергія
  - d. потенціальна енергія
  
5. Яка біомеханічна характеристика не відноситься до динамічних:
  - a. енергетична
  - b. кінематична
  - c. інерційна
  - d. силова
  
6. Які показники в процесі дослідження не можна визначити за допомогою просторових біомеханічних характеристик:
  - a. шлях, ухил, координату
  - b. об'єм, траєкторію, перепад висот
  - c. радіус, довжину, час
  - d. кут повороту, розмір, азимут

7. Якого способу описання руху точки в біомеханіці не існує:

- a. векторний
- b. лінійний
- c. звичайний
- d. координатний

8. Що з переліченого не відноситься до типів зовнішніх сил:

- a. обумовлені деформацією контактуючих тіл
- b. взаємного відштовхування
- c. взаємного поглинання енергії тіл
- d. взаємного притягування

9. Якого з способів завдання руху точки в координатній залежності від часу не існує:

- a. векторний
- b. модульний
- c. звичайний
- d. координатний

10. Точка перетину прямих, уздовж яких спрямовані сили, щоб тіло рухалося поступально називається:

- a. моментом інерції тіла
- b. швидкістю тіла
- c. маса тіла
- d. центром маси тіла

## ТЕМА 3

### БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ М'ЯЗОВОГО СКРОЧЕННЯ

#### 3.1. Біомеханіка м'язового скорочення. Основні біомеханічні показники роботи м'яза.

Живий скелетний м'яз людини – надзвичайно складна система (утворення), яка демонструє свої механічні характеристики тільки у випадку його під'єднання до центральної нервової та системи кровообігу, причому зовнішня подібність поведінки до механічних властивостей неживих матеріалів зумовлена зовсім іншими й набагато складнішими внутрішніми причинами.

Саме тому говорити про традиційні механічні властивості матеріалів (як твердість, пружність, в'язкість, міцність, текучість тощо) відносно живих м'язів людини – просто некоректно (порівняйте: говорити про міцність чи текучість комп'ютера, твердість чи міцність на розрив електронних деталей).

Біомеханіка розглядає два основні біомеханічні показники роботи м'яза: швидкість скорочення та силу тяги на його кінцях.

*Основна функція м'язів* – перетворення хімічної енергії макроергічних сполук на механічну роботу (так звана механохімічна реакція). Власне скорочення м'язів відбувається внаслідок взаємодії міозинових та актинових міофіламентів. Активатором механохімічної реакції виступають іони кальцію. Для роботи поперечних мостиків молекул міозину енергія постачається аденозитрифосфатами (АТФ).

Досліджуючи будову скорочувальних елементів скелетних м'язів людини, можна зазначити, що вони складаються з окремих м'язових пучків, пучки складаються з волокон (клітин довжиною від декількох мм до десяти і більше см), а волокна складаються з міофібрил – тонкі нитки товщиною 2 мкм, які поділяються на товсті нитки – молекули міозину та тонкі нитки – білкові молекули актину. Поперечні z-мембрани поділяють міофібрили на маленькі волокна – саркомери, які є елементарними утвореннями м'язів, що проявляють їх властивість скорочуватись (на 20 %, або приблизно на 5 мкм).

Коли  $N$  саркомерів діють паралельно (рис. 3.1), тоді:

$$F = F_{\text{сарк.}} \times N, \text{ а } V = V_{\text{сарк.}}$$

- де  $F$  - сила тяги всього пучка;  
 $F_{\text{сарк.}}$  - сила тяги одного саркомера;  
 $V$  - швидкість скорочення всього пучка;  
 $V_{\text{сарк.}}$  - швидкість скорочення одного саркомера.

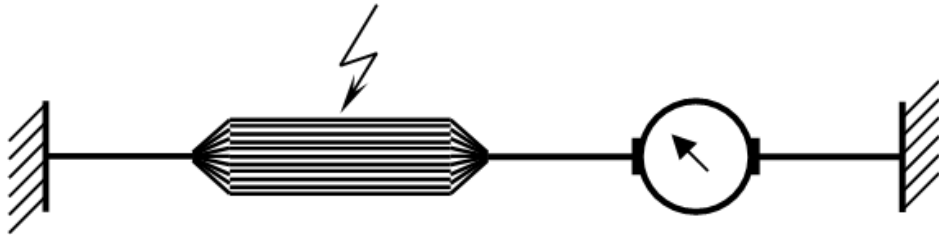


Рис. 3.1 Розрахункова схема «м'яза», утвореного з  $N$  саркомерів, які діють паралельно

Коли  $N$  саркомерів діють послідовно (рис. 3.2), тоді:

$$F = F_{\text{сарк.}}, \text{ а } V = V_{\text{сарк.}} \times N$$



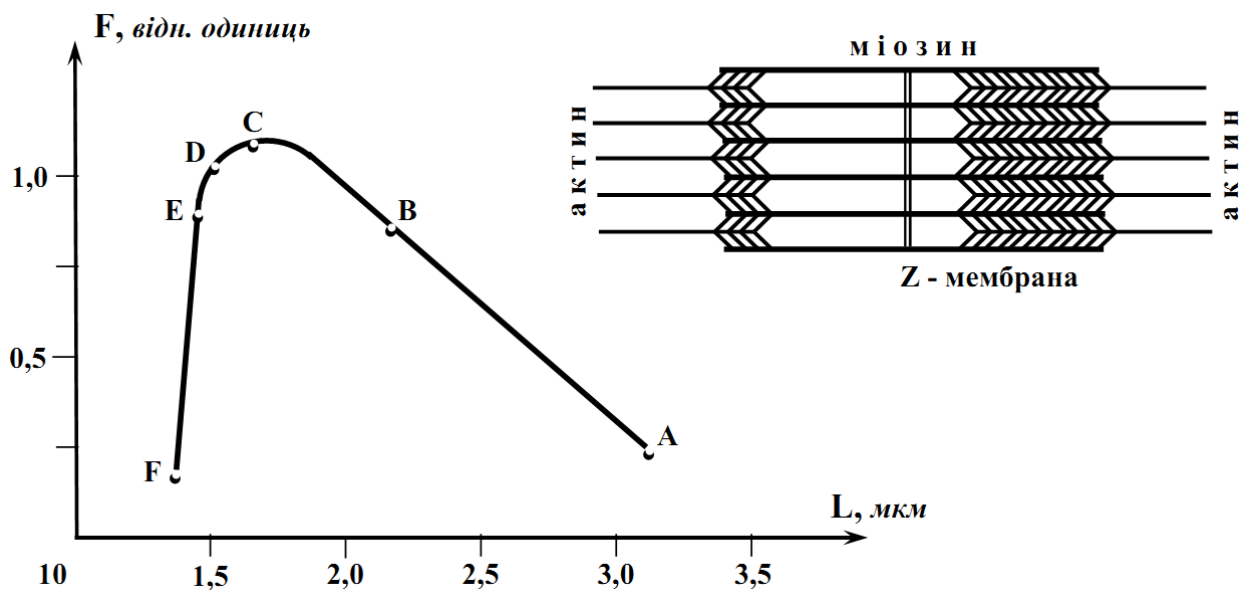
Рис.3.2. Розрахункова схема «м'яза», утвореного з  $N$  саркомерів, які діють послідовно

На основі цього можна зробити висновок, що при збільшенні фізіологічного перетину м'яза відбувається зростання сили його тяги без прояву зміни швидкості скорочення, та навпаки – збільшення довжини м'яза призводить до зростання швидкості скорочення без зміни сили тяги.

### 3.2. Залежність сили тяги м'яза від його довжини.

Практика показує, що найбільшу силу тяги м'яз проявляє при його певній оптимальній довжині, яка називається **довжиною спокою**. Це пояснюється експериментальними даними, що одержані при вивченні скорочення м'язового волокна (рис.3.3).

При великій довжині м'яза (точка А) перекриття ниток міозину та актину мале, тому мала кількість мостиків, що утворюються між ними при активації м'яза, які «тягнуть» (А). При малій довжині м'яза (F) нитки актину впираються в молекул Z-мембран міозину і сила тяги стрімко зменшується. Точки В, С, D та Е відповідають максимальному перекриттю міозинових та актинових ниток переважної більшості саркомерів м'яза; така довжина м'яза і є **довжиною спокою**, яка відповідає максимальній силі тяги м'яза.



*Рис. 3.3. Вплив довжини саркомера на напруження, що розвивається окремими м'язовими волокнами, і схема перекриття актинових та міозинових ниток при різній довжині саркомера*

На *рис. 3.4* крива **а)** відображає силу активної тяги скелетного м'яза залежно від його довжини. Крива **в)** відображає опір пасивного розтягування розслабленого м'яза певною зовнішньою силою. Крива **с)** показує суму кривих **а) і в) - с) = а) + в)** та відображає реальну залежність сили тяги м'яза від його довжини.

Чим більше у м'яза з'єднувальної тканини, тим менша її рівноважна довжина (довжина розслабленого м'яза, витягнутого в суцільну лінію), тому характер кривої **с)** може бути трохи іншим (*рис. 3.5.*), що особливо характерне більшості м'язів нижніх кінцівок.

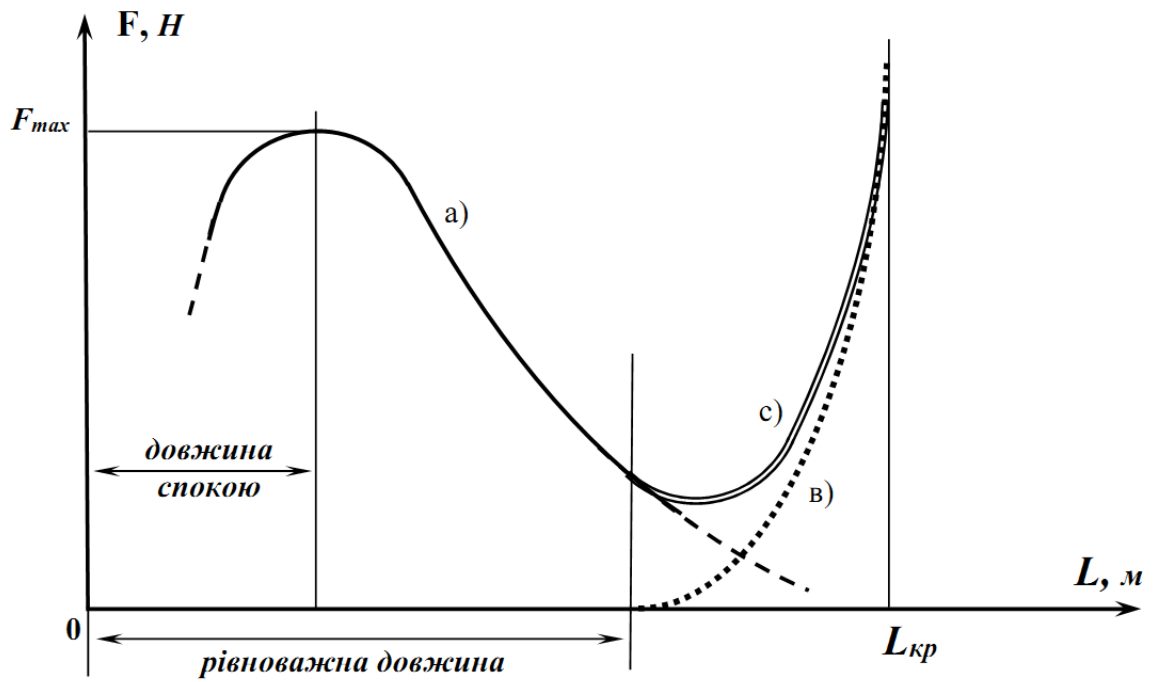


Рис. 3.4. Залежність сили тяги м'яза від його довжини

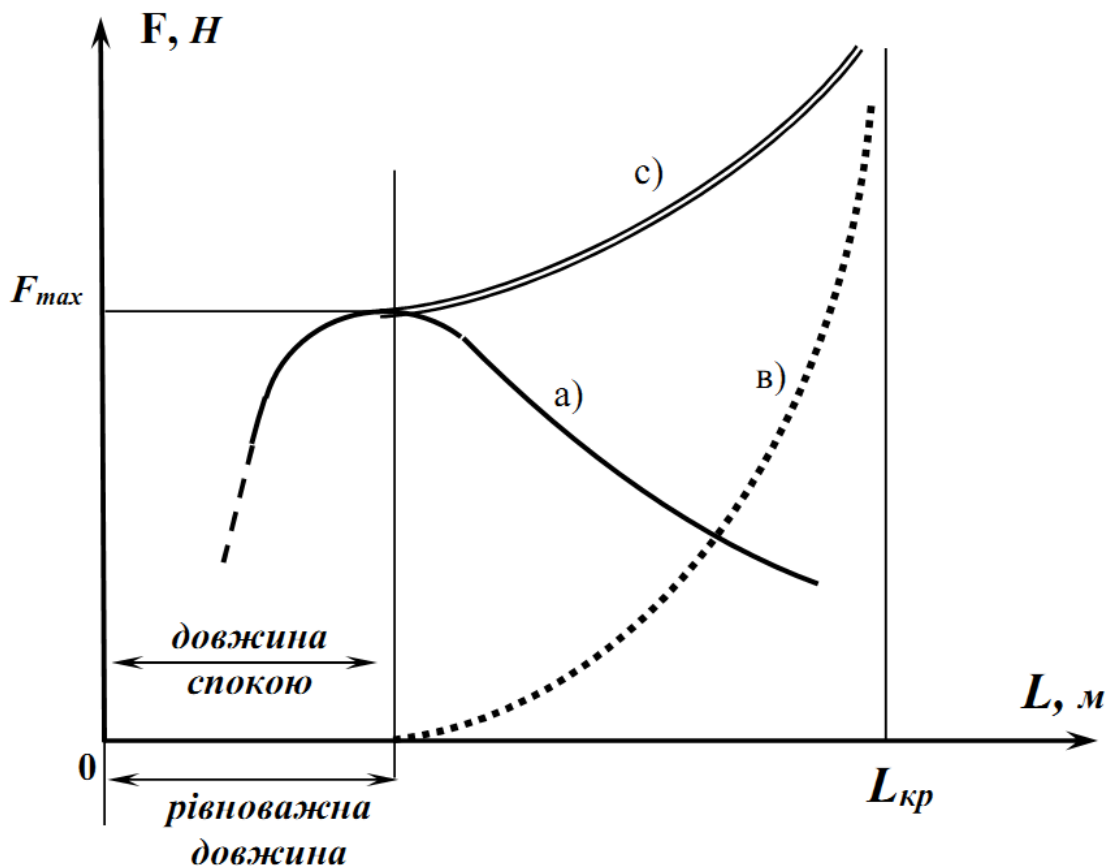


Рис. 3.5. Залежність сили тяги м'язів з великою кількістю з'єднувальної тканини від довжини

Тобто збільшення максимальної сили тяги м'язів при їх великій довжині зумовлене не активною тягою саркомерів, а попереднім пасивним розтягом м'язів за рахунок зовнішніх сил (наприклад інерцією спорядження та приладдя або силами інерції тіла людини та його частин).

### **3.3. Залежність сили тяги м'яза від часу.**

Сила тяги на кінці м'яза з'являється не відразу після виникнення сили в скорочувальних елементах, а через деякий проміжок час, поки не розтягнуться послідовні пружні компоненти м'яза. Записані експериментально електроміограми (величина керуючих роботою м'язів електричних потенціалів) м'язів нижніх кінцівок спринтерів показали, що у них електрична активність спостерігається ще до початку виконання активної роботи – приблизно за 15-25 мс до торкання стопи на опорну поверхню.

На *рис. 3.6* зображена залежність сили тяги скелетного м'яза від часу. У режимі поодинокого скорочення (поодинокий електричний імпульс збудження) сила тяги м'яза поступово зростає, а згодом зменшується до нуля. Якщо збуджуючі імпульси спрямовуються на м'яз один за одним, м'яз може розвивати суттєво більшу силу тяги, здійснюючи скорочення в так званому **режимі тетануса**. Щоб досягти максимальної сили чи максимальної швидкості її зростання дані імпульси повинні бути певної частоти, форми та амплітуди. У висококваліфікованих спортсменів якість керування своїми м'язами за рахунок бездоганних збуджуючих імпульсів значно вища, ніж у не кваліфікованих. Завдяки багаторічним тренуванням м'язи спортсменів збуджуються значно швидше, періоди розслаблення (а отже, і витривалість людини) збільшуються, м'язи включаються у роботу та виключаються з неї дуже вчасно (подібну злагоджену картину м'язової роботи деколи називають м'язовим ансамблем).

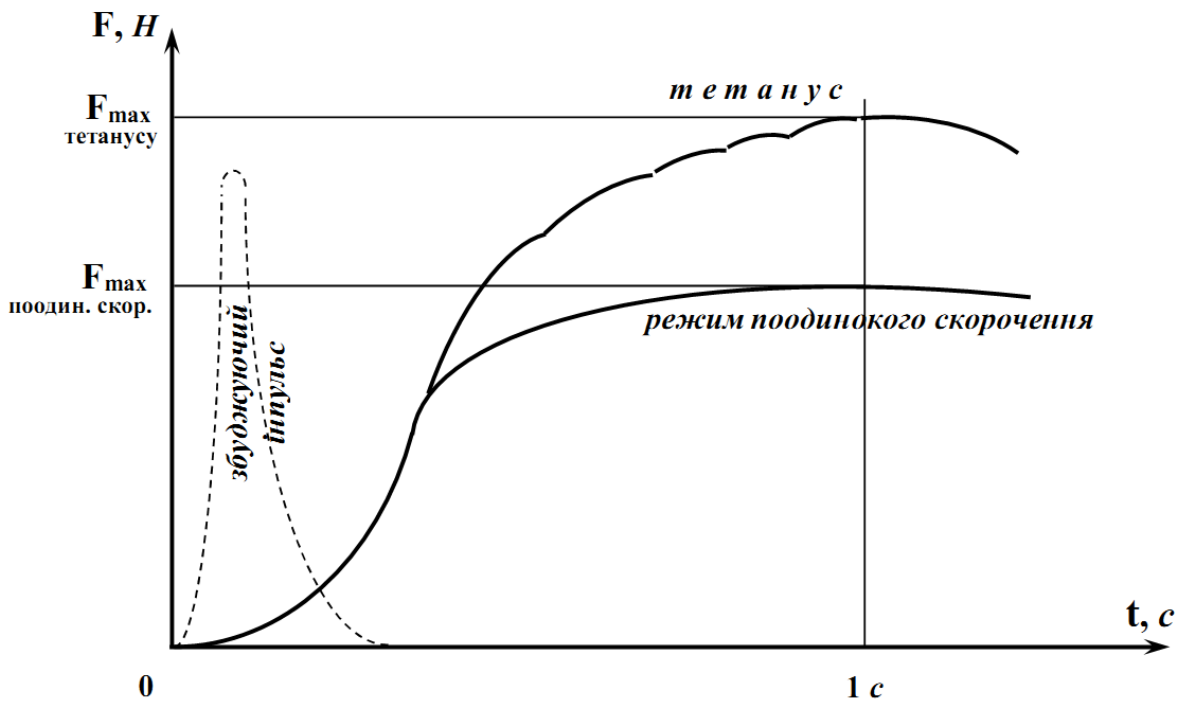


Рис. 3.6. Залежність сили тяги м'яза від часу

Звичайно максимальної сили тяги в режимі тетанічного скорочення скелетні м'язи людини досягають приблизно через секунду після початку їх збудження. Тому в процесі виконання переважної більшості фізичних вправ м'язи не проявляють своєї максимальної сили тяги, а при виконанні деяких дій, як згадувалось вище, м'язи завчасно активуються перед виконанням роботи. Для практики спорту уміння спортсмена швидко нарощувати силу тяги м'язів часто має більше значення, ніж прояв максимальної сили.

Механічні показники скорочення м'язів залежать від зовнішнього навантаження, при збільшені якого зростає латентний (прихований) час реакції, зменшується величина та швидкість скорочення.

#### 3.4. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (крива Хілла).

Дана залежність сили тяги від швидкості скорочення м'яза особливо важлива, адже при добутоку сили на швидкість отримуємо потужність його роботи – основний показник виконання рухових дій спринтерського характеру. Вагомий внесок у вивчення згаданої



залежності зробив відомий легкоатлет і вчений А.В. Хілл (1938 р.), іменем якого називають залежність «сила тяги – швидкість скорочення м'яза». Між цими показниками роботи м'яза – оберненопропорційна залежність, яка може бути описана формулою:

$$(F-a) \times (V-b) = (F_0-a),$$

де  $F$  – сила тяги на кінці м'яза;  
 $V$  – швидкість скорочення м'яза;  
 $F_0$  – максимальна ізометрична сила;  
 $a$  та  $b$  – constanta – сталі величини.

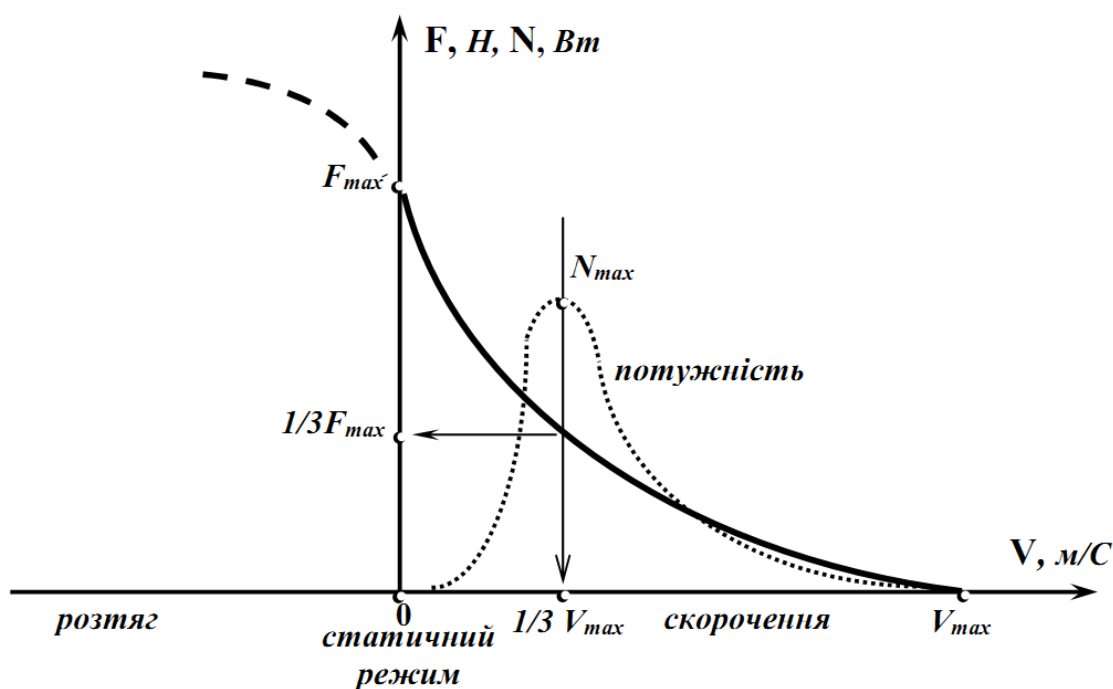


Рис. 3.7. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (крива Хілла)

На рис. 3.7 видно, що максимальну потужність м'яз людини розвиває в режимі скорочення зі швидкістю, що становить  $1/3$  від максимальної. При цьому сила тяги на кінцях м'яза також становить приблизно  $1/3$  частину від його максимальної ізометричної сили. При максимальній швидкості скорочення або максимальній силі тяги м'яза (які, згідно з кривою Хілла, ніколи не виникнуть одночасно), потужність його роботи дорівнює нулю, що описується формулою для розрахунку потужності скорочення м'яза:

$$\vec{N} = \vec{F} \times \vec{V} [Вт],$$

Максимальна економічність роботи м'язів спостерігається при швидкості його скорочення, що дорівнює 20% від  $V_{\max}$ : у вказаному режимі співвідношення енерговитрат м'яза на виконання зовнішньої роботи та її розсіювання при теплоутворенні найбільше.

Хоча для переважної більшості функціональних м'язових груп залежність сили тяги м'язів від швидкості їх скорочення (особливо на «межах» характеристики) не в повній мірі відповідає зображеній на *рисунку 3.7*, але в основному її загальний характер злишається незмінним, що використовуються при виконанні різних фізичних вправ. Наприклад, спринтери-велосипедисти використовують частоту педалювання 135-150 об/хв, а стайєри-велосипедисти виконують ту саму роботу з частотою 56-87 об/хв, що на велоергометрі без навантаження при максимальній частоті педалювання (яка досягає 240 об/хв), відповідає значенню  $\frac{1}{5}$  (20%) від максимальної швидкості. Подібна ситуація простежується в інших видах спорту (лижних перегонах, плаванні, веслуванні тощо), де на різних дистанціях доводиться розв'язувати конкретні спринтерські або стайєрські рухові завдання.

Розрахунок різноманітних додаткових енерговитрат на переміщення частин тіла засвідчує, що при частоті рухів, яка дорівнює швидкості скорочення м'язів  $\frac{1}{3}$  від максимальної, потужність переміщення частин тіла в переважній більшості випадків значно перевищує потужність корисної роботи зовнішнього характеру. Саме тому спринтери намагаються ні в якому разі не перевищувати частоту виконуваних рухів, а велосипедисти-трековики обирають завищене передавальне число (швидкостей) трансмісії лише з метою підвищення ефективності стартових рухів (внесок яких у загальний результат досягає 60%).

## Тестові завдання до теми 3 для самоперевірки знань

- 1. Оптимальна довжина при якій найбільшу силу тяги проявляє м'яз називається:*
  - довжиною розтягнення
  - довжиною скорочення
  - довжиною напруження
  - довжиною спокою
- 2. Збільшення максимальної сили тяги м'язів при їх максимальній довжині обумовлене:*
  - пасивною тягою саркомерів попереднім активним
  - розтягом саркомерів за рахунок зовнішніх сил
  - активною тягою саркомерів попереднім пасивним
  - розтягом саркомерів за рахунок зовнішніх сил
- 3. Показники механічного скорочення м'яза залежать від:*
  - статичного навантаження
  - розвитку м'яза
  - зовнішнього навантаження
  - активного навантаження
- 4. Крива Хілла являє собою залежність «сила тяги – швидкість еферентації»*
  - швидкість еферентації»
  - швидкість скорочення м'яза»
  - швидкість аферентації»
  - швидкість розтягнення м'яза»
- 5. Топографія сили – це співвідношення максимальної:*
  - сили різних функціональних м'язових груп
  - статичної сили різних функціональних м'язових груп
  - загальної сили різних функціональних м'язових груп
  - динамічної сили різних функціональних м'язових груп
- 6. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення називають:*
  - довжиною спокою м'яза
  - швидкістю скорочення м'яза
  - режим Тетануса
  - крива Хілла

7. Збільшення фізіологічного перетину м'яза приводить до:
- a. зростання сили тяги з зміною швидкості скорочення
  - b. зростання сили тяги без зміни швидкості скорочення
  - c. збільшення швидкості скорочення з зміною сили тяги
  - d. збільшення швидкості скорочення без зміни сили тяги
8. Які фази рухової діяльності утворюють латентний час реакції:
- a. премоторна та сенсорна
  - b. сенсорна, премоторна та моторна
  - c. сенсорна та моторна
  - d. премоторна та моторна
9. Які два основні біомеханічні показники роботи м'яза розглядають в біомеханічних дослідженнях:
- a. швидкість скорочення
  - b. швидкість претворення енергії
  - c. швидкість розтягнення
  - d. силу тяги на його кінцях
10. Сила дії людини не залежить від:
- a. плеча дії м'язів
  - b. поперечного перерізу м'язів
  - c. положення її тіла
  - d. зміною кутів у суглобах та довжини м'язів

## ТЕМА 4

### БИОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ ШВИДКІСНИХ ТА СИЛОВИХ ЯКОСТЕЙ

**Моторикою** називається сукупність *рухових якостей* людини. Різноманітні рухові завдання (при однакових рухових діях, наприклад, у бігу на короткі та на довгі дистанції) висувають до організму спортсмена різні вимоги та прояв різноманітних рухових якостей. **Рухові якості** – це індивідуальні, якісно різні сторони моторики людини. Рухова якість, як поняття об'єднує відповідні сторони моторики, що проявляються в однакових характеристиках, вимірюються однаково та мають багато спільного.

Розрізняють наступні рухові якості: швидкісні, силові, витривалість, спритність та гнучкість.

#### ***4.1. Силові якості. Максимальна сила дії людини. Топографія сили.***

В біомеханічних дослідженнях **силою дії людини** прийнято називати міру її впливу на фізичне середовище, яка передається через робочі точки тіла. Сила дії спортсмена визначається точкою *прикладання, напрямком та величиною* (модулем).

Величина сили дії спортсмена залежить від стану організму та його вольових зусиль (наміру проявити відповідну силу).

**Силові якості** умовно можна поділити на силові та швидкісно-силові (прояв динамічної сили при її ексцентричній та концентричній роботі та прояв статичної сили при ізометричній роботі м'язів).

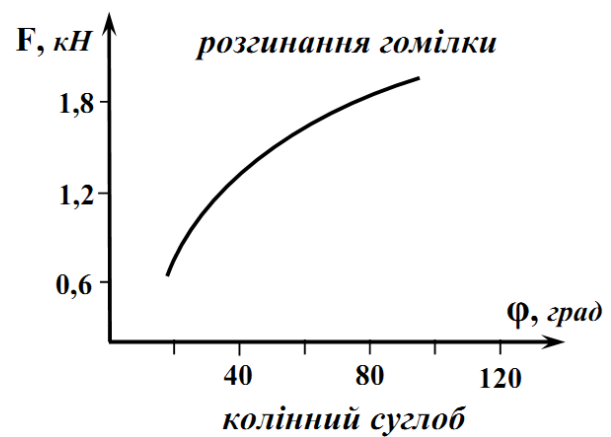
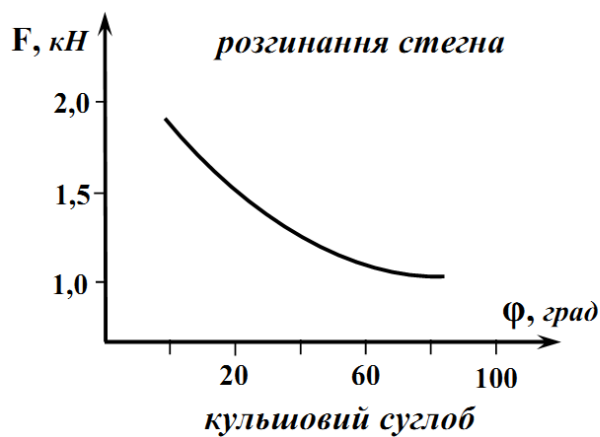
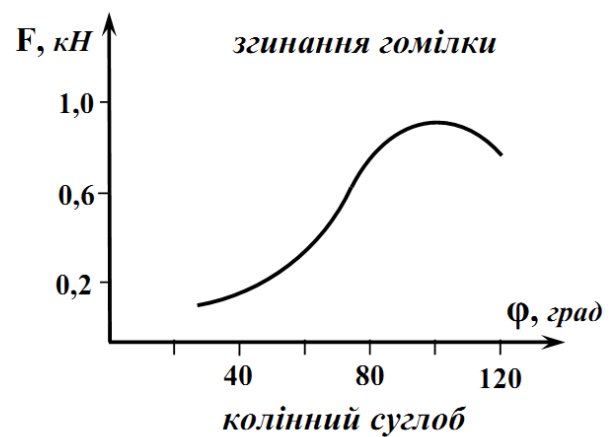
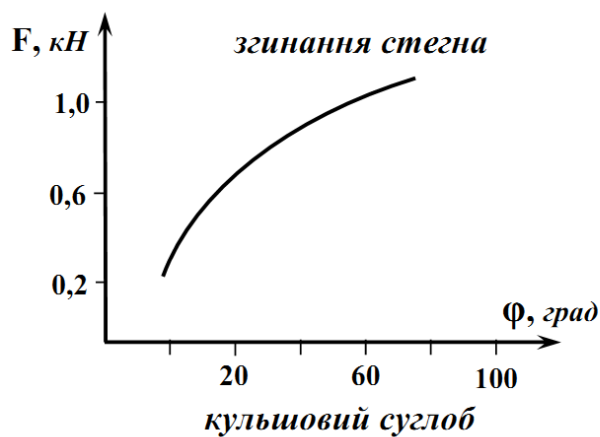
Безпосередньо сила дії людини залежить від сили тяги м'язів. Найбільшу силу м'яз може розвивати при значному його скороченні і значно меншу – в розтягнутому стані. За відносному переміщенні частин тіла плече прикладання сили тяги м'яза може змінитися у 3-4 рази. Беручи до уваги, що кожен рух відбувається при скороченні функціональної групи м'язів, закономірності біомеханіки роботи м'яза проявляється більш приховано (завуальовано), ніж у лабораторних дослідженнях чи експериментах з ізольованим м'язом.

Сила дії людини залежить власно від положення тіла, оскільки зі зміною кутів у суглобах відповідно змінюється довжина м'яза та плече їхньої дії. Досить складна ситуація спостерігається при рухах за участю багатосуглобових м'язів.

Експериментальні дані щодо максимальної сили м'язів, що згинають та розгинають стегна і гомілки, подані на *рис. 4.1*.

При куті  $90^\circ$  у ліктьовому суглобі м'язи згиначі програють у силі приблизно в 10 раз:

Суглобовий кут, °	180	160	140	120	100	80	60
Плече сили тяги довгої головки двоголового м'яза плеча, мм	11,5	16,8	26,9	37,4	43,5	45,5	39,2



*Рис. 4.1. Залежність максимальної сили згиначів та розгиначів стегна та гомілки від кутів у суглобах*

Існує певна залежність для кожного односуглобового руху між максимальною силою дії людини та суглобовим кутом. Коли ж у русі беруть участь багатосуглобові м'язи (переважна більшість випадків), ситуація ускладнюється, оскільки довжина задіяних у роботі м'язів залежить від кутів сусідніх суглобів. Наприклад, максимальна сила дії в процесі згинання колінного суглобу залежить від кута цього суглоба та від кута кульшового суглоба.

В процесі експериментальних досліджень виявилось, що при ексцентричному режимі м'язи можуть розвинути силу, яка більша за максимальну статичну силу в 1,2–1,5 разу (рис. 4.2).

При цьому, порівняно більше значення сили спостерігається при швидкому розтягуванні м'язів.

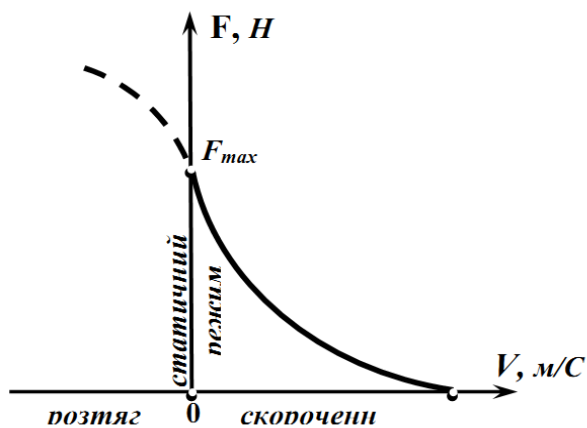


Рис. 4.2. Зв'язок між силою тяги і швидкістю скорочення м'язів в концентричному та ексцентричному режимах.

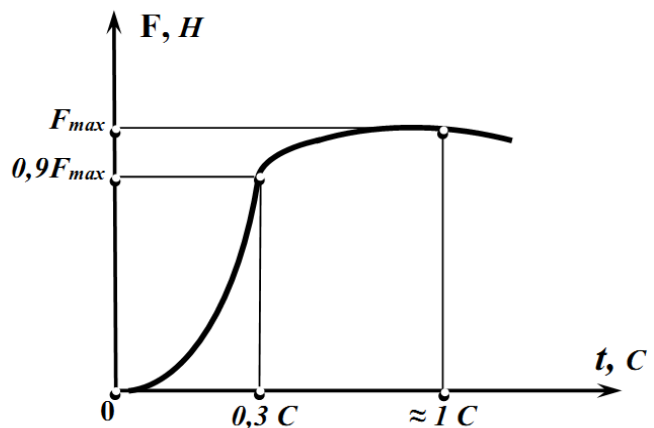


Рис. 4.3. Наростання сили тяги з плином часу

У певних позах – **критичних** – сили тяги м'язів через надто мале плече їхнього прикладання відносно конкретного суглоба може не бути достатнім для протидії зовнішнім силам (наприклад силам інерції, тяжіння, дії суперника тощо), що створюють більші обертальні моменти відносно цього суглоба, а це може призвести до травмування. Тому таких поз слід уникати.

**Топографія сили** являє собою співвідношення максимальної статичної сили різномісних функціональних м'язових груп. Люди,

які регулярно виконують одноманітні групи фізичних навантажень, що спрямовані на конкретні групи м'язів (професійна, спортивна діяльність тощо), в порівнянні з особами, які подібні навантажень не виконують, топографія сили змінена та залежить від спрямованості і характеру зазначених навантажень. Неправильна топографія сили може часто передшкоджати оволодінню раціональною технікою. Найбільшу силу тяги розвивають м'язи спини та, ніг які й виконують рухові завдання різного характеру.

#### ***4.2. Оцінювання біомеханічних аспектів швидкісно-силових якостей людини.***

Цікавою є залежність сили дії людини від швидкості руху частин тіла, яка залежить від швидкості скорочення м'яза. Якщо дослідити силу та швидкість скорочення окремих м'язів людини, забезпечивши кровопостачання, еферентацію та аферентацію ізольованого м'яза людини, то прослідковується залежність А. Хілла «сила-швидкість». При реєстрації сили дії, зумовленої сукупною активністю багатьох м'язів, картина дещо складніша. І якщо при скороченні односуглобових м'язів залежність Хілла, як правило, зберігається, то при роботі багатосуглобових м'язів, особливо на «краях» залежності, її характер суттєво змінюється, що зумовлене рефлексним прагненням запобігти травмуванню м'язів і сухожилків внаслідок інерційного удару (наприклад дії, що запобігають травмуванню кінцівок металників при метанні приладів з полегшеною масою).

Вираз «швидкість» вживається для характеристики інтенсивності руху тіла або точки, та як міра інтенсивності зміни інших показників, у тому числі й сили.

Сила певних функціональних м'язових груп при виконанні різних рухових завдань постійно змінюється, а від зміни швидкості сили часто залежить остаточний результат багатьох фізичних вправ (метання, біг, плавання тощо). Максимальну силу необхідно розвивати за мінімальний проміжок часу, оскільки окремі фази вправи тривають 0,25–0,09 с (відштовхування від опори в стрибках, бігу), а час, необхідний для досягнення максимальної сили,



знаходиться у межах 0,8–1,0 с (90 % загальної максимальної сили тяги м'яз досягає приблизно за 0,3 с).

Якщо спортсмен за певний проміжок часу може розвинути силу, яка перевищує аналогічний показник іншого спортсмена (див. рис. 4.5), то, незважаючи на те, що максимальна сила другого спортсмена може бути вищою, при виконанні швидких вправ перевагу матиме перший спортсмен в умовах «дефіциту часу».

Математично швидкість наростання сили буде виражатись співвідношенням  $dF/dt$  (рис. 4.5).

Для чисельної характеристики градієнта сили використовують наступні три показники:

- $t_{1/2}$  – час досягнення сили, що дорівнює половині від максимальної. Власне це і є градієнт сили;
- частка від ділення виразу  $F_{max}/t_{max}$ . Цей є швидкісно-силовий індекс, що дорівнює тангесу кута  $\beta$  (рис. 4.5);
- коефіцієнт реактивності, що застосовується у випадках переміщення не інших тіл (спортивні прилади), а власне тіло (долання підйомів, стрибки, підтягування тощо): це швидкісно-силовий індекс, поділений на масу тіла людини.

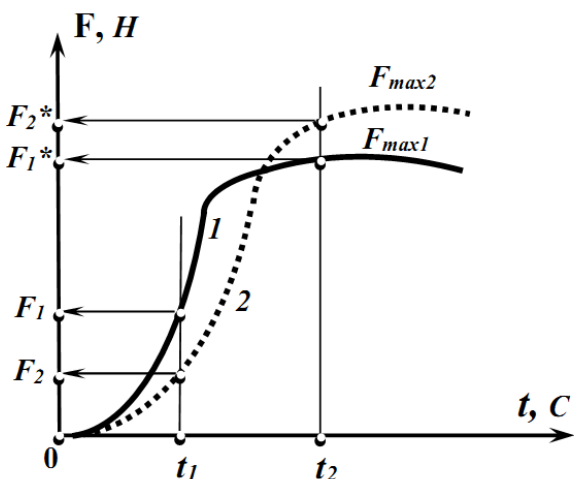


Рис. 4.4. Наростання сили тяги м'язів із плином часу у двох спортсменів.

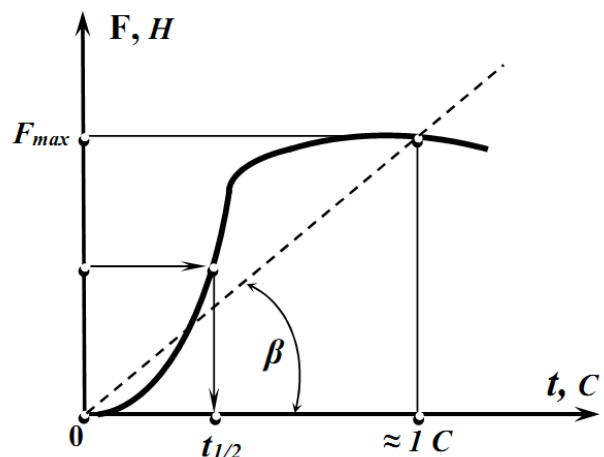


Рис. 4.5. Визначення швидкісно-силового індексу

### 4.3. Біомеханічні вимоги до спеціальних силових вправ.

При виборі силових вправ першочергово все слід впевнитися в тому, що будуть активні саме ті м'язи, силові якості яких необхідно тренувати. Навіть невелика зміна пози тіла може призвести до того, що в роботі активними стануть зовсім інші м'язові групи. Нижче наводяться значення суглобових моментів (Нм) в процесі виконання присідань спортсменом масою 75 кг із штангою 50 кг (за даними Плагенхофа):

Кути у суглобах (градуси)		Моменти сил у суглобах (Нм)		
Кульшовий	Гомілково-стопний	Кульшовий	Колінний	Гомілково-стопний
145	110	185	170	25
110	130	77	175	5
145	100	185	10	39
165	90	219	-20	20

Сьогодні для багатьох видів спорту складені електроміографічні карти які відображають активність м'язів при виконанні найчастіше застосовуваних фізичних вправ.

В процесі експериментальних досліджень було доведено, що менший приріст сили, але більше перенесення на вправи, до яких не готувалися спеціально, спостерігається при тренуванні м'язових груп у розтягнутому стані, і навпаки – при тренуванні коротких м'язів.

Вправи, які призначені для виховання силових якостей людини, необхідних при виконанні конкретної вправи, називаються спеціальними силовими вправами. З позицій біомеханіки такі вправи повинні володіти принципами динамічної відповідності за Ю.В. Верхошанським, тобто мають бути відповідні тій вправі, до якої готуються, за наступними критеріями:

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

- режимом роботи м'язів.

Наприклад, застосування для розвитку м'язів розгиначів ніг велосипедистів присідання на одній нозі чи піднімання з положення лежачи на похилій лаві вантажу, що прикріплений до стопи, для розвитку м'язів передньої поверхні стегна у спринтерів в легкій атлетиці тощо, частково або зовсім не відповідають наведеним вище критеріям, тому вони не дають потрібних змін у м'язових групах унаслідок слабого перенесення досягнутого ефекту на потрібні дії.

У своїй роботі спеціальні силові вправи тренери часто застосовують так званий «спосіб спряженої дії» навантаження. Застосовуються вправи, до яких здійснюється підготовка, зі збільшеним опором рухові (або штучними довантаженнями), наприклад, метання більш масивних снарядів, біг, стрибки, біг вгору, по піску, снігу чи ігри з додатковими вантажами на тілі, тощо.

Дуже вдалим є використання у тренувальному процесі розроблених у Київському національному університеті фізкультури і спорту спеціальних костюмів із вантажами, пропорційними масам окремих частин тіла людини та локалізованими максимально можливо до центрів їхніх мас. Вантажі пропорційно збільшують навантаження на конкретні м'язи, які долають інерцію частин тіла в процесі виконання швидких рухів і збільшену силу тяжіння. Такий костюм створює спортсмену умови гіпергравітації, в яких йому необхідно працювати.

#### ***4.4. Комплексна та елементарні форми прояву швидкісних якостей людини.***

***Швидкісні якості*** характеризуються умінням людини виконувати різноманітні рухові завдання за мінімальний проміжок часу для даних умов, але рухове завдання виконується нетривалий час і втома не настає.

В біомеханіці прийнято виділяти три елементарні форми прояву швидкісних якостей людини, які відносно незалежні одна від одної:

- прихований (латентний) час реакції;
- частота рухів;

- швидкість поодинокого руху (з мінімальним опором руху).

На практиці частіше зустрічається комплексна форма прояву швидкісних якостей. Наприклад, результат у спринтерському бігу залежить від часу реагування на стартовий постріл, та від швидкості зведення стегон у безопорній фазі, і від частоти кроків. Проте спортивний результат значною мірою залежить також і від витривалості, силових якостей, техніки виконання рухових дій тощо. Тому для практики біомеханічного аналізу найбільш зручними є власне елементарні форми прояву швидкісних якостей.

Якщо час моторної реакції можна скоротити за рахунок прийняття рішення та часу обробки інформації, а частоту рухів у процесі тренування можа значно підвищити (що пов'язане з формуванням раціональної міжм'язової координації та утворенням стійкої рухової навички), то швидкість окремого руху характеризується індивідуальними особливостями будови м'язової тканини (співвідношенням кількості швидких (тонічних) та повільних (фазичних) м'язових волокон), і в процесі тренувань її підвищити майже не вдається. Цей феномен може використовуватись при відборі юних спортсменів в процесі їх подальшої спортивної спеціалізації.

В біомеханіці розрізняють два види рухових завдань, що вимагають максимального прояву швидкісних якостей. По-перше, необхідно показати максимальну миттєву швидкість (ударні дії, стрибки, метання, тощо); по-друге, за мінімальний час потрібно виконати все рухове завдання (заплив, спринтерський забіг тощо). У цьому випадку результат буде залежити і від динаміки (розкладки) швидкості на дистанції.

Дослідженнями доведено, що здатність розвинути більшу швидкість на старті та її підтримувати на дистанції – відносно незалежні якості одна від одної, причому час досягнення максимальної швидкості однаковий для майстрів і новачків, у той час як значення їх максимальної швидкості у них різний.

У переважній більшості рухових завданнях, які виконуються на максимальній швидкості, розрізняють дві фази: стартовий розгін та відносну стабілізацію швидкості на дистанції (рис.4.6):

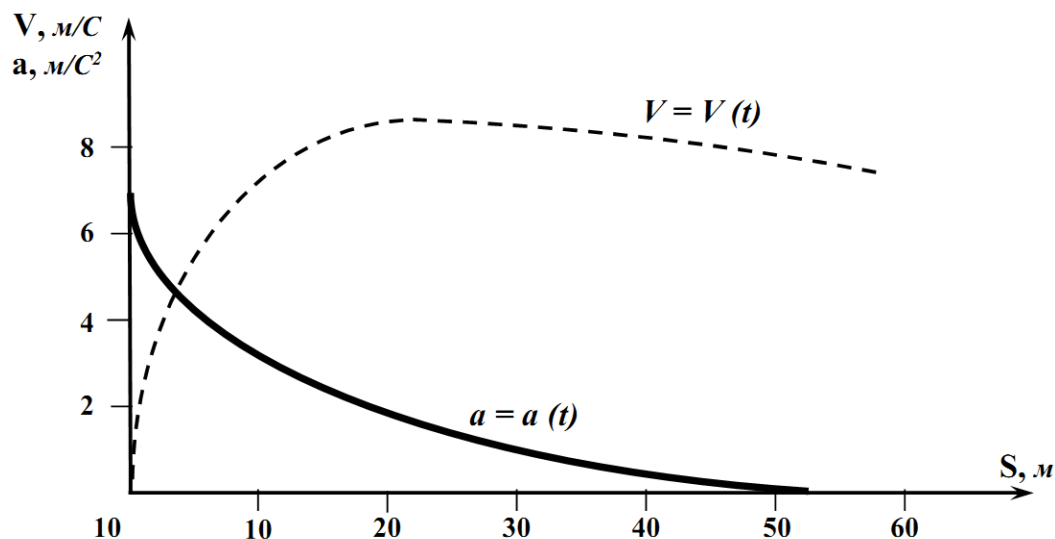


Рис. 4.6. Швидкість та прискорення в спринтерському бігу

У деяких рухових завданнях більш важливими є стартові прискорення (ігрові види спорту), в інших – дистанційна швидкість (стрибки у довжину), у третіх – поєднуються обидві складові (спринтерський біг).

Реєстрація спідограм (залежність швидкості пересування від пройденої дистанції) в тренувальних умовах та змаганнях дає змогу обирати найраціональну тактику проходження дистанції, виявляти слабкі сторони підготовленості, та використовуючи метод визначення прискорень кожного циклу, оцінювати силові можливості людини.

Серед елементарних форм прояву швидкісних якостей різних людей кореляція дуже мала. Наприклад, можна володіти дуже хорошою реакцією та повільні рухи і навпаки. Тому прийнято вважати, що елементарні форми прояву швидкісних якостей людини відносно незалежні одна від одної.

У рухах циклічного характеру швидкість пересування спортсмена безпосередньо вираховується за частотою рухів та шляхом, що долається за один цикл.

#### **4.5. Фази рухових реакцій. Види рухових реакцій. Антиципація як засіб передбачення розвитку ситуації.**

У рухових реакціях спортсменів розрізняють наступні фази:

- *сенсорна фаза* (від моменту подання сигналу – подразника – до перших ознак м'язової активності, які виявляються за електроміограмами);
- *премоторна фаза* (проявляється до початку руху частини тіла). Разом сенсорна та премоторна фази утворюють прихований (латентний) час реакції;
- *моторна фазу* (від початку до завершення руху, наприклад: удар по м'ячу, натиску на педаль гальма тощо).

Тривалість премоторної фази найстабільніша (25-60 мс), натомість сенсорна та моторна фази реакції в процесі систематичних тренувань можуть бути суттєво скорочені (особливо – сенсорна фаза).

Розрізняють *прості* та *складні* рухові реакції людини.

**Прості реакції** – це свого роду відповідь на наперед відомі (відомі) дії подразник (подразники), які раптово з'являється (наприклад стартові дії).

**Складні реакції** являють собою відповідь на різноманітні подразники різними діями (з необхідністю відповідного вибору), наприклад: реакція на зміни тактичної обстановки, прийняття тактичного рішення у складній ігровій ситуації, вибір напрямку та сили удару з врахуванням суперника тощо, а також реакція на об'єкти, що рухаються – РРО.

**Реакції простого вибору** (наприклад: реакція на один подразник та ігнорування інший), які відносяться до складних реакцій, сьогодні переважна більшість фахівців схильні об'єднати з простими, а відносити до складних рухових реакцій лише ті, що вимагають блискавичної обробки значного об'єму інформації про навколишню обстановку та вибір (чи навіть синтезу) з широкого арсеналу технічних дій найефективніших у конкретній ситуації.

Для успішності дій під час РРО необхідно мати відповідний мінімальний (критичний) час для спостереження за об'єктом

супроводу (відбувається автоматичний супровід потрібного об'єкту – суперник, м'яч, волан тощо – очима аж до повороту голови в зону ймовірного його перехоплення, яке відбувається приблизно через 120 мс після початку супроводу). При умові, якщо час слідкування за предметом взагалі малий або поворот голови слідом за об'єктом спостереження не встиг здійснитися, успішність таких дій різко знижується.

Величезне значення у складних реакціях має передбачення (*антиципація*) дій суперника, вірогідної зміни ігрової ситуації, очікуваної поведінки тощо, тому що у деяких випадках (наприклад при виконанні штрафних ударів) у воріт існують «мертві зони», з яких м'яч воротарем не може бути відбитий за умови початку його дії після моменту виконання удару згідно з правилами.

Звужування сутності поняття «антиципація» до «передбачення дій суперника» не розкриває його істинного значення. Проте антиципація дозволяє кваліфікованим гравцям досягти вершин у більшості видів людської діяльності: підсвідомо (свідомість постійно зайнята розв'язанням стратегічних і тактичних завдань, та часто і переробкою вербальної інформації) здійснюючи аналізуючи багатьох на перший погляд неголовних чинників, які приймають рішення про свої майбутні дії набагато раніше від молодих недосвідчених конкурентів, виконуючи незрозумілі їм випереджуючі дії, що дає можливість діяти надійніше, винахідливіше, несподіваніше, безпечніше й значно швидше. Власне антиципація дає досвідченому спортсмену можливість максимально повно проявити усі свої можливості, рухові якості та навички.

## Тестові завдання до теми 4 для самоперевірки знань

1. *Топографія сили – це співвідношення максимальної:*
  - a. сили різних функціональних м'язових груп
  - b. статичної сили різних функціональних м'язових груп
  - c. загальної сили різних функціональних м'язових груп
  - d. динамічної сили різних функціональних м'язових груп
  
2. *Співвідношення максимальної статичної сили різних функціональних м'язових груп називається:*
  - a. прояв максимальної сили
  - b. критична сила тяги м'яза
  - c. наростання сили м'яза
  - d. топографія сили
  
3. *Що входить до залежності прояву сили в односуглобовому русі:*
  - a. кутів суміжних суглобів
  - b. максимальною силою дії людини
  - c. кутом суглоба
  - d. максимальної сили ізометричного м'яза
  
4. *Для характеристики швидкості наростання сили не використовують показник:*
  - a. швидкісно-силовий індекс, поділений на масу тіла людини
  - b. швидкісно-силовий індекс, поділений на t виконання руху
  - c. градієнт сили
  - d. швидкісно-силовий індекс
  
5. *Для вирішення завдань в складних реакціях велике значення має:*
  - a. еферентація
  - b. аферентація
  - c. антиципація
  - d. всі відповіді правильні
  
6. *В рухових реакціях не існує \_\_\_ фази:*
  - a. компенсована
  - b. моторна
  - c. сенсорна
  - d. премоторна



7. В біомеханіці на прояв сили дії людини не впливає:

- a. величин сили
- b. прояв максимальної сили
- c. точка прикладання
- d. напрямок сили

8. До елементарних форм прояву швидкісних реакцій не відносять:

- a. частота рухів
- b. час навантаження на м'яз
- c. прихований час реакції
- d. швидкість поодинокого руху

9. Які дві складові вимагаються від рухових завдань для прояву максимальної швидкості:

- a. миттєва швидкість
- b. дистанційна швидкість
- c. техніка виконання вправи
- d. мінімальний час рухового завдання

10. Елементарні форми прояву швидкісних реакцій відносно одна одної:

- a. залежні
- b. незалежні
- c. взаємозалежні
- d. взаємнодоповнюючі

## ТЕМА 5

### БИОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ ВИТРИВАЛОСТІ, ГНУЧКОСТІ ТА СПРИТНОСТІ

#### 5.1. Ергометрія. Правило оборотності рухових завдань.

В біомеханіці **ергометрією** називається сукупність чисельних методів оцінювання фізичної працездатності людини.

Всі рухові завдання завжди задаються однією з трьох змінних:

- *інтенсивністю* (темп, швидкість руху, потужність роботи або величина сили);
- *обсягом* (імпульс сили, дистанція, виконана робота);
- *часом виконання*.

Ці показники, що використовуються в біомеханічних дослідженнях при вимірюванні фізичної працездатності людини, називаються **ергометричними**. Один із них *задається*, а два інші – *вимірюються*. Якщо величини часу, обсягу та інтенсивності відповідають одна одній, то, як експериментально доведено, при різних варіантах завдань завжди отримують однакові результати. Тому результати, отримані у завданнях одного типу, можна перенести на завдання іншого типу – так зване *правило оборотності рухових завдань*.

Наприклад, рухове завдання – біг 800 м – можна задати:

- як *дистанцію* для найшвидшого її проходження (*обсяг*);
- як певну *швидкість*, з якою слід долати дистанцію (*інтенсивність*);
- як подолання максимальної дистанції протягом *заданого проміжку часу*.

В усіх випадках за умови максимальної мотивації досліджуваного результату виконаного рухового завдання будуть однаковими: у першому випадку спортсмен покаже середню швидкість  $V$  і час  $t$ , у другому – подолає 800 м за час  $t$ , а в третьому – за заданий час  $t$  подає рівно 800 м із середньою швидкістю  $V$ .

Якщо людина здатна подолати дистанцію 3 км за 12 хв (середня швидкість –  $4,16 \text{ м/с}$ ), то при завданні пробігти максимальну

дистанцію за 12 хв. (тест Купера) вона пробіжить ті самі 3 км, а у випадку завдання бігти зі швидкістю 4,16 м/с вона зможе виконати завдання заданої інтенсивності 12 хв і при цьому подолає дистанцію 3 км. Отже, значення конкретний варіант завдання для ергометричних показників не має. Це і є правило оборотності рухових завдань.

В усіх видах спорту циклічного характеру залежність між рекордним часом та довжиною дистанції прямолінійна та може бути описана рівнянням:

$$D = a + b \times t_m [M],$$

де **D** – дистанція;  
**a** і **b** – коефіцієнти;  
**t<sub>m</sub>** – час.

Біомеханічна інтерпретація зазначених коефіцієнтів наступна: **a** – максимальна швидкість пересування, що досягається за рахунок аеробних джерел енергозабезпечення; **b** – довжина дистанції, що має бути пройдена за рахунок анаеробних джерел енергії.

Критичні швидкості та дистанція анаеробних резервів, розраховані за наведеним вище рівнянням, подано нижче:

Коефіцієнт <b>a</b> , м/с	Коефіцієнт <b>b</b> , м	Вид спорту
1,60	40	Плавання
11,2	199	Біг на ковзанах
13,5	206	Велосипедний спорт
5,92	240	Легкоатлетичний біг

## 5.2. Фази втоми та її біомеханічні прояви.

В біомеханіці під поняттям **втома** прийнято розуміти викликане фізичною роботою тимчасове зниження працездатності. Втома буває фізична, розумова, сенсорна, емоційна тощо. Дисципліна біомеханіка розглядає фізичну втому.

При м'язовій роботі втома має дві **фази**:

- *фаза компенсованої втоми*, яка характеризується тим, що людина, незважаючи на поступово зростаючу втому (сильне

потовиділення, неприємні больові відчуття у м'язах та внутрішніх органах, нестача кисню тощо) здатна підтримувати задану інтенсивність виконання рухового завдання за рахунок зміни техніки виконання, до яких відносяться: збільшення частоти та зменшення довжини кроків, включення у роботу додаткових «неекономічних» м'язових груп і поступове виключення з роботи «зайвих» в процесі виконанні заданого рухового завдання м'язів (наприклад тих, що сковують позу, мімічних), зниження опору руху за рахунок корекції пози (стійки, посадки), перебудови кінематичної структури рухових дій, зниження внутрішньоциклових коливань швидкості ЦМТ тощо. Усе це призводить до загального зростання енерговитрат організму з метою «розвантаження» робочих (основних) м'язових груп. Динамічний аналіз силових характеристик рухових дій у фазі компенсованої втоми в пререважній більшості випадків показує їхню досконалішу міжм'язову координацію та високу раціональність;

- *фаза декомпенсованої втоми*, при якій людина, незважаючи на всі свої намагання, не може зберегти вихідну інтенсивність рухового завдання; при цьому максимальні та середні зусилля зменшуються удвічі більше (швидко падає інтенсивність виконання вправи), розладнується біомеханічна структура (міжм'язова координація) рухових дій, істотно порушується загальна координація, настає локальна втома окремих м'язів та загальне закислення організму, людина поступово втрачає контроль над виконанням рухового завдання, порушується баланс продукції та утилізації лактату.

Військова, спортивна, та виробнича практика часто вимагає вибір таких режимів виконання рухового завдання, за яких фаза компенсованої втоми настає незабаром після початку виконання рухового завдання і переходить в декомпенсовану фазу відразу після її завершення (максимальне використання рухового потенціалу). Проте часто різні обставини не дають можливості у повному обсязі

використати руховий потенціал людини, чи – навпаки – призводять до передчасної декомпенсованої фази втоми.

### **5.3. Витривалість, як здатність протистояти втомі.**

Загальний та латентні показники оцінки витривалості.

Якщо різним особам запропонувати виконати одне і те саме рухове завдання, то ознаки втоми у них будуть проявлятися у різний час. Причиною цього є різні рівні витривалості. **Витривалість** – це здатність організму протистояти втомі. Люди, що володіють більшою витривалістю перша і друга фази втоми наступають значно пізніше.

**Абсолютний показник рівня витривалості** являє собою час, упродовж якого людина здатна підтримувати задану інтенсивність рухового завдання.

Враховуючи індивідуальний розвиток швидкісних та силових якостей певної особи, можна виявити, що для оцінювання витривалості у конкретному випадку більш доцільні відносні (латентні) показники:

- *коефіцієнт витривалості* (відношення часу подолання загальної дистанції до середнього часу подолання якогось її невеликого відрізка);
- *запас швидкості* являє собою різницю між середнім часом подолання однакових відрізків дистанції при проходженні всієї дистанції та кращим часом подолання одного з таких відрізків. Зі зменшенням дистанції при однаковій довжині відрізка (наприклад 100 м) запас швидкості за М.Г. Озоліним зменшується від 5 с – для 10 км до 1 с – для 400 м.

Латентні показники дозволяють встановити структуру підготовленості досліджуваного незалежно від його кваліфікації, віку, статі, виду рухового завдання тощо.

*Економічність м'язової роботи* в біомеханіці оцінюють за бруто (валовим-) коефіцієнтом, нетто-коефіцієнтом та дельта-коефіцієнтом:

- *брутто-коефіцієнт* являє собою відношення виконаної роботи (Дж) до витраченої людиною енергії (Дж);
- *нетто-коефіцієнт* являє собою відношення виконаної механічної роботи до витраченої енергії без врахування енерговитрат на основний обмін у робочій позі;
- *дельта-коефіцієнт* являє собою порівняння енерговитрат та величин виконаної роботи у двох ідентичних рухових завданнях при різній інтенсивності.

*Коефіцієнти економічності роботи* не в усіх випадках придатні для порівняння економічності виконання за характером різних рухових завдань, оскільки константи шляху – енерговитрати на подолання 1 м дистанції – можуть істотно відрізнятися.

Крім того, слід враховувати, що при тривалих фізичних навантаженнях обмежуючим чинником виступають м'язи, а не транспортні системи. Тому у подібних випадках досліджувани обирають такі режими роботи, які б забезпечили можливість завершення рухового завдання без локальної втоми задіяних у роботі м'язів або закислення усього організму всупереч зниженню загальної економічності рухових дій.

#### **5.4. Аспекти біомеханічної енергетики фізичних вправ.**

При вивченні біоенергетики рухових дій доцільно визначити джерела енергії для виконання фізичних вправ та окреслити, на що ця енергія витрачається.

Джерела енергії можуть бути внутрішніми і зовнішніми. Складовими *зовнішніх* джерел енергії біомеханічної системи «людина» відносяться:

- потенційна енергія біомеханічної системи у полі сили тяжіння  $E = m \times g \times h$  [Дж], де **h** – висота підйому ЦМТ відносно досліджуваного рівня. Подібне джерело енергії використовують при спуску з гори на велосипеді, мотоциклі, автомобілі, лижах, санках чи бобах тощо, а також у планеризмі, у стрибках із парашутом, у легкоатлетичному кросі;
- енергія механізмів або тварин (коні, механічні двигуни, собаки);

- енергія інших осіб (фігурне катання, акробатичні групові вправи, єдиноборства, парні велосипедні гонки, страхування в процесі тренувань тощо);
- енергія руху середовища (течія води, сила вітру).

До складу *внутрішніх* джерел енергії входять два види джерел внутрішньої продукції енергії: аеробні та анаеробні. Найбільша величина енергії, яка звільняється в процесі виконанні м'язової роботи, визначається об'ємами кисневої ємності та максимального кисневого боргу (добутку часу роботи на швидкість споживання кисню).

Сумарна енергія:

$$E_{\Sigma} = A + B \times t_{\max},$$

- де  $A$  – анаеробна енергопродукція (кал/дж),  
 $B$  – потужність аеробної продукції енергії (кал/хв, Вт);  
 $t_{\max}$  – гранична тривалість роботи (год).

Представлена математична залежність справедлива лише у загальних рисах. Насправді вона ускладнюється додатковими складовими чинниками, наприклад, вірогідністю локальної втоми окремих м'язових груп, сповільненням утворення аеробних процесів на початку м'язової роботи, неоднаковою економічністю м'язової роботи різної тривалості тощо).

*Витрати енергії* організму людини здійснюються у кількох напрямках, причому питома вага енерговитрат буде неоднаковою і залежить від багатьох чинників, в тому числі й від параметрів рухової діяльності:

- енерговитрати на переміщення частин тіла (в кожному циклі рухів необхідно гальмувати й розганяти, а також піднімати й опускати певні частини тіла, так як наприклад, при ходьбі, бігу, плаванні, веслуванні, їзді на велосипеді тощо). При цьому, варто враховувати неповну рекуперованість та інтеркомпенсованість м'язових джерел енергії, у кожному циклі рухів втрачається деяка частка енергії біомеханічної системи, яка в процесі

виконанні вправ високої інтенсивності може досягати 90% від загальних енерговитрат людини;

- витрати енергії на виконання зовнішньої механічної роботи (подолання сил тяжіння та сил інерції, сил опору рухові, витрати на згасаючі коливання частин тіла, спорядження), які інколи можуть досягати 85% від загальних енерговитрат;
- витрати енергії на забезпечення фіксуючої, утримуючої та зміцнюючої роботи м'язів, а також енерговитрати на роботу м'язів, витрати енергії на які можуть досягати 5-20%;
- витрати енергії на тертя та коливання внутрішніх органів і тканин.
- витрати енергії на основний обмін (лежачи – найменший та стоячи – найбільший);

Енерговитрати різних людей на виконання однакових рухових завдань різні. Наприклад, при плаванні з однаковою швидкістю на дистанції 200 м (час 196 с) потреба споживання кисню у плавців-третьорозрядників в середньому складає 6480  $\text{мл}/\text{хв}$ , а у майстрів спорту – удвічі менше, лише 3120  $\text{мл}/\text{хв}$ .

### **5.5. Критерії біомеханічної економізації спортивної техніки.**

З точки зору біомеханіки, існують два напрямки підвищення економичності рухових дій:

- зниження величини енерговитрат кожного циклу;
- рекуперація енергії (перехід енергії із кінетичної фракції в потенціальну і навпаки).

Перший шлях реалізується завдяки:

- усуненням зайвих рухів та зайвих скорочень м'язів (наприклад м'язів обличчя, м'язів, що надто «сковують» позу, тощо);
- зменшенням зовнішнього опору в процесі руху (опір повітря, води, снігу, сил тертя);
- зменшенням ударних навантажень, що призводять до коливань та вібрацій в елементах обладнання та спорядження у тканинах і органах людини;



- зменшенням внутрішньоциклових коливань швидкості;
- вибір оптимального співвідношення між швидкістю та силою скорочення основних функціональних м'язових груп.

Другий шлях реалізується зменшенням енерговитрат на переміщення частин тіла, яких неunikнути в процесі виконання практично усіх рухових дій. Фактичні енерговитрати на переміщення кінцівок та інших частин тіла враховують та додають у загальну величину виконаної механічної роботи в процесі оцінювання її економічності. Коефіцієнт рекуперації енергії засвідчує, яка частка кінетичної енергії окремих частин тіла переходить у потенціальну та навпаки, а яка губиться безповоротно у кожному циклі рухів.

### **5.6. Біомеханічні особливості пасивної та активної гнучкості.**

Гнучкістю прийнято називати здатність виконувати рухи в суглобах з максимальною амплітудою. Стосовно більшості суглобів більш вдалий термін «рухливість у суглобі». Для оцінювання гнучкості використовуються гоніометричні показники.

Відрізняють *пасивну та активну гнучкість*.

*Пасивна гнучкість* досягається найвищою амплітудою рухів у суглобах за рахунок зовнішніх сил (сили інерції, ваги тіла та окремих його частин, дії іншої кінцівки, партнера, тренера тощо).

*Активна гнучкість* – це здатність виконувати рухи у будь-якому суглобі з максимальною амплітудою за рахунок активності м'язів, які проходять через даний суглоб (наприклад амплітуда колових обертів руками).

*Дефіцит активної гнучкості* – це різниця між пасивною та активною гнучкістю, яка визначається залежністю «сила тяги – довжина вільного м'яза», а точніше, найбільшою силою тяги, яку може проявити м'яз при своєму максимальному скороченні. Якщо ця сила недостатня для наступного взаємного переміщення з'єднаних суглобом частин тіла, тоді говорять про активну недостатність м'яза. Дефіцит активної гнучкості може бути зменшений за рахунок силових вправ із великою амплітудою рухів.

У певних випадках (біг на ковзанах, стрибки на лижах із трампліна, ривок штанги (у низькому сиді), переважно в усіх видах плавання) показники активної гнучкості при згинанні стопи повністю пов'язані з амплітудою змагальних вправ, і як наслідок, спортсмени з високими показниками гнучкості мають перевагу.

Не варто вимірювати гнучкість лінійними показниками без врахування індивідуальних антропометричних особливостей конкретної особи: краще безпосередньо чи за матеріалами оптичної реєстрації кінематики рухових дій визначити кути в потрібних суглобах.

### ***5.7. Біомеханічне обґрунтування спритності.***

Рівені розвитку певних рухових якостей – провідний із чинників, які зумовлюють можливості людини впевнено оволодіти технікою конкретних рухових дій, де необхідні якості проявляються більшою мірою. Доведено, що схильність до розвитку певних рухових якостей обумовлена спадково. Це стосується витривалості, відносної сили, гнучкості, швидкості поодинокого руху, простої рухової реакції, стрибучості, координації простих за структурою рухів, здатності зберігати стійку рівновагу тіла в статиці та в динаміці.

Координація рухів у значною мірою визначає успішність оволодіння технікою складних рухових завдань (бар'єрного бігу, гімнастичних вправ, боксу тощо). Ступінь початкового розвитку гнучкості – основний показник для оволодіння переважною більшістю видів спорту. Тривалість часу простої рухової реакції – один із головних показників успішного навчання техніки акробатичних вправ. Рівень розвитку швидко-силових якостей спортсмена важливий для техніки фігурного катання, а швидкість переміщення – для футболу та спринтерського бігу. Спритність зумовлює здатність оволодівати технікою гри у всіх ігрових видів спорту.

Досліджуючи структуру спритності, можна зробити висновок, що для максимальної реалізації своїх потенційних швидкісних і силових можливостей, витривалості та гнучкості людина повинна

володіти рядом відповідних якостей, до яких належать рівень розвитку специфічних відчуттів, інтелектуальний розвиток тощо. Специфічні відчуття пов'язані з індивідуальними особливостями сенсорики – зорового аналізатора, тактильної та м'язово-суглобової чутливості, оцінки просторових характеристик, вестибулярної та вестибуло-вегетативної реакції, мікроінтервалів часу тощо.

Специфічні якості спортсменів визначають уміння швидко оволодівати новими діями, точно керувати та диференціювати різні характеристики виконуваних дій, комбінувати та імпровізувати. Виявлено, що дівчата, які краще володіють відчуттям часу, успішніше навчаються техніки спортивної гімнастики. Застосування спеціальних вправ для розвитку відчуття часу, підвищують швидкість простої реакції, що надає перевагу при оволодінні деякими складнокоординаційними діями. Гострота, глибина різкості і периферійність зору – передумова досягнення успіху при оволодінні технікою єдиноборств та спортивних ігор. Здатність точно визначати відстань до певних об'єктів необхідна представникам багатьох професій, у тому числі й спортсменам, а обмеженість периферійного зору негативно відбивається на виконанні рухових завдань практично будь-якого характеру.

На якість засвоєння техніки складнокоординаційних дій певною мірою впливає рівень інтелектуального розвитку людини, однак його роль у розв'язанні рухових завдань явно відрізняється від розв'язування пізнавальних завдань. Так, обсяг знань, яким людина здатна оволодіти, – одна із ознак її інтелектуального розвитку, у той самий час, коли кількість різноманітних рухових навичок (умінь), якими вона володіє, не дає вагомих підстав для категоричного ствердження про рівень інтелекту людини. Здатність оволодіти технікою елементарних дій не вимагає високого рівня інтелекту, а вивчення техніки складнокоординаційних рухових дій показує, що на рівень досконалості оволодіння нею ступінь розвитку інтелектуальної сфери має конкретний вплив.

Значну роль при цьому відіграють:

- спостережливість – здатність утримувати в полі зору різні об'єкти;
- швидкість і винахідливість мислення (здатність адекватної та своєчасної рухової орієнтації у мінливих ситуаціях, їх критичність та точність асоціацій);
- здатність концентрації уваги на рухових діях, які виконуються, рухових відчуттях, які при цьому виникають, та ситуації, супутні цим діям;
- здатність уявляти рухові дії ще перед їх виконанням;
- вміння стежити за чіткістю своїх дій при керуванні ними.
- точність сприйняття (схоплення);

При навчанні рухових дій вирішальне значення має пам'ять – здатність запам'ятовувати вигляд рухів, які вивчаються, правильний порядок їх відтворення, ситуації, що є типовими для даної дії, а ще більше – *рухова пам'ять* – здатність чітко та безпомилково керувати своїм руховим апаратом, а саме м'язами, зберігаючи відчуття від різноманітних характеристик виконаних рухових дій.

Чіткість та гострота кінестезійних відчуттів зумовлює ступінь розвитку координаційних можливостей людини. Залежно від розвитку кінестезійної чутливості можна говорити про так звану *«рухову інтелігентність»*. Особи з максимально розвиненими руховими відчуттями швидше засвоюють техніку складних рухових дій та виправляють допущені неточності. Їх рухи більш координовані, спритні, «розумні».

Точна диференціація зусиль засвоюється лише у результаті багаторазових повторень. Часто після декількох тижнів занять у людини раптово засвоюється чітке уявлення про спосіб виконання певної дії, і стверджує, що лише тепер до кінця зрозуміла, чіткість послідовності дій. З перших етапів навчання техніки рухової дії увагу учнів треба зосереджувати не лише на структурі рухових дій, що вивчаються, але й на тих відчуттях, які ці дії викликають у певних частинах тіла, групі м'язів, суглобах або у тілі загалом. Неточність інформації, яка отримується за рахунок кінестезійних відчуттів, виникає у кваліфікованих спортсменів через загальмування

внутрішньої уваги, яка може наступити в результаті гострих емоційних перевантажень, втоми, внесення до структури фізичних вправ, що виконуються, нових деталей. Розвинута кінестезійна чутливість притуплюється і в результаті довготривалих перерв у заняттях. Ступінь інформативності кінестезійних відчуттів значною мірою залежить від рухового досвіду.

Задача тренера-педагога полягає в тому, щоб розвинути у свого підлеглого не лише «відчуття руху» у певному виді рухової діяльності, але й, залежно від його спеціалізації, також специфічні відчуття: величини зусиль, простору (дистанції), відчуття часу (відчуття швидкості), дії середовища (льоду, повітря, снігу, води, приладу, суперника чи партнера м'яча, тощо).

Таким чином, можна сформулювати визначення такої важливої рухової якості людини, як спритність:

**Спритність** являє собою здатність людини точно, швидко, доцільно, економно і винахідливо – найбільш досконало – виконувати рухові завдання (особливо технічно складні, що виникають несподівано). Переконливим показником рівня розвитку спритності виступає ступінь відповідності рухових дій навколишній ситуації.

У структурі спритності виділяють:

- *уміння диференціювати та керувати різними характеристиками рухових дій*, яке проявляється при варіації часових, силових, просторових та просторово-часових характеристик рухових дій, забезпечуючи при цьому їх плавність чи збереження рівноваги. Ці здатності достатньо важливі практично в усіх видах рухової діяльності, незалежно від їх багатогранності та складності;
- *необхідність у складнокоординованих рухових діях* – де рухова діяльність характеризується достатньо широкою різноманітністю та підвищеною координаційною складністю;
- *здатність імпровізувати та комбінувати* – суттєвий чинник, який визначає результат рухових дій у складних взаємодіях між

членами команди та між конкретними індивідами, а також у випадках подолання дистанції в постійно зміній обстановці.

Більший рівень розвитку спритності дозволяє людині на високому раціональному рівні використовувати власний обсяг рухових якостей та рухових навичок – швидкість, сила, витривалість, гнучкість, та забезпечувати необхідну варіативність рухів у конкретній обстановці виконання різноманітних фізичних вправ.

Спритність людини залежить від:

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

### ***5.8. Лабораторний та природний способи кількісного оцінювання рівня розвитку спритності.***

У практиці використовуються два способи оцінки спритності: лабораторний і природний.

*Лабораторний спосіб* полягає у кількісному та якісному оцінюванні правильності та оперативності відповідей людини на оцінені та завчасно підготовлені експертами рухові ситуації, які змодельовані на макеті, тренажері, на екрані, у вигляді схем, рисунків тощо. Для різноманітних видів людської діяльності розроблені пакети прикладних програм за допомогою яких проводяться експрес-оцінювання спритності людей за допомогою відповідних програмних забезпечень, які мають значні переваги при повторних контролях, так як отримані нові результати легко можна порівняти з попередніми.

*Природний спосіб* полягає в оцінюванні кількості, успішності та правильності технічних і тактичних прийомів, які виконав досліджуваній спортсмен упродовж експерименту (протягом гри, поєдинку тощо). З цією метою використовуються спеціально розроблені способи стенографування виробничих, змагальних,

побутових або інших досліджуваних рухових дій та методики їх оцінювання.

Більш об'єктивним є лабораторний спосіб, оскільки дає можливість порівняти рівень розвитку спритності різних досліджуваних в однакових умовах і повторювати експеримент багаторазово, проте в лабораторних умовах надзвичайно важко об'єктивно змоделювати реальну обстановку діяльності з усіма її особливостями, та дати змогу обстежуваному реагувати на поставлене завдання іншим (не вербальним чи письмовий) способами.

Розроблені лабораторні методики оцінювання специфічних можливостей людини передбачає проведення низки порівняно простих в організації тестів, що пройшли успішну апробацію в лабораторних умовах спортсменів найвищої кваліфікації.

Одержані результати заносяться у розроблені протоколи стандартизованих форм та оцінюються за визначеними семибальними шкалами окремо для кожного випробовування, а в кінці обстеження розраховується загальна оцінка та фіксується висновок експерта, що здійснював тестування.

Наведені обстеження давно застосовуються як обов'язкові для представників небезпечних для навколишнього оточення професій (пілоти, водії, оператори, диспетчери та ін.), а також для спортсменів. Статистично імовірно зниження аварійності та травматизму у виробництві, на транспорті, та спорті – найкращий доказ доцільності широкого впровадження таких досліджень.

### ***5.9. Значення специфічних якостей для техніки виконання фізичних вправ.***

В процесі дослідження структури спритності людини, можна дійти висновків, що для повної реалізації власних потенційних швидкісних і силових можливостей, витривалості та гнучкості людина повинна володіти рядом якостей специфічного характеру, які визначаються умінням швидко оволодівати новими рухами, діями,

вправно диференціювати та керувати різними характеристиками рухового потенціалу, з можливістю комбінувати та імпровізувати.

Значною мірою ці уміння зумовлені загальним і найкраще опанованим (для спорту – змагальним) обсягом техніки та оперативністю обробки інформації, прийняття правильних рішень в умовах дефіциту часу, засвоєння нових завдань та прогнозування розвитку ситуації за багатьма зовнішніми об'єктивними ознаками (антиципація в її широкому розумінні). В таких випадках особливого значення набуває рівень розвитку специфічних просторових відчуттів, часу, швидкості, пози, навантаження, середовища, загального стану організму. В побуті такі відчуття прийнято називати «відчуттями» зняряддя (педалі, весла, опори, штанги), середовища (води, снігу), партнера тощо.

В процесі регулярного виконання певних специфічних рухових завдань органи та системи людини, які відповідають за виконання вказаних вище функцій за нормальних умов не пристосовані до виконання інших, не стандартних, дій, адаптуються (включаючи і вегетативні можливості, і систему керування).

Проте педагогів завжди цікавить більш глибока структура можливостей та підготовленості людини з метою підвищення ефективності спортивного відбору, прогнозування результатів рухової діяльності та індивідуалізації рухового вдосконалення. У цьому контексті цікаво оцінити специфічні можливості людини не лише у звичних (штатних) для неї умовах виконання рухових дій (рівень абсолютних адаптованих можливостей), а й у стандартних та абсолютно нових ситуаціях, що дає можливість визначити потенційні можливості конкретної особи при подальшому вихованні та вдосконаленні її специфічних здібностей, здійснювати об'єктивний контроль та прогнозування, відбір на різних етапах підготовки.

Аналізуючи різноманіття та багатогранність перелічених специфічних якостей людини, їх можна поділити на кілька груп за психологічними та біомеханічними механізмами реалізації.

Найцікавіші серед них:



1. Можливість *точно визначити відстань* до конкретних об'єктів та *вектор швидкості* їхнього руху – рівень розвитку стереоскопічного (бінокулярний) зору – це підстава для оцінювання відстані до різноманітних перешкод на шляху, сусідніх транспортних засобів, до межі майданчика, до воріт, планки, суперника або партнера тощо, а також її зміну (вектора швидкості руху об'єктів, у т.ч. і власного тіла (його руху), відносно обраної системи відліку).

2. Здатність *швидко розуміти, осмислювати, і опановувати новими для обстежуваного завданнями*: точно, швидко, стабільно протягом тривалого часу і стабільно вправно реагувати на подразники різного характеру, а також концентрувати і розподіляти увагу на різноманітних явищах, предметах та їх поведінці. Слід зауважити, що значною мірою це зумовлене рівнем розвитку інтелекту обстежуваного.

3. «*Відчуття часу*» – уміння вправно оцінювати часові інтервали різної тривалості а також їх чергування (часовий ритм) – описується у спеціальній літературі, порівняно легко контролюється у специфічних та стандартних умовах і піддається тренуванню. Для певних видів спорту та конкретних ситуацій розроблені та детально описані методики і розроблені шкали оцінок точності відчуття часових характеристик та запропоновані різні варіанти підготовки для поліпшення цих можливостей.

4. *Точність кінестезійного сприйняття*, який дозволяє об'єктивно оцінювати та відтворювати власну позу (кути в суглобах) і вектори зусиль, які прикладаються (у т.ч. інерції та сили тяжіння, що діють на окремі частини тіла, дію людини на опору, опір середовища, предмети, інших людей). Враховуючи малу кількість у будові організму людини потрібних для цього рецепторів («органи Гольджі» на суглобових поверхнях та тактильні рецептори) і вагоме значення тактильно-силової інформації для вдалого керування руховими діями, кінестезійні можливості відіграють важливу роль у структурі спритності.

### 5.10. Визначення рівня розвитку стереоскопічного зору.

Оцінювання рівня стереоскопічного зору здійснюється за допомогою спеціального стереометра (рис. 5.1). Обстежуваний здійснює спостереження через відповідне віконечко за трьома стрижнями однакової товщини, встановлюються попередньо розсунуті лівий і правий рухомі стрижні на одну відстань від очей із нерухомим центральним стрижнем. Пропорції та розміри усіх деталей стереометра повинні суворо відповідати стандартним.

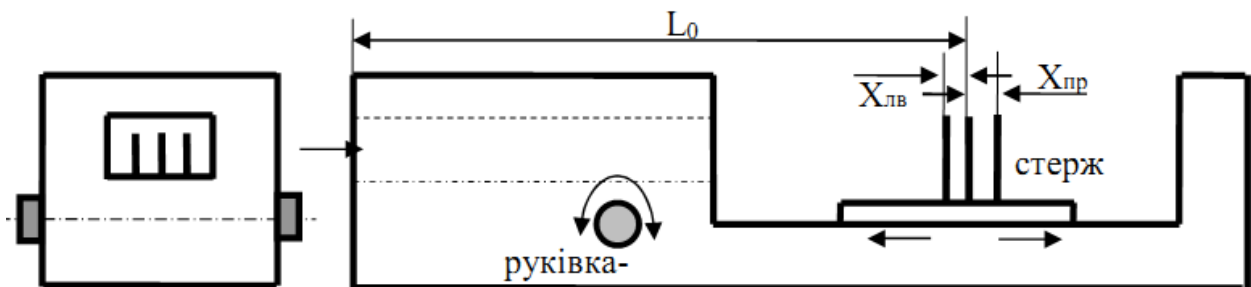
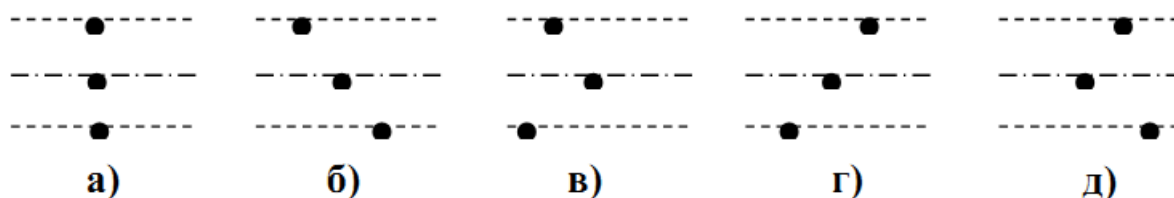


Рис. 5.1. Стереометр для оцінювання рівня розвитку стереоскопічного зору

Завдання тесту: здійснюються три спроби з різними вихідними положеннями лівого та правого стрижнів відносно центрального (рис. 5.2). Оцінювання стереоскопічного бачення здійснюється за сумою відхилень обох стрижнів у трьох спробах за статистично розрахованою шкалою:

дуже високо	7 балів	менше 0,5
високо	6 балів	від 0,5 до 3,5
вище середнього	5 балів	від 4,0 до 5,0
середнє	4 бали	від 5,5 до 8,0
нижче середнього	3 бали	від 8,5 до 9,5
<i>група ризику:</i>		
низько	2 бали	від 10,0 до 12,5
дуже низько	1 бал	більше 13,0



*Рис. 5.2. Варіанти взаємного розташування стрижнів стереометра*

Час експерименту – необмежений. Занадто довгий час роботи може свідчити про нерозуміння поставленого перед досліджуваним завданням, поганий зір досліджуваного або більш серйозні відхилення; причому такий факт обов’язково фіксується у протоколі обстежень.

### **5.11. Визначення рівня розвитку вміння відчувати величину сили.**

Основне завдання тесту полягає в послідовній силовій дії людини на робочу зону спортивного приладу, динамометр тощо за наступною схемою:

- самоконтроль шкали приладу про величину прикладених зусиль різного рівня;
- незначне взірцеве зусилля без самоконтролю шкали приладу та наступні п’ять спроб без контролю;
- повторення попереднього пункту із значним взірцевим зусиллям;
- повторення попереднього пункту із середнім взірцевим зусиллям.

*Приклад організації тестування кінестезійних можливостей водіїв:*

Виконання тесту індивідуально без врахування часу.

Досліджуваний займає зручне положення на сидінні, встановленого перед жорстко зафіксованою педаллю гальма і натискає на педаль, контролюючи результат стрілки контрольного манометра з шкалою 10 атм з ціною поділки 0,2 атм.

Далі за командою досліджуваний правою ногою натискає на педаль, встановлюючи власний зразок слабкого зусилля (імітація підгальмовування), а за наступними командами, п’ятиразово

натискає на педаль, із намаганням точно відтворити зразок, не спостерігаючи за манометром і на записи у протоколі. Експерт після кожного натискання досліджуваного на педаль фіксує у протоколі показання пасивної стрілки манометра (тобто максимальний показник відхилення робочої стрілки під час натискання) з точністю до 0,1 атм у протоколі тесту.

Експеримент повторюється в режимі сильного зусилля (імітація екстреного гальмування), а також середнього зусилля (імітація робочого гальмування) правою ногою, а потім за таким же принципом виконується лівою ногою.

Наведений тест характеризує вміння водія точно диференціювати та відтворювати задані зусилля, що дуже важливо для точності й ефективності керування транспортним засобом.

Оцінювання кінестезійних можливостей проводиться за максимальним відхиленням середнього зусилля від еталонного згідно з відповідною статистично обґрунтованою шкалою:

дуже високо	7 балів	менше 0,5
високо	6 балів	від 0,5 до 3,5
вище середнього	5 балів	від 4,0 до 5,0
середнє	4 бали	від 5,5 до 8,0
нижче середнього	3 бали	від 8,5 до 9,5
<i>група ризику:</i>		
низько	2 бали	від 10,0 до 12,5
дуже низько	1 бал	більше 13,0

### **5.12. Оцінювання властивостей уваги.**

Оцінювання властивостей уваги здійснюється за допомогою *теста Поппелройтера*, який дозволяє кількісно оцінити навичку людини поділяти і концентрувати увагу (надзвичайно важлива навичка для успішного керування своїми діями).

*Завдання тесту:* протягом дев'яносто секунд необхідно відшукати якнайбільше з 32 послідовних цифр, починаючи від 43, випадково розміщених у центрах квадратів спеціальної таблиці (див.

рис. 5.3), не пропускаючи жодної з цифр (тобто: 43, 44, 45, 46, 47 . . . 74, 75, 76) та не допускати помилок, оскільки при оцінюванні уваги в тесті береться лише кількість правильних варіантів відповідей до першої помилки.

Умови проведення тесту: тест можна виконувати індивідуальним (до трьох осіб) або груповим (понад три особи) способами. У першому варіанті обстежувані працюють з двосторонніми індивідуальними таблицями Поппелройтера формату А-4, у другому варіанті – з єдиною двосторонньою таблицею Поппелройтера А-1 формату, яка вивішується на висоті 1,5–2 м і на відстані 1,5–3 м від обстежуваних. В процесі виконання тесту кожен обстежуваний заповнює і підписує спеціальний індивідуальний протокол, у якому замість основної цифри, розташованої в центрі квадрата таблиці, присутня службова цифра, яка розташована у правому нижньому куту квадрата.

		48 46	59 60	53 62	44 60	
63 64	71 50	46 73	50 65	62 72	73 63	
51 70	74 47	66 52	43 53	57 68	67 71	
55 56	61 43	68 51	60 69	54 45	47 44	
70 59	65 58	72 67	49 61	64 48	56 57	
	58 55	52 74	69 49	45 54		

Рис. 5.3. Таблиця Поппелройтера для основного тесту

На початку тесту обстежувані виконують пробний тест без врахування часу за малою таблицею (рис. 5.4): потрібно по черзі

відшукати послідовні цифри (починаючи з 11 і закінчуючи 22) у центрах квадратів, які розташовані випадково у малій таблиці (основні цифри), записуючи замість основних у протокол тесту службові цифри з відповідних квадратів, які розташовані у правому нижньому куті.

*Мета тренувального тесту* – чітке засвоєння обстежуваними завдання. У необхідних випадках експерт пояснює умови виконання тесту індивідуально, наводить приклади тощо. До розв'язання основного тесту обстежувані приступають лише у випадку чіткого розуміння завдання. Обстежувані з пониженою гостротою зору можуть працювати в контактних лінзах або в окулярах.

Основний тест виконується протягом 90 секунд, час за секундоміром фіксує експерт. Переконавшись у готовності всіх обстежуваних до виконання тесту, експерт перевертає таблицю з тренувальним тестом на зворотній бік і показує розташування початкової цифри «43». В процесі виконання основного тесту обстежувані не повинні голосно повторювати цифри, переписувати результати один в одного або списувати із шпаргалок, заважати один одному, робити позначки на тестовій таблиці; забороняється писати поряд із потрібною службовою цифрою основну, яку обстежуваний відшукав. У випадку помилки чи описки дозволяється закреслити неправильний запис та написати поряд правильний або виконати однозначне виправлення. В процесі виконання основного тесту експерт не ходить по приміщенню, не заважає обстежуваним, не розмовляє з ними, нічого не підказує, не повідомляє, скільки залишилося часу до кінця тесту, та рівно через 90 секунд негайно перевертає таблицю на інший бік і збирає протоколи обстежуваних.

	15 33	21 16	
17 21	11 36	18 14	13 31
14 40	19 24	16 36	20 29
	22 17	12 41	

Рис. 5.4. Мала таблиця Поппелройтера для пробного тесту

Оцінювання тесту проводиться за кількістю правильних відповідей до першої помилки за наведеною нижче семибальною шкалою.

У випадку великої кількості правильних відповідей (понад 20) та допущеній помилці на відповіді з 1-ї до 12-ї обстежуваного експерт може допустити до повторного основного тесту, проте не більше одного разу.

*Шкала оцінок* результатів тесту Поппелройтера (кількість правильних відповідей до першої помилки):

дуже високо	7 балів	понад 32
високо	6 балів	від 27 до 31
вище середнього	5 балів	від 23 до 26
середнє	4 бали	від 16 до 22
нижче середнього	3 бали	від 12 до 15
<i>група ризику:</i>		
низько	2 бали	від 5 до 11
дуже низько	1 бал	менше 5

### 5.13. Оцінювання здатності швидко оволодівати новими рухами та швидко засвоювати нові завдання.

Здатність швидко та вправно оволодівати новими руховими завданнями та новими руховими діями при відсутності відповідної апаратури можна оцінити за тестом «R-W», який вимагає від обстежуваного швидкого зрозуміння нового завдання (засад розкодування та перекодування нової інформації згідно зі схемою – максимально – 64 варіанти), а також точної, швидкої та безпомилкової роботи протягом 50 секунд. Тестування може проводити індивідуально або з групою обстежуваних.

Умови виконання тесту: перед виконанням тесту обстежувані ознайомлюються із способом перекодування інформації: зміна положення прозорого кола відносно чорного кола, розташованих в одному квадраті, а саме: «вище», «нижче», «лівіше» або «правіше», представлена у вигляді «V» на хрестоподібній схемі (див. рис. 5.5):

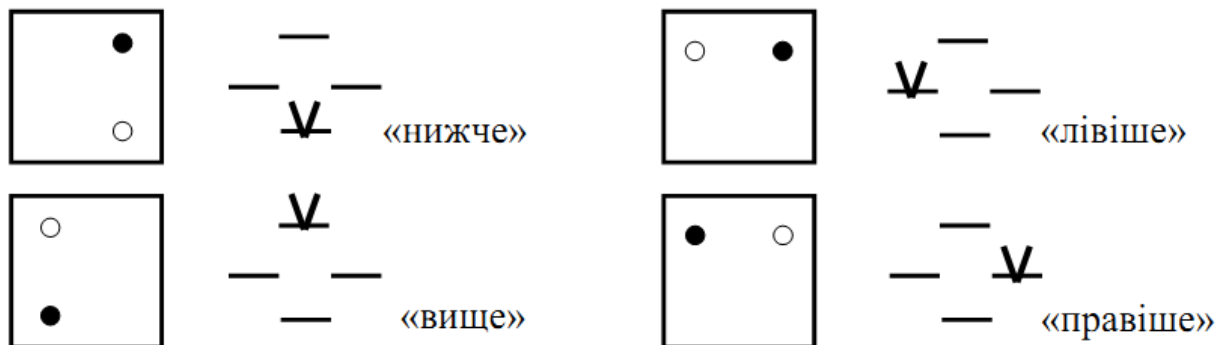


Рис. 5.5. Схема перекодування інформації про положення прозорого кола відносно чорного кола (тест «R-W»)

Перет початком тесту обстежувані підписують видані їм бланки з варіантами та виконують ознайомчий тест – перекодовують без урахування часу 32 варіанти схеми взаємного розташування прозорого і чорного кола (сторінки 2–3) бланка протоколу.

За сигналом експерта обстежувані відкривають четверту сторінку бланка з варіантами і намагаються якнайшвидше, без помилок, перекодувати якомога більшу кількість варіантів за 50 секунд (сторінки 4–7). В процесі виконання тесту забороняється



заважати іншим обстежуваним голосно повторювати про себе варіанти розташування кіл.

Після завершення відведеного часу на виконання тесту робота негайно припиняється а протоколи з варіантами здаються експерту.

*Шкала оцінок результату тесту «R-W» (кількість правильно перекодованих варіантів за 50 секунд):*

дуже високо	7 балів	понад 55
високо	6 балів	від 46 до 55
вище середнього	5 балів	від 42 до 45
середнє	4 бали	від 33 до 41
нижче середнього	3 бали	від 29 до 32
<i>група ризику:</i>		
низько	2 бали	від 15 до 28
дуже низько	1 бал	менше 15

Даний тест контролює здатність людини швидко орієнтуватися у нестандартних мінливих ситуаціях та точно і безпомилково діяти в умовах обмеженого часу (фактично – уміння комбінувати, імпровізувати, а також передбачати (антиципувати) розвиток ситуації, завчасно виконуючи випереджаючі дії).

При наявності комп'ютера обстеження можна провести за децю зміненою методикою (реагування або ігнорування появи на екрані тих чи інших подразників – об'єктів різної форми та кольору і рядом інших подібних тестів), використовуючи спеціально розроблену програму, яка передбачає запам'ятовування, статистичну обробку, порівняння та друк одержаних результатів. Фактично це виконання нових завдань, подібних до тесту «R-W».

*Завдання тесту:* максимально швидко реагувати (натискати будь-яку клавішу на клавіатурі) при появі на монітора блакитного квадрата та ні в якому разі не натискати клавішу клавіатури при появі жовтого квадрата.

*Умови виконання тесту:* перед виконанням тесту експерт обстежуваних знайомить з інструкцією до виконання. Тест виконується індивідуально.

Після включення програми експертом обстежуваний, по готовності натиснувши будь-яку клавішу, починає виконання тесту: після трьох спроб реагування на появу квадратів без врахування результату лунає звуковий сигнал і розпочинається сам тест; при появі в центрі екрана квадрата і натисканні клавіші у нижньому правому кутку екрана з'являється результат (у тисячних частках секунди) останньої спроби та порядковий її номер. Через певний час автоматично на моніторі з'являється новий квадрат і обстежуваний повторює свої дії. Тест завершується при правильному реагуванні на десятий по черзі блакитний квадрат (реагування на жовті квадрати та спроби з тривалістю реакції більше 0,5 сек – не враховуються).

Після завершення тестування на моніторі з'являється загальний результат тесту у вигляді графічного зображення часу кожного правильного реагування, а також помилкові реагування на жовті квадрати. При натисканні клавіші “S” на моніторі з'являється середнє значення часу реакції в тисячних частках секунди – “Average”, коефіцієнт варіації результату в частках від одиниці – “Variation”, кількість помилкових реагувань на жовті квадрати – “Mistakes” та ін. Натискання “Esc” виводить із програми тесту в загальне меню, а клавіші “Enter” – дозволяє повторно виконати тесту ще раз.

Не рекомендується повторювати тест більше двох разів, щоб виключити навичку.

Оцінюється тест за середнім часом реагування за семибальною шкалою оцінок, якщо спроба без помилок; якщо допущена одна помилка результат (середній час реакції вибору) множиться на коефіцієнт “1,1”, а якщо дві помилки – на коефіцієнт “1,2”. Не допускається більше двох помилок; коефіцієнт варіації не повинен перевищувати 0,15 – 0,20.

дуже високо	7 балів	менше 292
високо	6 балів	від 293 до 325
вище середнього	5 балів	від 326 до 341
середнє	4 бали	від 342 до 374
нижче середнього	3 бали	від 375 до 390
<i>група ризику:</i>		
низько	2 бали	від 391 до 423
дуже низько	1 бал	понад 423

## Тестові завдання до теми 5 для самоперевірки знань

- 1. Які шляхи підвищення економічності рухових дій існують:*
  - перехід енергії в кінетичну фракцію
  - зниження величини енерговитрат у кожному циклі
  - рекуперация енергії
  - перехід енергії в потенційну фракцію
  - відповіді b і c
  - відповіді a, b, c, d.
- 2. Відношення виконаної механічної роботи до витраченої енергії без врахування енерговитрат на обмін речовин в робочій позі це:*
  - дельта-коефіцієнт
  - альфа-коефіцієнт
  - брутто-коефіцієнт
  - нетто-коефіцієнт
- 3. До зовнішніх джерел енергії біомеханічної системи не вхоть:*
  - амортизація
  - потенціальна енергія системи у полі сил тяжіння
  - енергія механізмів або інших осіб
  - енергія руху середовища
- 4. Якого з перелічених коефіцієнтів економічності м'язової роботи не існує:*
  - дельта
  - альфа
  - брутто
  - нетто
- 5. До загальної структури спритності не відноситься:*
  - уміння диференціювати й керувати різними характеристиками рухових дій
  - здатність передбачати (антиципація)
  - необхідна у складнокоординованих рухових діях
  - здатність імпровізувати і комбінувати

6. *Що не належить до структурних елементів спритності:*
- a.** раціонально використовувати дефіцит витривалості
  - b.** необхідна у складнокоординованих рухових діях
  - c.** здатність імпровізувати і комбінувати
  - d.** уміння диференціювати й керувати різними характеристиками рухових дій
7. *Порівняння величин виконаної роботи та енерговитрат у двох ідентичних рухових завданнях різної інтенсивності це:*
- a.** дельта-коефіцієнт
  - b.** альфа-коефіцієнт
  - c.** брутто-коефіцієнт
  - d.** нетто-коефіцієнт
8. *При вимірюванні фізичної працездатності людини який показник не відноситься до ергометричних:*
- a.** час виконання
  - b.** потужність виконання
  - c.** інтенсивність виконання
  - d.** обсяг виконання
9. *З біомеханічної точки зору спритність людини не залежить від:*
- a.** рівня розвитку спеціалізованих відчуттів
  - b.** уміння диференціювати й керувати різними характеристиками рухових дій
  - c.** рухової підготовленості людини
  - d.** швидкості та оперативності сприйняття і обробки зовнішньої інформації
10. *Оцінювання тесту на увагу здійснюють за тестом:*
- a.** Поппелройтера
  - b.** Тьюрінга
  - c.** Купера
  - d.** Роттера

## ТЕМА 6

### БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДИНИ

#### 6.1. Модель живого рухового механізму в біомеханічній системі.

Рухові дії людини істотно залежать від властивостей та будови її тіла. З одного боку, різноманітність властивостей тіла й надзвичайно складна будова людини зумовлюють високу складність рухових дій та процесів керування ними. Але з іншого боку, це дає змогу досягнути різноманітності та надзвичайного багатства рухів, до цього часу недоступних жодній та найбільш досконалій машині.

Біомеханіка досліджує переважно ті особливості будови та функцій тіла людини, її опорно-рухового апарату, які мають визначальне значення для удосконалення рухових дій. Відкидаючи незначні деталі анатомічної будови і фізіологічних механізмів рухового апарату людини, розглядають спрощену модель її тіла – **біомеханічна система**. Вона володіє основними властивостями, які є важливими для виконання рухових функцій, але не включає в себе переважну більшість другорядних деталей.

При застосуванні математичних розрахунків з використанням біомеханічної системи (БМС) живого організму можуть прийматися наступні **припущення**:

- кінематичні та динамічні характеристики БМС відповідають аналогічним характеристикам живого організму, який досліджується;
- не враховують різниці в анатомічній будові правої та лівої частин тіла людини;
- біоланки БМС розглядаються як «миттєво затверділі», не враховуючи при цьому, що частини реального тіла – «жива маса»;
- тертя в тканинах і суглобах приймають за внутрішні втрати, якими неможливо знехтувати, які також враховують при виведенні коефіцієнта механічної ефективності роботи м'язів;
- нехтують переміщеннями у деяких (досліджуваних) суглобах, залежно від поставленого завдання дослідження й характеру рухової дії;

- відповідно до рухових дій, багатовісні суглоби, які аналізуються, при наявності відповідної керуючої роботи м'язів найчастіше вважають одновісними, тощо.

Отже, враховуючи вище наведені припущення, можемо дати визначення, що біомеханічна система – це спрощена копія – модель живого тіла людини, за допомогою якої можна вивчати її рухові дії та закономірності. БМС тіла людини складається з **біокінематичних ланцюгів**. Більшість частин тіла, з'єднаних рухомо, утворюють біокінематичні ланцюги. До них прикладені сили (навантаження), які викликають деформації самих біоланок та зміну їхнього руху.

## **6.2. Біомеханічні пари та ланцюги біоланок.**

У технічних механізмах, як і в побудованих з них машинах, можливості взаємного переміщення деталей, як правило, зумовлені способом їхнього з'єднання. У живих системах способи з'єднання біоланок у біокінематичні ланцюги не визначають однозначно можливостей рухів (наприклад їхній напрямок чи розмах). М'язи визначають рухи біомеханічних важелів, які передають рух і зусилля, та маятників, які зберігають рух, що почався раніше.

В біомеханіці **біопарою** називають спрощену модель рухомого з'єднання двох сусідніх частин тіла (суглоба), а біоланки, які поєднані біопарами, з'єднуються в **біокінематичні ланцюги**. Таким чином, **біокінематична пара** – являє собою рухоме (кінематичне) з'єднання двох біоланок – спрощена модель суглоба, будова і керуючі дії м'язів якого визначають можливі варіанти взаємного механічного переміщення з'єднаних ним частин тіла.

У неживих механізмах з'єднання окремих частин або деталей – кінематичні пари – сконструйовані таким чином, аби дати змогу здійснювати лише певні (точні), заздалегідь задані взаємні переміщення. Вони завжди обмежені або додатковими **в'язями**, або можливими **ступенями свободи**.

У живому організмі розрізняють такі *види в'язей*:

- **геометричні** (перешкоди постійного характеру, які

перешкоджають переміщенню в кожному конкретному напрямку, наприклад, кісткове обмеження в суглобі)

- **кінематичні** (обмеження швидкості, наприклад м'язами-антагоністами, які перешкоджають рухові).

Біокінематичні пари можуть мати **постійні ланки**, які визначають максимальну і залишкові ступені свободи взаємних механічних переміщень з'єднаних біоланок. Майже всі рухомі з'єднання організму людини біокінематичні пари – обертові, та лише певна кількість з них (що не приймають активної участі у руховій діяльності людини) допускають поступальне ковзання однієї частини тіла відносно іншої і лише один суглоб допускає гвинтовий рух.

**Біокінематичний ланцюг** – це послідовне **незамкнене** (розгалужене, або відкрите) або **замкнене** з'єднання біоланок через біокінематичні пари. У **незамкнених** (відкритих) ланцюгах є вільна біоланка, яка з'єднана лише з однією біоланкою. У **замкнених** ланцюгах немає вільної кінцевої ланки: кожна біоланка обов'язково з'єднана двома біопарами. У незамкненому (відкритому) біокінематичному ланцюгу можливі ізольовані рухи у кожній біокінематичній парі, тобто при виконанні рухових дій обертання в незамкнених (відкритих) ланцюгах проходять одночасно в декількох біопарах, але можливість ізольованого руху не виключена. У **замкненому** ланцюзі ізольовані рухи в одній біопарі неможливі: у цей рух одночасно втягуються й інші з'єднання.

Значна частина незамкнених біокінематичних ланцюгів характеризується наявністю багатосуглобових м'язів. Тому рухи в одних біопарах за участю таких м'язів обов'язково пов'язані з рухами в сусідніх. Але у багатьох випадках, при точному керуванні руховими діями, цей взаємний зв'язок можна «виключити». У замкнутих ланцюгах зв'язок невизначений і дії м'язів обов'язково передаються на інші біокінематичні пари.

Незамкнений (відкритий) біокінематичний ланцюг із вільною дистальною біоланкою може стати замкненим, у випадках якщо цю біоланку механічно пов'язати з іншою біоланкою ланцюга (безпосередньо або через будь-яке інше тіло, наприклад, через опору).



### **6.3. Ланки та ступені свободи біоланок при виконанні фізичних вправ.**

За наявності умов, якщо механічний рух фізичного тіла нічим не обмежується, таке тіло може рухатися в просторі у трьох вимірах, тобто уздовж трьох взаємно перпендикулярних осей, а також (обертано) навколо них. Отже, таке тіло володіє шістьма ступенями свободи рухів і називається *вільним*.

Приєднана до вільного тіла ланка зменшує число ступенів свободи біоланок. Зафіксувавши лише одну точку вільного тіла (приєднавши його до якоїсь біоланки тіла біопарою), таке тіло відразу позбавляється трьох ступенів свободи – можливих лінійних переміщень уздовж трьох осей координат. Прикладом у наведеному випадку можуть бути з'єднання біоланок спрощеними моделями кульоподібних суглобів – плечового чи кульшового, які дають змогу з'єднаним з ними біоланкам виконувати три незалежні обертання (відведення-приведення, згинання-розгинання та супінацію-пронацію). При умові, якщо вільне тіло закріпити лише у двох точках - єдиним можливим його переміщенням буде обертання довкола власної осі, що проходить через вказані точки. Прикладами таких з'єднань виступають одновісні суглоби тіла (міжфаланговий). Закріплення трьох точок тіла виключають будь-які переміщення тіла в просторі та повністю обмежують свободу його переміщення.

За рахунок відмінностей форм суглобових поверхонь (циліндричні, кулясті чи сідлоподібні) біокінематичні пари, які з'єднують біоланки, можуть бути одновісними, двовісними чи тривісними. Практично всі суглоби тіла людини, окрім колінних, міжфалангових та атлантаосного, дають змогу з'єднаним ними частинам тіла здійснювати переміщення більш ніж з одним ступенем свободи. Саме такий широкий спектр рухомості викликає невизначеність можливих рухів біоланок та безліч варіантів рухів (так званий неповнов'язний механізм). Керуючі дії м'язів дають змогу одержати бажані додаткові в'язі, які визначають однозначно

взаємне переміщення біоланок системи, залишаючи окремим біоланкам лише по одному степені свободи. Таким чином стає можливим вибір єдино можливого варіанта руху – власне того, який необхідний.

#### **6.4. Важелі, види важелів біомеханічної системи.**

##### ***Співвідношення моментів сил при виконанні різних вправ.***

Здійснюючи дослідження спрощених моделей кісткових елементів як тверді тіла, з'єднуються між собою завдяки біопарам та утворюють основу біокінематичних ланцюгів. Сили які прикладені до біоланок (тяжіння, тяги м'язів, опір рухові, інерція тощо), діють на них як на маятники і на важелі.

***Важіль як біомеханічна категорія*** повинен обов'язково володіти наступними складовими ***елементи***:

- тверде тіло, до якого прикладені та через які передаються дії різних сил (спрощена модель кістки);
- біопара – рухоме з'єднання сусідніх біоланок, відносно якої можливе взаємне переміщення цих біоланок (спрощена модель суглоба);
- сили, під дією яких відбувається взаємне переміщення біоланок (такі сили не повинні проходити через вісь біопари або бути паралельними їй, тобто повинні створювати гальмівні та рушійні моменти відносно осі обертання біокінематичної пари – спрощеної моделі суглоба).

Біоланки тіла, рухомо з'єднані між собою біопарами, під дією прикладених сил можуть зберігати своє положення в просторі, або, навпаки, його змінювати. Біоланки виконують основне завдання – передають рухи і роботу в просторі. Усі сили, що діють на біоланку, крім тих, які проходять через вісь відповідної біопари, можна умовно розділити на такі, що лежать в площині її власної осі (і тому не можуть змінити її рух відносно осі біопари) і непаралельні вказаній площині, які або гальмують, або прискорюють обертання навколо біопари.

Якщо непаралельні відносно площини біоланки прикладені сили

по обидві сторони від осі біопари, такий біомеханічний важіль прийнято називати *двоплечим* (*важіль першого роду* – у класичній механіці). Коли прикладення до важеля зусиль здійснюється лише з однієї сторони він називається *одноплечим* (*важіль другого роду*). Слід пам'ятати, що переміщеннями у різних біокінематичних парах керують різні м'язи, які проходять через різні сторони біопари, тому, наприклад, передпліччя людини у випадку піднімання вантажу за рахунок дії скорочення м'язів-згиначів працює як одноплечий важіль, то при скороченні м'язів-розгиначів з метою метання предметів з-за голови – як двоплечий.

Різні сили дії м'язів, які скорочуються, прикладені завжди до біоланки біомеханічного важеля поблизу осі біопари; вони в декілька разів більші за інші сили, більшість з яких діє на важіль через його протилежну сторону. Тому при розрахунку обертання біомеханічного важеля до уваги приймають не величину самих сил, а обертові моменти, які дозволяють врахувати не тільки напрямок їх дії та величину цих сил, а також враховують плече прикладення конкретного навантаження (найкоротшу відстань від лінії дії сили до осі обертання).

Рух біоланки тіла людини по інерції після припинення розганяючої дії нагадує рух фізичного маятника. Під дією сили тяжіння маятник після попереднього його відхилення від нижнього положення у будь-який бік починає розганятися вниз, з наступними витратами набутої кінетичної енергії, та за інерцією підіймається вгору. Період коливань маятника вираховується за формулою:

$$T = 2\pi \sqrt{I : m \times g \times r} \quad (c),$$

де **I** – момент інерції маятника відносно осі коливання;

**m** – маса маятника;

**g** – сила тяжіння;

**r** – радіус інерції (відстань між точкою підвісу маятника і центром його мас).

Відносно малих амплітуд гойдання маятника (до 6–7°) за

наведеною вище формулою можна розрахувати його власну частоту коливань. Однак при більших амплітудах рухів (наприклад переміщення ніг в процесі бігу тощо), а також враховуючи зміну радіусів інерції та моментів біоланок-маятників (ніг і рук) при виконанні переважної більшості фізичних вправ за рахунок постійних змін їх довжини в просесах згинання-розгинання порядок розрахунку частоти коливань таких живих маятників значно складніший.

Прискорення маятника залежать від його власного моменту інерції і сумарного моменту розганяючих сил. Тому щоб збільшити швидкість розгону біоланки необхідно збільшити плече та силу прикладання або, навпаки, зменшити радіус інерції біоланки (наприклад, згинаючи її).

Складні маятники, такі як, наприклад, ноги або руки людини при ходьбі, бігу інших циклічних та ациклічних вправах, проявляють себе набагато складніше, тому при кожному окремому кроці моменти м'язових сил необхідно пристосовувати до постійно змінних умов, які забезпечуючи відносну постійність кроків.

### ***6.5. Способи визначення абсолютної та відносної маси частин тіла людини.***

Показниками, що характеризують *геометрію мас тіла*, прийнято вважати *абсолютні та відносні маси* окремих його частин, *їх моменти та радіуси інерції*.

При біомеханічних розрахунках ефективності техніки виконання рухових дій конкретних осіб, необхідно знати *абсолютні маси* окремих частин тіла людини так і *їх моменти інерції*. Від величин зазначених біомеханічних характеристик буде залежити підбір оптимального величини кроку, співвідношення темпу циклічних вправ та енерговитрати на переміщення частин тіла, сил інерції, що виникають при зміні швидкості та амплітуди руху окремих частин і всього тіла загалом, виконана людиною механічна робота, коефіцієнти її механічної ефективності тощо.

Вказані мас-інерційні характеристики в біомеханічних дослідженнях, можна визначити лише опосередковано (наприклад, за допомогою поступового занурення всього тіла або окремих його частин у рідину, способом маятника) або використавши рівняння регресії, коефіцієнти і таблиці, одержані фахівцями на підставі обробки результатів спеціальних проведених експериментів.

Одними з перших були проведені дослідження на заморожених і розчленованих трупах (звідки й пішли широковідомі в біомеханічних дослідженнях, коефіцієнти 7, 43, 1, 2, 3, 2, 5 і 12 які застосовуються для приблизного визначення (*відносні маси*) мас окремих частин тіла людини, а також відомі коефіцієнти Фішера 0,42; 0,44 та 0,47 які застосовуються для визначення положення центрів їх мас, якими користуються по сьогоднішній день).

Наступні дослідження лише уточнили та підтвердили одержані дані для різних груп осіб.

#### ***6.6. Положення центру маси та окремих частин тіла людини.***

В біомеханічних дослідженнях *центром мас тіла* (ЦМТ) прийнято називаєти точку перетину прямих, удовж яких спрямовуються сили, щоб тіло рухалося поступально. Саме тому важливо вміти визначати положення ЦМТ при біомеханічному аналізі руху тіла. Будь-яку досліджувану рухову дію людини можна уявити як суму більш простих рухів – наприклад, руху центр мас тіла та обертання окремих його частин відносно нього.

Положення ЦМТ людини можна визначити шляхом зважування її на спеціальній платформі трикутної форми, на якій вона приймає необхідну досліджувану позу. Проте більш зручним в біомеханічних дослідженнях прийнято вважати – розрахунковий спосіб, описаний нижче, який передбачає вирахування центрів мас усіх частин тіла.

Для того щоб визначити положення центрів мас окремих частин тіла людини користуються коефіцієнтами Фішера, відомими з курсу динамічної анатомії що становлять: для плеча – 0,47, для передпліччя та гомілки – 0,42, для тулуба та стегна – 0,44.

Слід зауважити, що наведені коефіцієнти не є зовсім точними,

оскільки не враховують тотальних розмірів тіла, співвідношення м'язового, кісткового та жирового компонентів тіла, віку, спортивної спеціалізації тощо. Для більш точного визначення ЦМТ людини, у спеціальній літературі наведені більш точніші формули, що використовуються для розрахунку необхідних мас-інерційних характеристик тіла людини. Дані уточнення представляють собою одержані дані в процесі спеціального радіотопного сканування спортсменів-студентів за методикою ГЦОЛІФКу.

### **6.7. Теорема Варіньйона її використання для визначення положення центра маси тіла людини.**

Визначити розташування ЦМТ спортсмена, зображеного на малюнку чи фотографії, можна, використавши відому у класичній механіці теорему П. Варіньйона (1654–1722): «Момент рівнодійної системи плоских однонапрямлених сил відносно будь-якої точки на площині дорівнює алгебраїчній сумі моментів складових сил відносно тієї ж точки».

ЦМТ збігається з *центром тяжіння* тіла людини. Тому, застосовуючи в біомеханічних дослідженнях теорему П. Варіньйона до сил тяжіння окремих частин тіла з одночасним врахуванням пропорційність цих сил відповідним масам, отримуємо наступні залежності для визначення координат ЦМТ  $X_c$  та  $Y_c$ :

$$X_c = \sum m_i \times x_i / M \text{ (мм);}$$
$$Y_c = \sum m_i \times y_i / M \text{ (мм),}$$

де:  $m_i$  – маса  $i$ -тої біоланки, в кг;

$x_i$  та  $y_i$  – координати центрів мас цих біоланок, в мм.

З метою визначення положення ЦМТ за фотознімком теорему П. Варіньйона застосовують у наступному порядку:

- на заданому фотознімку зображають плоску систему координат, спрямувавши вісь ординат (Y) – вгору, вісь абсцис (X) праворуч, і бажано таким чином, щоб зображена людина на ній, знаходилася якомога ближче до початку системи координат);

- на фотознімок наносять положення центрів мас голови, кистей і стоп та центри усіх суглобів, керуючись при цьому анатомічними ознаками;
- рисують відповідну таблицю (табл. 6.1).
- визначають положення центра маси кожної частини тіла, помноживши попередньо виміряну її довжину на відповідний коефіцієнт Фішера та відклавши отриманий відрізок від важкого (проксимального) кінця (плечовий пояс – для тулуба). ЦМ голови знаходиться, як відомо, над верхнім краєм зовнішнього слухового отвору; ЦМ кисті збігається із зап'ястно-фаланговим суглобом третього пальця; Центр маси стопи (якщо це можливо визначити за наявним фотознімком) розташовується на лінії між п'ятковим горбом та другим пальцем ноги на відстані 0,44 повної довжини стопи від п'ятки;
- знаходять відповідні маси кожної частини тіла, помноживши значення граfi «1» табл. 6.1 на масу людини на фотознімку, в кг і заносять їх у графу «4» таблиці;

Таблиця 6.1

Розрахунок положення ЦМТ тіла людини за фотознімком

№	Назва частини тіла	$m_i$ %	$m_i \times \text{кг}$	$x_i$	$m_i \times x_i$	$y_i$	$m_i \times y_i$
1	Голова	7					
2	Тулуб	43					
3	Стегно ліве	12					
4	Стегно праве	12					
5	Гомілка ліва	5					
6	Гомілка права	5					
7	Стопа ліва	2					
8	Стопа права	2					
9	Плече ліве	3					
10	Плече праве	3					
11	Передпліччя ліве	2					
12	Передпліччя праве	2					
13	Кисть ліва	1					
14	Кисть права	1					
Суми:							

- вимірюють на фотознімку та вносять у відповідні графі таблиці координати  $x_i$  та  $y_i$  центра маси відповідної частини тіла людини;
- вираховують і записують у відповідні графі табл. 6.1 добутки  $m_i \times x_i$  та  $m_i \times y_i$  - знаходять суми  $\sum m_i \times x_i$  та  $\sum m_i \times y_i$ ;
- за формулами для координат центра маси тіла вираховують координати  $x_c$  та  $y_c$  та показують їх на фотознімку, зазначивши знайдені координати на осях.

### **6.8. Центр об'єму та центр поверхні тіла людини та їх значення при виконанні фізичних вправ.**

До показників геометрії мас тіла людини відносяться також центр об'єму і центр поверхні тіла.

**Центр об'єму тіла** – це точка прикладення рівнодійної сил гідростатичного тиску – сила Архімеда. Оскільки густина тіла людини неоднорідна (для прикладу – легені займають великий об'єм, але важать дуже мало), центр об'єму тіла людини не збігається з центром мас, і у вертикальній позі стоячи знаходиться на 3–6 см вище від нього. Взаємне розташування обох точок істотно впливає на рівновагу тіла людини у воді, оскільки не спричиняє утворення обертового моменту пари сил: Архімеда та земного тяжіння.

**Центр поверхні тіла** – точка прикладання рівнодійної сили дії середовища (води, повітря). В першу чергу центр поверхні залежить від пози та напрямку потоку середовища. При відносно великих швидкостях руху (гірськолижний, парашутний, мотоциклетний, автомобільний, санний спорт, стрибки з трампліна тощо), коли спортсмен зазнає велику сили опору середовища, взаємне розташування центра поверхні тіла та центра мас тіла суттєво впливає на збереження рівноваги і успішність виконання вправи загалом.



## Тестові завдання до теми 6 для самоперевірки знань

- 1. Рухоме з'єднання двох сусідніх частин тіла називається:*
  - біопарою
  - біокінематичними з'єднанням
  - біокінематичний ланцюг
  - біоланкою
- 2. Тіло вважається, вільним коли володіє \_\_\_-ма ступенями свободи:*
  - 2
  - 3
  - 4
  - 6
- 3. Якщо закріпити вільне тіло у двох точках, то воно буде рухатись:*
  - в одній площині
  - обертний рух
  - в двох площинах
  - обертання навколо власної вісі
- 4. Точка прикладання рівнодійної сил дії середовища називається:*
  - центр поверхні тіла
  - центр мас тіла
  - центр об'єма тіла
  - центр біомеханічної пари
- 5. Які види ланок біомеханіка виділяє в живому організмі:*
  - геометричні
  - обмежані
  - просторові
  - кінематичні
- 6. В якому біомеханічному ланцюзі ізолювані рухи в одній біопарі неможливі:*
  - геометричному
  - замкнутому
  - кінематичному
  - незамкнутому
- 7. Зафізковане вільне тіло в одній точці позбавить рухів \_\_\_-х ступенів свободи:*
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4

8. В біомеханіці до елементів категорії «важіль» не входить:
- a. біопара
  - b. тіло, через які передаються дії різних сил
  - c. сили, під дією яких відбувається взаємне переміщення біоланок
  - d. тіло, до якого прикладені дії однакових сил
9. В якому біомеханічному ланцюзі ізольовані рухи в одній біопарі неможливі:
- a. кінематичному
  - b. незамкнутому
  - c. векторному
  - d. замкнутому
10. Що необхідно знати при розрахунку ефективності техніки виконання рухових дій:
- a. моменти інерції
  - b. абсолютні маси
  - c. відносні маси
  - d. центр маси тіла

## ТЕМА 7

### ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОТІЛЬНИХ СИСТЕМ

#### 7.1. Маса, сила тяжіння, вага та сила інерції.

Відомо, що така властивість матеріального тіла, як *маса*, може проявлятися *дистантно* (при притягуванні чи відштовхуванні тіл на відстані за рахунок гравітаційних, електромагнітних та інших сил) або *контактно* (при безпосередній взаємодії тіл). В процесі контактних взаємодій тіл маса тіла виступає *мірою інертності тіла* (інерційна маса) та вимірюється в кілограмах (кг). У випадках обертових рухів тіла значення має не лише маса тіла, але й її локалізація відносно осі обертання, саме тому *мірою інертності* тіла в випадку обертальних рухів виступає *момент інерції*:

$$I = \sum m_i \times r_i^2 \text{ [кг} \times \text{м}^2\text{]},$$

де  $\Sigma$  – знак суми;

$m_i$  – маса  $i$ -тої частини тіла;

$r_i$  – відстань центра мас  $i$ -тої частини тіла від осі обертання.

У випадку коли відбувається взаємне притягування тіл *силами гравітації* (наприклад притягування тіла людини до поверхні Землі) говорять про *гравітаційну масу*, яка при природніх швидкостях руху, менших від швидкості світла у вакуумі, чисельно дорівнює *інерційній масі* й також вимірюється в кілограмах. Сила притягування певного тіла масою до Землі визначається за формулою:

$$\vec{P} = m \times \vec{g} \text{ [Н]},$$

де  $\vec{P}$  - *сила тяжіння*, яка завжди спрямована до центра Землі та прикладена до тіла;

$\vec{g}$  - прискорення певного вільно падаючого тіла на даній широті та довготі (дорівнює  $9,82 \text{ м/с}^2$  на полюсах та  $9,78 \text{ м/с}^2$  – на екваторі).

Отже, сила тяжіння як міра притягування тіла до Землі залежить від маси тіла (стала величина) і розташування тіла відносно рівня

моря (тіла сильніше притягуються в низинах і слабше – в горах) і не залежить від інших чинників (опори, параметрів руху тощо).

Якщо тіло взаємодіє контактено з іншими тілами (наприклад з нижньою або верхньою опорою), то воно діє на них силою власної ваги – вага яка прикладена до опори і в стані спокою дорівнює силі тяжіння, але спрямована в протилежному напрямку.

При зміні швидкості руху тіла масою  $m$  (наприклад зміна напрямку руху, розгін, гальмування тощо) воно проявляє свою інертність шляхом протидії зміні швидкості. Проте сила інерції, з якою тіло діє на розганяюче (змінююче напрям руху або гальмуюче) тіло, чисельно дорівнює:

$$\vec{F}_{\text{ін}} = - m \times \vec{a}, [H]$$

де  $\vec{F}_{\text{ін}}$  сила інерції, що завжди спрямована проти прискорення та прикладається до прискорюючого тіла, Н;  
 $\vec{a}$  - прискорення власне самого тіла, м/с.

**Вага** може бути меншою або більшою від сили тяжіння у випадках прискореного руху тіла або руху самої опори, оскільки в таких випадках виникають сили інерції та починається невагомість або перевантаження (повна чи часткова). У цьому випадку

$$\vec{P} = m \times \vec{g} + \vec{F}_{\text{ін}}, [H];$$

У неінерціальних системах відліку (які самі рухаються з прискореннями відносно Землі) для розрахунку сил за законами класичної механіки вводять поняття *фіктивна сила інерції*, яка в даному випадку вважається прикладеною до самого тіла, що змінює швидкість, а не до прискорюючого тіла (яке пов'язане з тілом відліку). Наприклад, можна розглядати рух весляра в академічному човні з боку спостерігача зманань на суші, а потім з боку спостерігача, який вже знаходиться у тому ж човні.

## 7.2. Реакція опори, пружні сили.

**Реакція опори** – це величина протидії опори (нижньої або верхньої) тілу, яке взаємодіє з нею. Ця сила, що прикладена до

контактуючого з нею тіла та спрямована протилежно вазі тіла. Оскільки вага тіла залежить від сили тяжіння та від руху самої опори, то при розрахунках необхідно враховувати пружність контактуючої опори, яка визначається виразом:

$$\vec{F}_{\text{пр}} = \Delta l \times k [H]$$

де  $\vec{F}_{\text{пр}}$  – пружна сила,  $H$ ;

$\Delta l$  – деформація опори в напрямку дії маси взаємодіючого тіла,  $m$ ;

$k$  – коефіцієнт жорсткості, що діє у тому ж напрямку,  $H/m$ .

За умови, якщо опора пружна, то реакція опори зростає поступово, а процес взаємодії з опорою розтягується в часі, внаслідок чого максимальні значення прискорення зменшується, зменшується і маса взаємодіючого тіла порівняно із випадком взаємодії з жорсткою опорою.

Проте при бігу по доріжці з пружним покриттям, м'язи ніг через збільшення часу взаємодії з опорою встигають розвинути більшу силу; а при відштовхуванні деформована опора надає м'язам ніг та тілу додатковий імпульс, що значно довантажує всі елементи рухового апарату людини і з плином часом негативно впливає на стан здоров'я (особливо це проявляється у дітей та підлітків). Тому в тренувальних процесах на пружному покритті рекомендується чергувати із заняттями на м'яких ґрунтових доріжках або покритих дерев'яною стружкою чи інших видах амортизуючого покриття.

Так само впливає (як на стан здоров'я людини, так і на спортивний результат) відіграє пружність спортивного взуття, питанням вибору якого, як тренеру так і спортсмену, необхідно надавати особливу увагу.

Процес розрахунок дії сили опори на тіло людини (*реакції опори*) не є простим, оскільки він здійснюється з використанням засобів та методів вищої математики з метою імовірного та кращого моделювання динаміки взаємодії частин тіла в часі.

### 7.3. Види сил, що діють на тіло людини в процесі виконання рухових дій.

Для того щоб визначити, яка з сил, прикладених до тіла людини, є внутрішньою, а яка – зовнішньою (тобто здатна змінювати енергію та імпульс тіла), необхідно з'ясувати: наслідком дії якого тіла вона є. Зовнішньою для досліджуваного тіла буде лише така сила, дія якої викликана іншим тілом, що не входить до його складу досліджуваного тіла. Це правило також стосується розподілу сил на внутрішні та зовнішні стосовно біомеханічної системи тіл (наприклад тіла людини, яке умовно в процесі дослідження розподіляємо на окремі частини: голову, тулуб, передпліччя, плечі, стегна та ін).

Тому, відносно тіла людини, сумарна сила тяжіння, яка складається гравітаційним притягуванням Землі, опір рухові, реакція опори, дія інших тіл (партнерів, суперників, тренера, м'яча тощо) – зовнішні сили. Зате активні м'язові тяги, сили пружності та тертя в самому організмі, дія сили інерції різних частин тіла, що рухаються з певним прискоренням, на сусідні частини тіла, дія маси одних частин тіла на інші тощо – внутрішні відносно біомеханічної системи сили.

Якщо розглядати рухи деякої окремої частини тіла, наприклад, гомілки, то тяги м'язів, відносно стегна, силу тяжіння, прикладену до гомілки, масу стопи, утримуючу дію стегна варто розглядати як зовнішні відносно гомілки сили, оскільки їх дія зумовлена тілами, що у поняття «гомілка» не входять.

Таким чином, однакові сили можуть бути і внутрішніми, і зовнішніми; у певному конкретному випадку це залежить від того, які частини або тіла ми включили до біомеханічної систему, а які – не включили.

Розподіл сил на внутрішні і зовнішні має велике значення за умов використання *теорему про зміну імпульсу тіла* (кількості руху), або механічної системи – *міри механічного руху тіла*:

$$\vec{K} = m \times \vec{V} \text{ [кг} \times \text{м/с]}; \quad \vec{K} = I \times \vec{\omega} \text{ [кг} \times \text{м}^2 \text{/с]};$$

Зміна імпульсу механічної системи можлива лише за рахунок впливу зовнішніх сил. Наслідок з теореми: при рівності нулю основного вектору та головного моменту (алгебраїчна сума векторів і моментів) зовнішніх сил власне імпульс механічної системи залишається незмінним. З теореми випливає, що єдиною можливою рушійною силою в процесі переміщенні тіла людини може бути зовнішня сила. Пресуваючись на мотоциклі, автомобілі, літаку, коні тощо, а також спускаючись з гори на велосипеді, санях, лижах рушійними силами є або сила тяжіння, або контактні сили, прикладені з боку інших тіл (автомобіль, мотоцикл, кінь).

Проте в процесі різних видів рухової активності (біг, ходьба, плавання, їзді на велосипеді тощо), а також у спортивних іграх, метаннях, одноборствах та ін. причиною руху виступають внутрішні відносно біомеханічної системи сили – активні м'язові тяги. Проте обов'язковою умовою їх прояву як рушійної сили є наявність зовнішньої сили – реакції опори.

Необхідною умовою зміни напрямку і величини швидкості руху біомеханічної системи є також обов'язкова наявність зовнішньої сили, тому досвідчені мотогогонщики, гірськолижники, ралісти намагаються постійно перебувати у контакті з трасою, здійснюючи різноманітні випереджаючі дії, розгойдування спортивного спорядження навколо бокової та вертикальної осей, виконуючи ексцентричну м'язову роботу, використовуючи різноманітні досконалі амортизатори тощо, бо лише у таких випадках є можливість постійного контакту з поверхнею траси, тобто ефективно розганятися, гальмувати і входити у повороти, чого не можна зробити в безопорній (безконтактній) фазі з поверхнею.

Помилково вважати *рушійними* сили тертя в центрі контакту біомеханічної системи (лижі, колеса, взуття) з опорою – в усіх перелічених випадках джерелом руху виступають м'язові тяги.

#### **7.4. Опір рухові тіла у повітряному та водному середовищі.**

Усі тіла на Землі переміщуються в повітрі або у воді. Середовище завжди чинить опір рухові. Проведені дослідження

показали, що опір середовища рухові різних тіл зменшується при зменшенні площі їх поперечного перерізу перпендикулярно до напрямку руху тіла, форми тіл наближенні до форми краплини, загладжування їх поверхні, а також при зменшенні густини середовища (наприклад, відмінність прісної та солоної води, повітря у високогір'ї, як у Мехіко чи Медео). Тому у вираз для розрахунку лобового опору середовища  $\mathbf{R}_x$  руху тіла входять:  $\mathbf{S}_x$  – лобова площа (переріз Міделя) ( $\text{м}^2$ );  $\rho$  – густина середовища ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $c_x$  – коефіцієнт обтічності (який залежить від стану і форми поверхні тіла та для різних тіл змінюється у широких межах – від 0,05 до 2,5) і визначається в аеродинамічній трубі експериментально; та  $\mathbf{V}_x^2$  – квадрат відносної швидкості переміщення тіла в середовища та самого середовища (враховується сила і напрямок вітру або течії), ( $\text{м}/\text{с}$ ):

$$\vec{\mathbf{R}}_x = \mathbf{S}_x \times c_x \times \rho \times \vec{\mathbf{V}}_x^2, [H]$$

(індекси «x» вказують на те, що досліджувані параметри вираховані відносно осі «X» – напрямок руху).

Оскільки густина води значно перевищує густину повітря, опір рухові у воді значно більший, що пояснює меншу швидкість плавання порівняно з іншими локомоціями.

Відомо, що *сила Архімеда* визначає виштовхуючу дію середовища на тіло згідно закону Паскаля:

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{арх}} = \mathbf{Q} \times \rho \times \vec{\mathbf{g}}, [H],$$

де  $\mathbf{Q}$  – об'єм витісненого середовища (фактично – об'єм зануреного тіла),  $\text{м}^3$ .

### 7.5. Сила тертя ковзання. Способи її зменшення і збільшення.

Відомо, що *сила тертя ковзання* не залежить від площі опори та розраховується за формулою:

$$\vec{\mathbf{F}}_{\text{тр}} = \vec{\mathbf{N}} \times f_{\text{ковз}}, [H],$$

де  $\vec{\mathbf{F}}_{\text{тр}}$  – сила тертя ковзання;



$\vec{N}$  – нормальна (перпендикулярна у напрямку поверхні ковзання складова притискаючої сили;  
 $\vec{f}_{\text{ковз}}$  – коефіцієнт тертя ковзання.

**Тертя спокою** – являє собою максимальне значення сили тертя перед фазою активних дій (рушанням з місця) – дещо більше за силу тертя ковзання; це можна пояснити тим, що в момент "зриву" тіла з місця, руйнуються складові елементи мікропрофілю поверхонь контакту, що виникають в процесі їх взаємного встановлення.

Практика, залежно від специфіки рухового завдання, висуває перед нами два протилежні завдання:

- *зменшити* силу тертя для полегшення взаємного ковзання (пересування по льоду, снігу, тертя в механізмах тощо).
- *збільшити* силу тертя ковзання (для утримання на криволінійних траєкторіях, для стартових дій, для раптової зміни швидкості руху, утримання предметів тощо);

Беручи до уваги, що сила тертя залежить від двох показників – *коефіцієнта тертя* та *притискаючої нормальної сили*, можна розв'язати кожне із наведених вище завдань двома способами, змінюючи або коефіцієнт тертя, або притискаючу силу.

Розглянемо варіанти зміни притискаючої сили.

Нормальна притискаюча сила може бути представлена як сума сил тяжіння, сили інерції (разом ці сили утворюють масу) та аеродинамічні складові:

$$N = m \times g + m \times a + F_{\text{аер}} [H],$$

В процесі пересування по криволінійних траєкторіях змінювати притискаючу силу за рахунок зміни маси немає сенсу, оскільки її зменшення чи збільшення приведе до пропорційної зміни відцентрової сили. Тому в галузі спорту використовують практику розвантаження або довантаження тіла за рахунок зміни сили інерції шляхом використання *випереджаючих стрибків* (наприклад, у гірськолижному спорті, цей спосіб дозволяє у кілька разів змінювати

притискаючи силу лижника до траси в різних фазах рухового акту), *поздовжнього «розхитування» біомеханічної системи* – наприклад, мотоцикла або автомобіля (що досягається шляхом підгальмовування або підгазовування і дозволяє долати конкретну ділянку траси з послідовним розвантаженням-довантаженням спочатку однієї, а потім – іншої осі). У випадках коли, власна маса водія чи екіпажу сумірна з масою транспортного засобу, існує можливість реалізувати перерозподіл мас за осями шляхом переміщення членів екіпаж відносно поздовжньої осі транспортного засобу, велосипеда, саней, човна тощо (так звані «відтяжки» назад, «насування» на переднє колесо у мотоспорті, поза велосипедиста чи мотогогонщика при виконанні стартових дій тощо).

На швидкостях руху понад 10 м/с значну роль при збільшенні притискаючої сили, у деяких видах спорту, можуть відігравати *аеродинамічні ефекти*. «Щілинний» або «тунельний» ефект полягає у взаємодії набігаючого потоку повітря з *днищем* автомобіля, боба, човна, саней чи інших спортивних приладів і *поверхнею траси*, внаслідок чого за рахунок різного просвіту (*кліренсу*) спортивного засобу по довжині та особливій формі днища виникають різниці швидкостей обтікання потоком «тунелю», в наслідок чого стає істотне розрідження повітря, яке притискає транспортний засіб до поверхні траси. В автомобільних перегонах «Формули-1» відомі спеціальні конструкції з використанням потужних вентиляторів для охолодження горизонтально розташованих радіаторів системи охолодження, які попутно «витягували» повітря з-під днища автомобіля, проте згодом таке технічне оснащення було заборонене технічною комісією ФІА, оскільки давало значну перевагу таким машинам перед конкурентами при подоланні криволінійних ділянок траси.

В деяких випадках використовується притискаюча сила *антикрила* чи цілої системи задніх і передніх антикрил із регульованими *закрилками*, що використовує так званий «*ефект підйомної сили*» крила літака, перевернутого на 180°. Про величезне значення такої системи свідчить той факт, що пілоти рекордних

автомобілів, гоночних мотоциклів, човнів тощо припиняють заїзд при мінімальному пошкодженні такої системи.

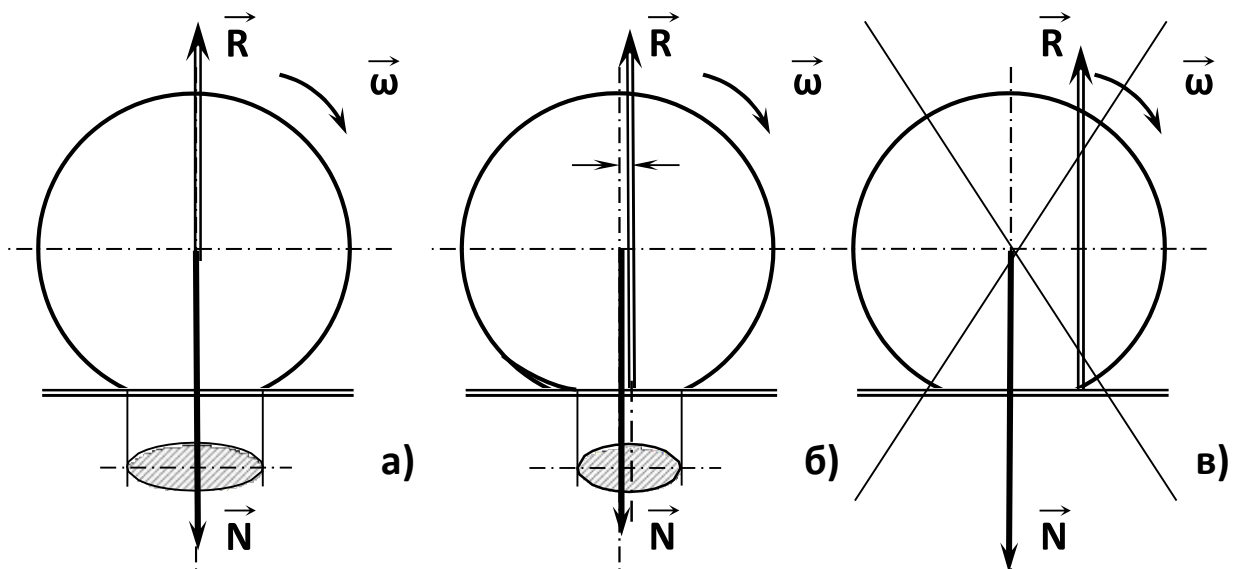
Коефіцієнт тертя також можна *збільшити*, використовуючи *спеціальну форму контактної поверхні* (металеві *шипи* на мотоциклетних і автомобільних колесах для їзди по льоду і снігу, шипи на взутті футболістів, «шипівки» для легкоатлетів, спеціальна форма протектора на взутті та на шинах тощо) або *спеціальні матеріали поверхонь* (активна поверхнева гума у складі автомобільних шин, підошви взуття для різних спортивних ігор тощо), які за рахунок міжмолекулярної взаємодії поверхонь контакту дозволяють одержувати теоретично неможливе значення коефіцієнта відповідного тертя, більшого за одиницю (наприклад для спеціальних шин для «формул»  $f_{\text{ковз}} = 1,2-1,6$ ). Лижники, які використовують класичні лижні ходи, обробляють колодки лиж (ділянки лиж безпосередньо під стопою, яка при навантаженні всього тіла спортсмена на одну лижу за рахунок деформації лижі торкається безпосередньо поверхні снігу) спеціальною маззю з ефектом гальмування для ефективного відштовхування ногами.

Зменшення коефіцієнта тертя можна здійснити за рахунок збільшення гладкості поверхонь до 6-го класу чистоти (належне полірування може призводити до взаємного молекулярного прилипання та задирів) і використання проміжного матеріалу між ними – різних мастил (мастила зі спеціальними додатками для механізмів, змазки у лижному спорті та ін.). Температура полозів саней, ковзанів та бобів так само відіграє значну роль у зменшенні коефіцієнта тертя з льодом траси, оскільки дозволяє їм ефективніше топити кригу безпосередньо під полозом (вода у даному випадку виступає своєрідним «мастилом»). Для прикладу можна згадати такий випадок, коли один із санкарів, бажаючи перемогти за будь-яку ціну, виступив на міжнародних змаганнях на санях із штучним підігрівом полозів від акумуляторних батарей, які заховав на поясі та показав феноменальний результат (даний факт було викрито, результат анульовано і впроваджено обов'язкову процедуру вимірювання температури полозів бобів і саней до та після заїзду).

## 7.6. Гістерезис матеріалу. Опір коченню колеса.

В біомеханічних дослідженнях особливий інтерес викликає *опір коченню коліс*, який деколи неправильно називають *тертям кочення* (подібного явища в природі не існує).

Для нерухомого колеса схема розрахунку взаємодії сил показана на *рис. 7.1 а)*: відбиток контакту колеса на поверхні дороги позначено нижче і має форму еліпса. Нижче подана також *епюра* (зображення розподілу на площині контакту) контактних сил. Напрямок дії *рівнодійної сили* – реакція опори – проходить саме через центр відбитку контакту (вісь) колеса з покриттям контактної опорної поверхні та врівноважує силу, яка навантажує колесо.



*Рис. 7.1. Розрахункові схеми для визначення опору кочення колеса на горизонтальній поверхні:*

- а) нерухомий стан;*
- б) при коченні колеса;*
- в) неправильна розрахункова схема, що часто зустрічається в літературі.*

При коченні колеса (яку підтверджує швидкісна зйомка процесу кочення колеса знизу по прозорій поверхні), ділянки протектора шини, які відриваються від дороги в задній частині точки контакту, за рахунок *гістерезисних втрат* та *демпфуючих властивостей* гуми (явище гальмування деформації матеріалу, яке супроводжується його нагріванням), не встигають повернутися у вихідне положення

(контактуюча поверхня шини приймає початкову форму не відразу, а через деякий відносно малий проміжок часу), внаслідок чого *центр відбитка контакту* (лінія дії рівнодіючої реакції опори) зовсім трошки зміщується вперед за напрямком руху центра колеса, що викликає, так званий *гальмівний момент* реакції опори відносно його осі обертання.

Власно величина цього гальмівного моменту буди тим більшою, чим ширше протектор шини, та чим більший її прогин (тобто гальмівний момент буде залежити від жорсткості протектору шини і тиску повітря в ній).

## Тестові завдання до теми 7 для самоперевірки знань

1. Як властивість матеріального маса тіла може проявлятися:

- a. інерційно
- b. гравітаційно
- c. контактено
- d. дистантно

2. При зміні швидкість руху тіла проявляє свою інертність шляхом протидії зміні:

- a. масі
- b. опору
- c. швидкості
- d. інерційності

3. Міра протидії опору тілу, яке взаємодіє з нею називається:

- a. контактуюча сила
- b. пружна сила
- c. реакція опору
- d. амортизація

4. Сила тяжіння яка діє на тіло залежить від:

- a. рівня розташування тіла
- b. параметрів руху тіла
- c. маси тіла
- d. опору тіла

5. Які сили виникають при прискоренні тіла чи опору:

- a. прискорення
- b. амортизація
- c. інерції
- d. перевантаження чи невагомості

6. Зміна імпульсу механічної системи можливе лише за рахунок:

- a. кінетичної сили
- b. гравітаційної сили
- c. зовнішньої сили
- d. внутрішньої сили

7. Тертя спокою це – \_\_\_\_\_ значення сили тертя перед рушанням:

- a. відємне
- b. стале
- c. максимальне
- d. мінімальне

8. Специфіка рухового завдання, вимагає:

- a. збільшити силу тертя
- b. зменшити силу тертя
- c. зменшити масу
- d. збільшити масу

9. Величина протидії опори тілу, яке взаємодіє з поверхнею – це:

- a. довантаження
- b. реакція опори
- c. опір середовища
- d. амортизація

10. Від яких факторів буде залежати гальмівний шлях шини:

- a. жорсткості протектору
- b. маси автомобіля
- c. тиску в колесі
- d. контактуючої поверхні

## ТЕМА 8

### БІОМЕХАНІКА ОБЕРТАЛЬНИХ РУХОВИХ ДІЙ ТА СТІЙКОСТІ ТІЛА ЛЮДИНИ

#### 8.1. Біомеханічні особливості виконання обертальних рухових дій.

Основу рухових дій людини утворює відносне обертання частин тіла у суглобах. В процесі біомеханічних розрахунків використовується модель тіла людини – «біомеханічна система», яка складається з біоланок, які не деформуються та здійснюють переміщення одна відносно одної за рахунок обертання в біопарах (максимально спрощені моделі суглобів), за рахунок чого і відбувається деформація всієї системи загалом – зміна її пози.

**Обертальний рух твердого тіла** – це вид простого руху, при якому всі досліджувані точки тіла рухаються по колах з центрами на спільній осі. Сума двох чи трьох обертальних рухів (одночасне обертання довкола двох або трьох осей) – **сферичний рух тіла**: усі його точки рухаються по сферах із загальним центром (який знаходиться в точці перетину осей обертання). В процесі біомеханічних розрахунків найчастіше досліджують обертання біоланок відносно кожної з осей окремо, а потім одержані результати сумують: за таких умов дослідження сферичний рух представляється як сума значно простих обертових рухів.

Процес обертання тіла у просторі можна зобразити у вигляді складного обертання навколо трьох осей. Такими можуть бути осі прямокутної системи координат, проте у процесі біомеханічних досліджень зручніше користуватися *системою координат (кутами) Ейлера*. Так наприклад, дзига обертається:

- довкола власної осі (**власне обертання**);
- вісь обертання описує конічну криву поверхню довкола іншої осі (**прецесія**);
- кут між цими двома осями може змінюється (**нутація**). У випадку нетривалого обертання з відносно малою швидкістю, помітним буде тільки власне обертання.



Виконуючи обертання довкола осей, спортсмен утримує власне тіло або окремі його частини на криволінійних траєкторіях чи змінює кривизну цих траєкторій, з метою забезпечити необхідну кінематику та динаміку рухової дії, в процесі її виконується. У деяких випадках швидкість обертального руху зменшується або зростає: обертання *сповільнюється* або *прискорюється*. Обертальні рухи завжди включають у себе елементи власного обертання, сферичного руху, а також радіальний поступальний рух уздовж радіуса від осі або до осі обертання, який змінює сам обертальний рух.

Рух тіла спортсмена довкола осі обертання відбувається лише за умови наявності утримуючого тіла, яке викликає доцентрове прискорення. Навіть при рівномірному обертанні тіла (коли кутова швидкість обертового руху не змінюється), напрямком вектора лінійної швидкості руху всіх досліджуваних точок тіла, що обертається, постійно змінюється. Внаслідок цього виникає радіальне (нормальне) прискорення, яке спрямовано до центра обертання. Власне таке прискорення й одержало назву **доцентрового** (за напрямком його вектора). Таке доцентрове прискорення викликане дією зовнішньої сили, яка має той самий напрямок і називається **доцентровою силою**. Джерелом цієї зовнішньої сили виступає зовнішнє – *утримуюче тіло*, яким може бути спортивний прилад (наприклад перекладина, бруси), опорна поверхня, інша особа (наприклад суперник чи партнер у спорті) або *протилежна частина тіла* спортсмена (наприклад у випадках обертань без опори довкола осей, що обов'язково проходять через центр маси тіла). Проте у випадку коли дія утримуючого тіла припиняється, то завдяки своїй інертності тіло людини продовжує рух по *дотичній* до попередньої заданої траєкторії.

При обертальному русі певної частини тіла довкола суглобової осі утримуючим тілом може виступати сусідня частина тіла, а доцентровою силою буде реакція зв'язку зі сторони цього утримуючого тіла на відповідні м'язові тяги та дію суглобових зв'язок.

Обертаючись частина тіла, діє на утримуюче тіло *відцентровою силою* – реальна сила інерції, що дорівнює за величиною та протилежно спрямованою, ніж доцентрова сила.

При обертанні тіла величина доцентрового прискорення залежить від віддалі до осі обертання та швидкості обертання:

$$a_{\text{дц}} = V^2 / r \text{ (м/с}^2\text{)},$$

де  $a_{\text{дц}}$  – доцентрове прискорення, м/с<sup>2</sup>;

$V$  – доцентрове прискорення, м/с<sup>2</sup>;

$r$  – відстань від ЦМТ до осі обертання, м.

Доцентрова сила, яка викликає доцентрове прискорення, перпендикулярно спрямована вектору лінійної швидкості руху всіх точок тіла, тому змінювати її не може. Її може змінити (зменшити або збільшити) лише *тангенціальна* (дотична до траєкторії) *сила*, перпендикулярна до радіуса, яка викликає *тангенціальне прискорення* (дотичне). Тому при вивченні обертального руху частин тіла людини необхідно чітко розрізняти сили, прикладені вздовж радіуса і перпендикулярно до нього.

Зміна обертального руху тіла, що характеризується зменшенням або збільшенням його кутової швидкості, може бути викликана лише моментом зовнішньої сили (ця сила має бути перпендикулярною до радіуса обертання і не проходить через центр обертання. Оскільки відомо, що до кожного реального тіла завжди прикладені гальмівні сили, які протидіють обертанню, наприклад, тертя між віссю обертання та тілом, опір середовища тощо, тому збільшення кутової швидкості можливе лише за позитивної різниці між моментами гальмівних та рушійних сил.

Момент зовнішньої сили, прикладений до тіла, яке обертається, викликає його кутове прискорення, що пропорційно обернено моменту інерції цього тіла відносно осі обертання:

$$M_z = I \times \varepsilon \text{ (Н} \times \text{м)},$$

де  $M_z$  - момент зовнішньої сили, Н<sup>×</sup>м;

$I$  - момент інерції тіла, кг<sup>×</sup>м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  - кутове прискорення, 1/с<sup>2</sup>.

**Імпульс моменту сили** (дорівнює добутку моменту сили на час) викликає відповідну зміну кутової швидкості обертання тіла:

$$\Delta\omega = S_z/I \text{ (1/c)}$$

де  $S_z$  - імпульс моменту сили ( $S_z = I \times \Delta\omega$  - кінетичний момент);

$I$  - момент інерції тіла,  $\text{кг/м}^2$ .

Оскільки момент інерції тіла стабільний, то досягти збільшення кутової швидкості тіла можна лише за рахунок позитивної різниці між гальмівним та рушійним моментами.

На порядок складніше виглядає питання збільшення кутової швидкості обертання системи біологів (наприклад біомеханічної систем загалом як спрощеної моделі тіла людини): при деформації пози в процесі виконання фізичної вправи людиною вже не можна говорити про кутову швидкість обертання біомеханічної системи загалом, оскільки лінійні швидкості руху – різних точок системи при обертанні змінюються по-різному, і єдиної кутової швидкості для всієї системи не існує. Для того, щоб приблизно оцінити зміни кутової швидкості всього тіла часто знаходять центр маси нижньої та верхньої частин та прийнято вважати лінію, яка з'єднує ці точки, віссю тіла; а кутову швидкість обертання всього тіла людини при цьому ототожнюють з кутовою швидкістю обертання досліджуваної осі.

Отже, моменти, прикладені до тіла людини, що обертається, можуть або сповільнювати, або прискорювати його обертання. Момент сили тяжіння, що діє на тіло людини, яка вільно гоїдається на поперечці, сповільнює його рух при русі вгору, і прискорює обертання тіла коли воно рухається додолу. З погляду теорії перетворення енергії, даний процес можна описати, як поступовий перехід потенціальної енергії положення тіла людини вгору в кінетичну енергію руху її тіла вниз, та навпаки – при подальшому русі вгору. У випадку коли кожному циклу коливань до системи підводити певний порцію енергії (у вигляді прискорювальних

моментів), призначену для компенсації опору повітря й тертя рук об поперечку, то коливання могли б відбуватися необхідний час і навіть (при збільшенні підведення енергії) збільшуватися за амплітудою.

Якщо спортсмен при підйомі вгору зігне ноги в колінних або в кульшових суглобах, момент інерції відносно осі обертання зменшиться, а кутова швидкість зросте, згідно з теоремою про зміну імпульсу механічної системи, (кінетичний момент всієї біомеханічної системи за відсутності зовнішнього моменту повинен залишитись постійним), причому в стільки ж разів, у скільки змінився момент інерції.

Отже, кутова швидкість обертання системи біолонок може змінюватися або за рахунок змін моменту інерції системи відносно осі обертання, або під дією моментів зовнішніх сил.

## ***8.2. Зміна кінетичного моменту біомеханічної системи при обертанні тіла людини.***

Керування рухами довкола осей зі зміною кінетичного моменту всієї біомеханічної системи здійснюється за рахунок проявів моментів зовнішніх сил, для чого необхідне їх джерело – зовнішнє тіло.

Обертальний рух тіла можна змінити *моментом зовнішньої сили* при збереженні пози людини. Наприклад, тренер може за рахунок власної м'язової роботи підкрутити, розгойдати, загальмувати або зупинити обертання тіла свого підопічного, який виконує обертальні рухові дії. У подібних випадках, навіть без попереднього обертання, стороння особа (*зовнішня сила*) може надати тілу людини, яка рухалась поступально, обертання (наприклад у акробатиці, боротьбі, при розгойдуванні дитячої гойдалки чи ліжечка тощо).

Впливаючи на зміну моменту інерції тіла відносно осі обертання за рахунок підтягування на руках ближче до осі обертання або згинання ніг, людина, розгойдуючись, змінює плече прикладання зовнішньої сили – сила тяжіння, завдяки чому від циклу до циклу кутова швидкість руху тіла спортсмена буде зростати або зменшуватись. Це досягається шляхом зменшення від'ємної роботи

сили тяжіння при гальмуванні тіла людини, яке рухається за рахунок активних м'язових тяг вгору, що віддаляють та наближають центр мас від опори.

При відштовхуванні від опори, а також за рахунок рухів у кистях рук спортсмена завдяки силі тертя між поперечкою та долонями, можна привести біомеханічну систему в обертальний рух (за рахунок штучного створення моменту зовнішньої сили). В таких умовах обертання може відбуватися як довкола поздовжньої осі (асиметричне відштовхування від опорної поверхні ногами або від брусів, поперечки, гімнастичного коня тощо руками), так і довкола горизонтальної.

Таким чином, зміна обертального руху системи зі зміною кінетичного моменту системи можлива:

- за рахунок зміни пози при фіксованій осі обертання (моменту інерції відносно осі обертання);
- за рахунок моментів зовнішніх сил, обумовлених дією інших осіб (суперник, тренер, інші тіла (батут) при збереженні пози;
- при активному створенні обертального моменту зовнішніх сил при притягуванні або відштовхуванні до опори.

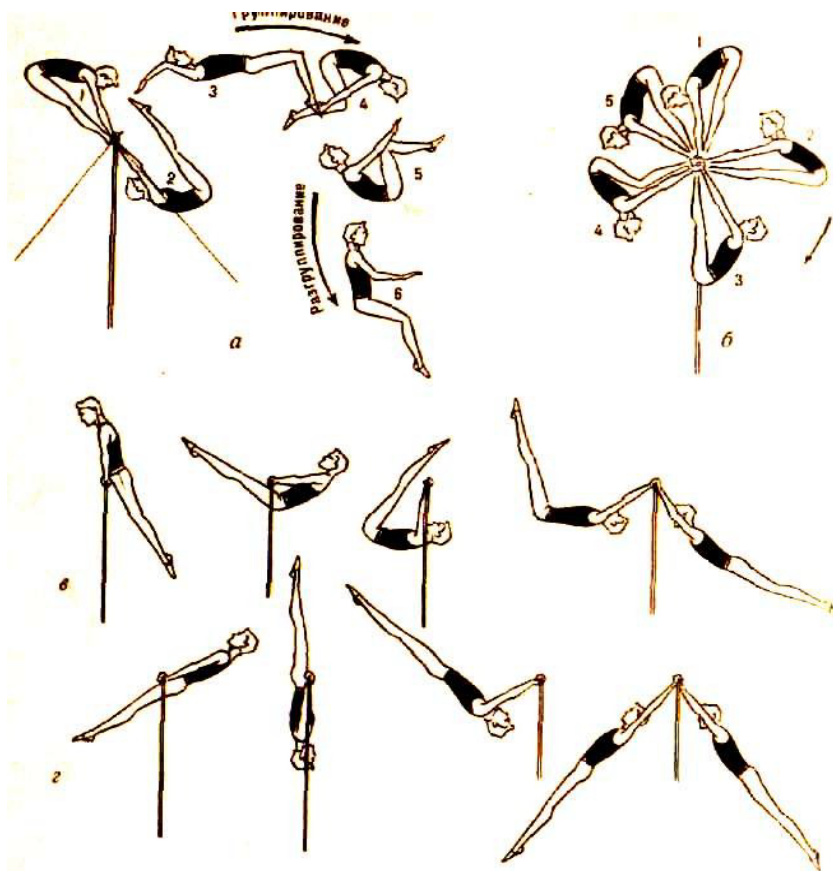
### ***8.3. Приклади обертання тіла людини зі зміною кінетичного моменту біомеханічної системи.***

За умов наявності утримуючого тіла – опори – створюються умови для обертального руху. Реакція опори утримуючого тіла в такому випадку, служить доцентровою силою.

*Оборот назад з упору стоячи зігнувшись:* у цій вправі при згинанні ніг тіло спортсмена наближається до осі обертання, при розгинанні віддаляється, такі зміни положення тіла призводять до зміни моменту інерції відносно осі обертання. Під дією сили тяжіння гімнаст виконує першу половину оберту, розігнувши ноги, завдяки чому він збільшує плече прикладання сили тяжіння. Заключна половина оберту виконується із зігнутими ногами, в якій від'ємна робота сили тяжіння менша за додатну та компенсує втрати енергії

на тертя об вісь обертання та опір повітря. В останній момент (вгорі, над поперечною) спортсмен випрямляє ноги, піднімаючи центр маси тіла у вихідне положення, та знову виходить у початкове положення (рис.8.1, б).

*Підйом розгином на поперечці:* дана вправа виконується з положення вису в положенні упору (рис. 8.1, в, г). У кінці маху вперед гімнаст згинає тіло в кульшових суглобах, наближаючи максимально близько ноги до осі обертання. Як наслідок зменшується момент інерції та рух тіла, яке відбувається під дією сили тяжіння, стає інтенсивнішим (швидкість обертання зростає).



*Рис. 8.1. Приклади обертальних вправ:*

*а - зіскок дугі з поперечки із сальто;*

*б - оборот назад з упору стоячи на поперечці зігнувшись;*

*в, г - підйом розгином на поперечці.*

Існує також інший спосіб наближення тіла до осі обертання – розгинання рук у ліктьових та плечових суглобах (тіло випрямляється). У результаті цього руху спортсмен починає підйом

в упор у протилежний бік із швидкістю, достатньою для завершення вправи в положенні упору на поперечці або стійки на кистях.

*Обертальні рухи із збереженням рівноваги тіла:* у прикладних видах спорту часто доводиться розв'язувати завдання збереження рівноваги тіла під час руху спортсмена по криволінійній траєкторії (найчастіше – при проходженні поворотів траси). Класичними завданнями які вирішує біомеханіка у такому випадку є:

- розрахунок *найбільшої кривизни* (найменший радіус) *траєкторії руху* спортсмена (мотоцикліста, велосипедиста, ковзаняра, бігуна, гірськолижника тощо) та відповідного цій кривизні *максимального нахилу до поверхні траси* при заданому *коефіцієнту тертя шин* (взуття, лиж) і покриття траси та *лінійній швидкості руху*;
- розрахунок *найбільшої кривизни* (найменший радіус) *траєкторії руху* автомобіля (боба, саней, мотоцикла тощо) без його перекидання, при заданому *коефіцієнту тертя шин* і покриття траси та *лінійній швидкості руху*. В обох прикладах розв'язок завдання полягає у вивченні сил, які діють на досліджувану біомеханічну систему.

Зазначивши сили, які діють на систему «велосипед-велосипедист» при проходженні криволінійної ділянки траси (рис. 8.2), можна виявити:

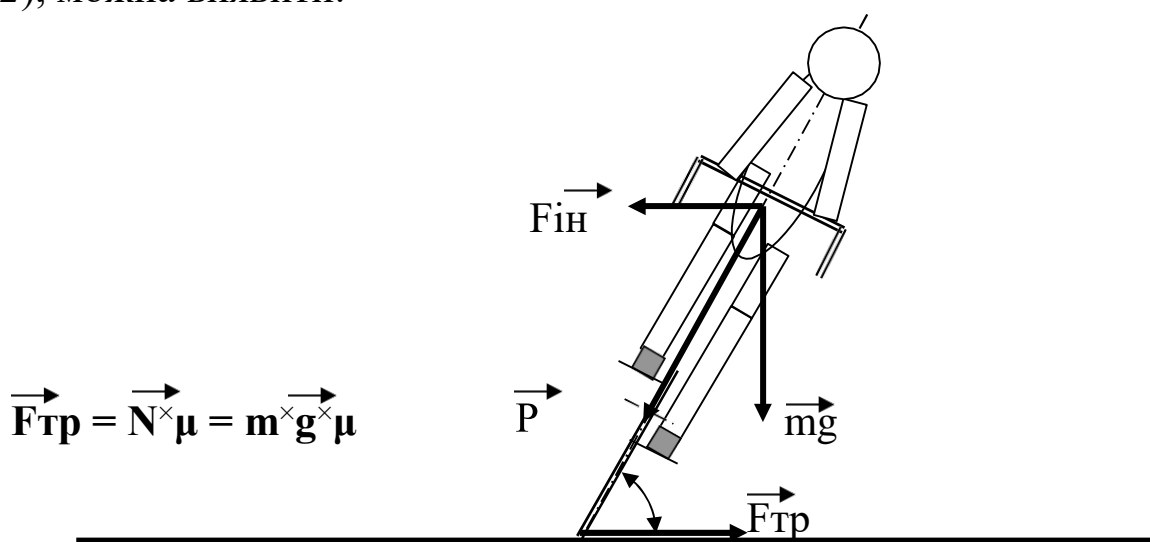


Рис. 8.2. Розрахункова схема руху біомеханічної системи «велосипед-велосипедист» по криволінійній траєкторії

- доцентровою утримуючою силою є сила тертя  $\mathbf{F}_{\text{тр}}$  між покриттям опорної поверхні та шинами коліс;
- утримуючим тілом біомеханічної рухомої системи на криволінійній траєкторією, є опорна поверхня (покриття траси);
- на біомеханічну систему діє сила інерції  $\mathbf{F}_{\text{ін}}$  і сила тяжіння  $\mathbf{mg} = \mathbf{m} \times \mathbf{a} = \mathbf{V}/\mathbf{r}$ , які врівноважуються реакцією опори:

$$\vec{\mathbf{R}} = - (\vec{\mathbf{F}}_{\text{ін}} + \mathbf{m} \times \vec{\mathbf{g}}) \text{ (Н)};$$

- вертикальна складова реакції опори врівноважує притискаючу силу  $N$ , яка дорівнює силі тяжіння біомеханічної системи  $\mathbf{mg}$ ;
- горизонтальну реакцію опори складає сила тертя, яка врівноважує силу інерції.

$$\text{Звідси: } \vec{\mathbf{F}}_{\text{тр}} = \mu \times \mathbf{m} \times \vec{\mathbf{g}} = \vec{\mathbf{F}}_{\text{ін}} = \mathbf{m} \times \vec{\mathbf{a}} = (\mathbf{m} \times \vec{\mathbf{V}}^2) / \mathbf{r} \text{ (Н)},$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя;  
 $\mathbf{r}$  - радіус повороту.

$$\vec{\mathbf{V}} = \sqrt{\mu \times \mathbf{g} \times \mathbf{r}} \text{ (м/с)}, \quad \mathbf{r} = \vec{\mathbf{V}}^2 / (\mathbf{g} \times \mathbf{m}) \text{ (м)}$$

Щоб визначити кут нахилу системи, який відповідає знайденому мінімальному допустимому радіусу повороту при заданій лінійній швидкості руху біомеханічної системи використаємо зумовлену заданим коефіцієнтом тертя нерівність:

$$\mathbf{F}_{\text{ін}} < \vec{\mathbf{F}}_{\text{тр}} = \mathbf{m} \times \vec{\mathbf{g}} \times \mu \text{ (Н)},$$

$$\mathbf{m} \times \mathbf{g} \times \text{tg } \alpha > (\mathbf{m} \times \mathbf{V}^2) / \mathbf{r}, \quad \alpha > \text{arctg } \mathbf{V}^2 / (\mathbf{r} \times \mathbf{g}).$$

Для розв'язку другого завдання розглянемо розрахункову схему (рис. 8.3):



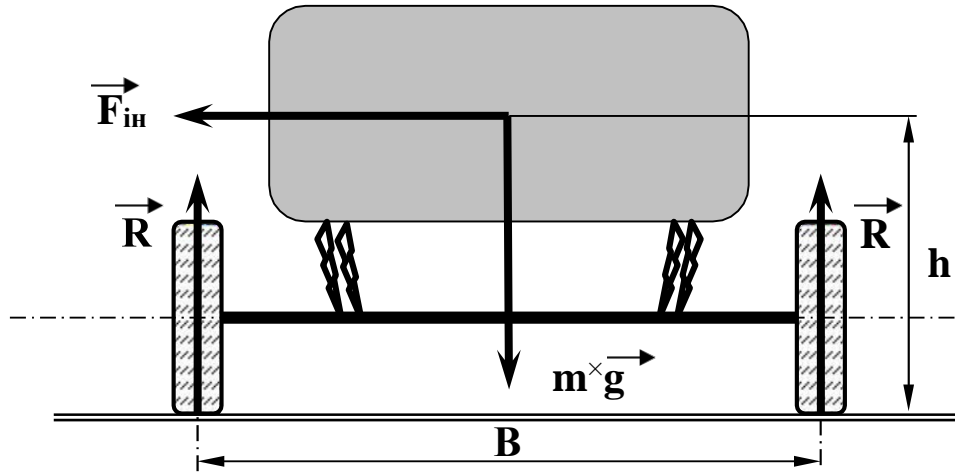


Рис. 8.3. Розрахункова схема руху автомобіля криволінійною траєкторією

Мінімальне значення радіуса повороту автомобіля розраховується за аналогією попереднього завдання:

$$r = V^2 / g \mu \text{ (м)}.$$

За умов зменшення розрахованого вище радіуса повороту чи за умов збільшенні лінійної швидкості руху почнеться бокове ковзання автомобіля (занос).

Для визначення небезпеки перевертання необхідно врахувати, що сила інерції створює перекидаючий момент відносно осі, які проходить через краї точок контакту зовнішніх коліс із дорогою (т. В на рис. 8.3):

$$\vec{M}_{\text{пер}} = \vec{F}_{\text{ін}} \times \vec{h} = m \times \vec{V}^2 \times \vec{h} / r \text{ (Н} \times \text{м)}.$$

Перекидаючий момент сили інерції даної біомеханічної системи врівноважується повертаючим моментом сили тяжіння:

$$\vec{M}_{\text{врів}} = m \times \vec{g} \times \vec{B} / 2 \text{ (Н} \times \text{м)}.$$

Якщо коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою (*коефіцієнт тертя*) достатньо великий, а центр мас біомеханічної системи *водій-автомобіль* знаходиться високо над рівнем дороги, може виникнути загроза перекидання автомобіля:

$$\vec{M}_{\text{пер}} \leq \vec{M}_{\text{врів}} \quad m \times \vec{V}^2 \times \vec{h} / r \leq m \times \vec{g} \times \vec{B} / 2.$$

Тому

$$2 \times V^2 \times h \leq g \times B \times r;$$

$$r \geq 2 \times V^2 \times h / g \times B \text{ (м);} \quad V = \sqrt{r \times g \times B / 2H} \text{ (м/с).}$$

Збільшення маси автомобіля ніяким чином не впливає на розраховані нами показники, що простежується з одержаних залежностей (збільшення повертаючого моменту пропорційне збільшенню перекидаючого моменту, а збільшення притискаючої сили пропорційне силі інерції). Проте збільшення маси розглянутих в обох прикладах біомеханічних систем пропорційно збільшує потужність, час, енергозатрати її розгону (багаточисельних розгонів під час долання траси змагань), а також знижує ефективність гальмування (збільшення часу гальмування, гальмівного шляху, прискорене зношування, перегрівання, а від нього – закипання гальмівної рідини, зниження ефективності її роботи та можлива аварія гальмівної системи).

Тому у розглянутих вище та подібних видах спорту намагаються знизити масу біомеханічної системи до мінімально допустимої, максимально опустити ЦМТ і використати шини (ковзани, взуття, лиж тощо) з максимальн коефіцієнтом зчеплення із покриттям траси.

#### **8.4. Обертання тіла людини без зміни кінетичного моменту біомеханічної системи.**

Вправне керування рухами довкола осей при збережені кінетичного моменту системи здійснюється внутрішніми силами за допомогою *зустрічних рухів*.

Так званий *ефект «падаючої кішки»*, як виявилось при аналізі швидкісної кінограми, зумовлений поворотом тулуба тварини у необхідному напрямку за рахунок швидкого обертання хвостом в протилежному напрямку. Акробати, гімнасти, в безопорній фазі фізичної вправи, повертаючи одну або дві руки у фронтальній площині, як наслідок починають також обертатися навколо фронтальної осі, проте повільно (тому що момент інерції рук

набагато менший за момент інерції всього тіла) і в протилежному напрямку – оскільки сума векторів кінетичних моментів усіх складових частини біомеханічної системи повинна залишитися незмінною. При обертанні рук у боковій площині все тіло спортсмена також починає повільно обертатися, проте вже довкола відповідної горизонтальної осі і так само у протилежному напрямку відносно рук.

У спортивних іграх поворот верхньої частини тіла гравця в безопорній (під час стрибка) фазі вправи, викликаний необхідністю негайного розв'язання тактичних чи технічних завдань, які виникли вже під час польоту і не були враховані спортсменом при відштовхуванні від опори до стрибка, можливий, але за умови обов'язкового повороту на той самий кут, але в протилежну сторону, нижньої частини тіла спортсмена.

В усіх вище наведених прикладах кінетичний момент біомеханічної системи залишається незмінним – кінетичні моменти частин тіла, що обертаються у протилежних напрямках, однакові за величиною і протилежні за знаком, але їх сума дорівнює нулю.

Маючи початкове обертання тіла (припустимо з невеликою кутовою швидкістю), гімнаст у безопорній фазі може змінювати своє обертання, але лише у межах вихідної (початкової) величини кінетичного моменту, тобто збільшити власну кутову швидкість за рахунок пропорційного зниження моменту інерції тіла відносно осі обертання, яка завжди проходить через ЦМТ та, навпаки, за рахунок зміни пози (наприклад групуючись або навпаки).

В безопорній фазі змінити орієнтацію тіла людини без участі зовнішніх сил можна лише шляхом складного обертання: спочатку згинають тіло у поперековому відділі хребта (наприклад обличчям до стоп), а потім, поступово розслабляючи м'язи, що згинають тулуб вперед, і напружуючи м'язи, які згинають тулуб у правий чи лівий бік, скручують тіло навколо його деформованої у попереку вертикальної осі. Після цього спортсмену можна випрямитись, але після цього все тіло буде орієнтоване в просторі обличчям уже в протилежний бік.

В безпорній фазі складне обертання тіла людини можна описати, застосовуючи кути Ейлера: спочатку людина виконує *зустрічну нутацію* нижньої і верхньої частин тіла – згинає його назад, вперед чи вбік. Далі одночасно відбуваються власне обертання нижньої та верхньої частин тіла у поперековому відділі хребта і їх *прецесія*: осі обох частин біомеханічної системи описують конічні поверхні, проте у протилежних напрямках. Внаслідок зустрічних колових рухів нижньої та верхньої частин тіла спортсмена змінюється орієнтація всієї біомеханічної системи в просторі (як після обертання). Після завершення заданої переорієнтації у просторі біомеханічної системи відбувається *зворотня нутація* – тіло випростовується. Кінетичні моменти нижньої та верхньої частин тіла при такому складному обертанні взаємно врівноважуються, а тому кінетичний момент усієї системи залишається незмінним.

В спортивній практиці спортсмени широко використовують усі описані вище способи зміни обертання тіла без зміни кінетичного моменту (імпульсу) свого тіла: і завдяки закручуванню нижньої частини тіла відносно верхньої, і за рахунок зустрічних рухів, і завдяки зміні моменту інерції тіла шляхом деформації пози, і за рахунок складного обертання (згинання тіла у поперековому відділі хребта з наступним обертанням довкола деформованої вертикальної осі).

### ***8.5. Приклади обертання тіла людини без зміни кінетичного моменту біомеханічної системи.***

У випадках обертання тіла навколо вільних осей (які проходять через центр маси тіла), зовнішнє утримуюче тіло відсутнє. Окремі частини тіла людини, рухаючись по криволінійним траєкторіям, утримуються внутрішніми силами – тягами сухожилків і м'язів. При цьому сили інерції (відцентрові сили) одних частин виступають доцентровими (утримуючими) силами для інших частин біомеханічної системи, що знаходяться по іншу сторону від осі обертання.

Наприклад *зіскок дугою з перекладини із сальто вперед*: із положення упору на поперечці стоячи зігнувшись, спортсмен під дією сили тяжіння починає здійснювати рух довкола осі поперечки назад. Долаючи горизонтальне положення тіла, за рахунок згинання ніг в колінних суглобах та розгинання ніг у кульшових, гімнаст, відпускаючи поперечку, починає переходити в обертання, швидкість якого потім збільшується завдяки групуванню. Після виконання сальто вперед знову виконується розгрупування з метою пригальмувати рух тіла та наступне приземлення.

Наприклад *стрибок у воду півтора гвинта*: після відштовхування від пружної опори тіло спортсмена набуває обертання навколо власної поперечної осі. Потім, завдяки згинанню тулуба в поперековому відділі хребта, відбувається складне обертання, у результаті якого за умови нерухомого положення рук змінюється орієнтація тіла спортсмена (з положення *обличчям вгору* в положення *обличчям додолу*). Групування спортсмена відносно поперечної осі тіла викликає прискорення обертання відносно неї, яке перед самим входом у воду припиняється завдяки розгрупуванню тіла.

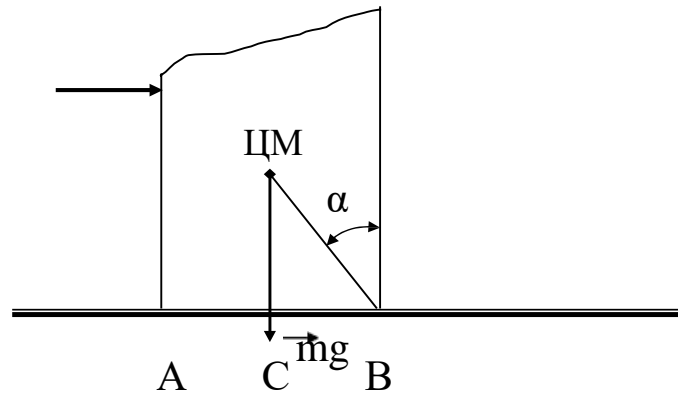
### **8.6. Стійкість та способи її оцінювання.**

**Стійкість** – це здатність явища, системи, процесу або тіла повертатись у вихідне положення після припинення відхиляючої дії.

У процесі виконання рухових дій людині досить часто доводиться затримувати на деякий час (зафіксувати) необхідні пози: вихідну (стартове положення), проміжну (фіксація пози у акробатиці чи гімнастиці), кінцеву (важка атлетика) тощо. Крім власного тіла, часом спортсменам доводиться утримувати в рівновазі партнера (у фігурному катанні чи акробатиці), предмети (штанга).

Утримання пози (відповідні кути в суглобах) і розташування та орієнтація свого тіла в просторі відносно площі опори відбувається шляхом урівноважування зовнішніх сил, що діють на тіло людини таким чином, аби їх сума (головний вектор) та сума усіх хі моментів (головний момент) відносно центру миси тіла завжди дорівнювали

нулю. Натомість, внутрішні сили повинні, в той самий час забезпечити збереження пози.



*Рис. 8.4. Момент стійкості та кут стійкості тіла, що знаходиться у рівновазі*

Зазначене на *рис. 8.4* стосується збереження лише динамічної пози в польоті або на опорі (санний спорт, спуск на лижах тощо).

*Стійкість* оцінюється за різними критеріями (як і рухові якості, наприклад швидко-силові) залежно від конкретного завдання, що виконується людиною.

Найпоширенішим критерієм оцінки стійкості тіла біомеханічної системи є *кут стійкості* (*рис. 8.4*).  $\alpha$  – кут стійкості праворуч  $\mathbf{m} \times \mathbf{g} \times \mathbf{BC}$  – момент стійкості праворуч.

В процесі досліджень, виявилось, що для кожного тіла існує максимально допустимий (критичний) кут нахилу відносно вертикалі, при якому проекція центра маси тіла ще не виходить за межі площі опори у заданому напрямку руху. Таким чином, відрізняють стійкість вперед, назад, ліворуч та праворуч (або у спеціальних випадках – в інших напрямках). Критичний кут нахилу залежить від розмірів площі опори біомеханічної системи відносно проекції ЦМТ у заданому напрямку та від висоти ЦМТ. Спортсмени різних видів спорту прекрасно усвідомлюють і знають, куди можна бути спрямувати наступну вірогідну відхиляючу дію, і за рахунок відповідно обраної стійки (позы, посадки) можуть збільшити її у згаданому напрямку в кілька разів. Проте спортивна практика

показує, що на стійкість людини істотно впливає маса тіла: при всіх інших однакових умовах зрушити з місця бетонний куб значно важче, ніж порожню картонну коробку таких самих розмірів. Саме маса враховується представниками різних видів спорту; у боротьбі це одна з умов, які зумовлюють поділ спортсменів на вагові категорії. Особливості будови тіла (пропорції, конституціональні особливості, тотальні розміри) дають значну перевагу у випадках, коли положення центра маси тіла визначає стійкість. З даної позиції дуже легко пояснити біомеханічні критерії щодо якості пози спортсмена під час виконання різних рухових дій.

*Момент стійкості* демонструє, як тіло протидіятиме відхиляючим діям різної інтенсивності; спортсмени намагаються розташувати своє тіло таким чином, щоб найактивніше протидіяти різним прийомам з арсеналу суперників і одночасно найефективніше виводити їх із стану рівноваги.

Отже, стійкість тіла людини залежить від висоти розташування його ЦМ, площі опори та її розмірів від його проекції до країв опори у заданих напрямках, та від маси тіла і наявності супутніх повертаючих (притискаючих до опори) сил.

### **8.7. Види рівноваги тіла людини.**

Загалом розрізняють *чотири види* рівноваги тіла: *стійка, нестійка, умовно стійка та байдужа*. До якого конкретного виду відноситься рівновага тіла у конкретних умовах, можна визначити за наступним критерієм: *чи повертається тіло у вихідне положення рівноваги після припинення дії відхиляючих чинників*.

Так, у випадках виникнення повертаючих сил або моментів сил при намаганні відхилити тіло від положення рівноваги (наприклад при відхиленні гімнаста, що висить на поперечині), рівновагу називають *стійкою*.

У протилежних випадках рівновага буде *нестійкою*.

При поступовому зменшенні моменту повертаючих сил та з поступовим збільшенням відхилення від вихідного положення говорять про *обмежено стійку рівновагу*.

*Байдужою* прийнято називати рівновагу тіла у випадках, коли воно не повертається у вихідне положення, але й не продовжує відхилятися після припинення дії відхиляючих факторів (наприклад положення борця на татамі коли суперника відтягнули від його зайнятої у партері позиції у будь-яку сторону).

На практиці ж, лише невелике кількість поз тіла людини є дійсно стійким: переважна ж більшість з поз – це умовно стійка рівновага, яка внаслідок невеликих розмірів площі опори, та активних дій суперників, легко змінюється на нестійку. Загалом, в біомеханічних дослідженнях, стійкість тіла людини у випадку обмежено-стійкої рівноваги краще оцінювати за величиною кута стійкості.

### **8.8. Збереження рівноваги тіла людини при виконанні фізичних вправ та їх особливості.**

Найважче утримувати рівновагу у випадках необхідності постійно змінювати позу. До таких випадків відноситься й утримання динамічної рівноваги під час стрибків, бігу, прийомів в одноборствах, виконання складних гімнастичних вправ тощо. Враховуючи переміщення ЦМТ та швидкість і напрямок її руху, людина, як біомеханічна система, намагається максимально точно «*підставити*» під його проекцію опору.

Натомість жива біомеханічна система володіє рядом основних відмінностей щодо збереження рівноваги в порівнянні з неживими системами.

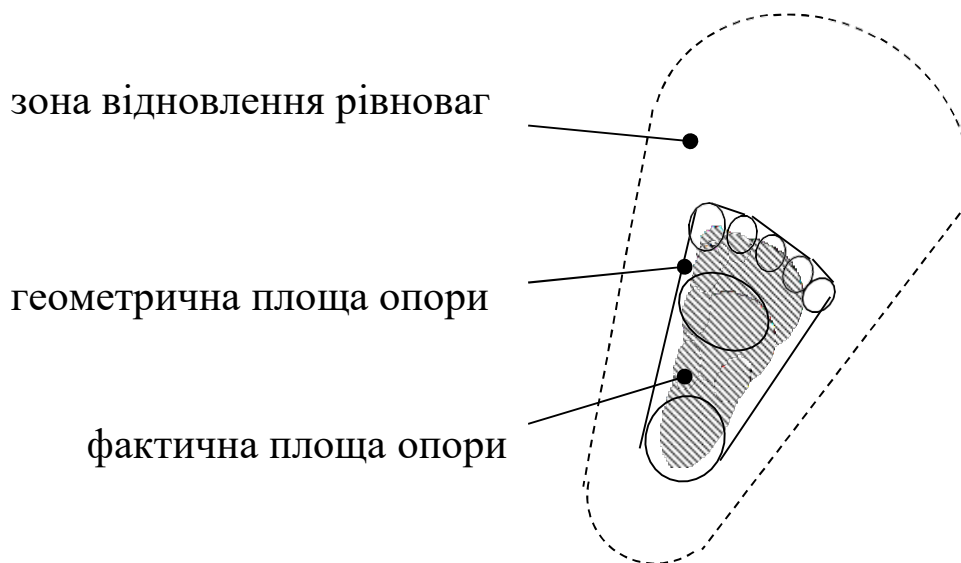
По-перше – це відмінності між *фактичною* і *геометричною* (площа контакту) площею опори.

По-друге – це наявність так званої *зони відновлення рівноваги*, яка властива тільки живим тілам (*рис. 8.5*).

Босоніж людина гірше утримує рівновагу, оскільки геометричний відбиток не взутої ноги не відображає розмірів фактичної площі опори, на яку стопа людини може спиратися (фактична опора обмежана кістковими утвореннями стопи зі сторони підошви). В різних видах спорту спеціальне взуття (яке трансформоване, наприклад у лижі), дає змогу спортсмену стійкіше



відчувати себе у більшості ситуацій.



*Рис. 8.5. Зона відновлення рівноваги, фактична площа опори і геометрична*

Навіть коли проекція центра маси тіла може вийде за межі площі опори, жива система за рахунок *амортизуючих, вирівнюючих та утримуючих* рухових дій ногами, руками і тулубом без особливих труднощів повертає спортсмена у межі площі опори. Часом загальна рухова дія або її елемент полягають у постійній корекції положення ЦМТ спортсмена в межах невеликої площі опори. У переважній кількості випадках для діагностики координаційних здатностей, контролю і відбору спортсменів тощо часто застовується стабілографія, результати якої дозволяють оцінити вміння досліджуваних спортсменів утримувати проекцію центра маси тіла над невеликою площею.

Спеціальні аеродинамічні пристрої різноманітних спортивних приладів, які притискають їх до опорної поверхні в процесі долаття дистанції, дозволяють значно (до 50 %) збільшити їх динамічну стійкість при подоланні поворотів за рахунок збільшення моменту стійкості без зміни положення центра маси тіла та розмірів площі опори.

## Тестові завдання до теми 8 для самоперевірки знань

1. Сума двох або трьох обертових рухів називається:
  - a. обертовий рух тіла
  - b. векторний рух тіла
  - c. сферичний рух тіла
  - d. криволінійний рух тіла
2. При обертанні вісь тіла описує криву конічну поверхню довкола іншої осі називається:
  - a. нутація
  - b. незалежне обертання
  - c. власне обертання
  - d. прецесія
3. Що не включається в рівняння визначення доцентрової сили:
  - a. відстань від центру маси тіла та радіус
  - b. дотичне прискорення
  - c. лінійна швидкість руху центра мас тіла
  - d. доцентрове прискорення
4. Якого обертання тіла не існує:
  - a. Нутація
  - b. незалежне обертання
  - c. власне обертання
  - d. прецесія
5. Радіальне прискорення тіла виникає при:
  - a. обертанні всіх точок тіла із зміною опори обертання
  - b. обертанні всіх точок тіла з сповільненням
  - c. обертанні всіх точок тіла з прискоренням
  - d. рівномірному обертанні всіх точок тіла
6. Які складові не враховуються до розрахунку моменту зовнішньої сили обертового тіла:
  - a. доцентрове прискорення
  - b. момент інерції тіла
  - c. кутове прискорення
  - d. лінійне прискорення

7. *Обертний рух твердого тіла це – вид простого руху, при якому усі точки тіла рухаються по \_\_\_\_\_.*

- |   |  |
|---|--|
| <b>a.</b> гіперболі з центрами на спільній вісі | <b>c.</b> гіперболі з центрами на різних вісях |
| <b>b.</b> колах з центрами на спільній вісі     | <b>d.</b> колах з центрами на різних вісях     |

8. *Яка сила не входить до складу нормальної притискаючої сили:*

- |                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| <b>a.</b> опору                  | <b>c.</b> тяжіння |
| <b>b.</b> аеродинамічні складові | <b>d.</b> інерції |

9. *Якої вісі обертання тіла у просторі не існує:*

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| <b>a.</b> нутація           | <b>c.</b> власне обертання |
| <b>b.</b> змінене обертання | <b>d.</b> прецесія         |

10. *Яких видів рівноваги тіла людин не існує:*

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| <b>a.</b> стабільна     | <b>d.</b> байдужа  |
| <b>b.</b> умовно стійка | <b>e.</b> стійка   |
| <b>c.</b> нестійка      | <b>f.</b> порушена |

## ТЕМА 9

### БИОМЕХАНІКА ЛОКОМОТОРНИХ ТА ПЕРЕМІЩАЮЧИХ РУХОВИХ ДІЙ

#### 9.1. *Поняття про локомоції людини. Завдання локомоторних рухових дій.*

В своїй структурі всі локомоторні рухові дії мають *спільне завдання*: перемістити власне тіло з дотриманням певного ряду додаткових умов (траса, стиль, командні вимоги, технічні вимоги до спорядження тощо). Переважна більшість *локомоцій* (переміщень власного тіла) складає основу самостійних видів спорту, інші – власне способи пересування у одноборствах, спортивних іграх, при виконанні інших фізичних вправ (оздоровчого характеру). Рушійними силами тут виступають і м'язові тяги, і сила тяжіння, і рух середовища, і дія тварин, і механічна дія двигунів різного характеру, і електропривід від сонячних батарей тощо.

Переважну більшість *наземних локомоцій* створює відштовхування від опорної поверхні. Практично в усіх випадках відштовхування починається з підготовчої фази – *амортизації*. Саме амортизація дозволяє загасити вертикальну швидкість руху додолу ЦМТ після фази польоту тіла за рахунок виконання м'язами-розгиначами опорними частинами тіла після поступальної роботи. Для ходьби людини також характерні циклічні вертикальні переміщення ЦМТ в кожному кроці, та, відповідно, присутня фаза амортизації, проте її виразність не така яскрава, як у бігу чи в стрибках після розгону. Амортизації як фаза може виконуватись також і руками (акробатика опорний, стрибок тощо).

Амортизацію досить просто виявити за результатами оптичної реєстрації фізичної вправи: вона починається з моменту контактної взаємодії амортизуючої частин (частини) тіла з опорною поверхнею і триває до моменту найбільшого згинання вказаної частин (частини) тіла в колінних (ліктьових тощо) суглобах.

Величина реакції опори на початку фази амортизації невелика, але вона швидко досягає максимальної величини та може у декілька

разів перевищувати масу тіла в стані спокою. Це стосується не лише приземлення після фази польоту, а й початку ходьби та стрибка з місця: щоб виконати відштовхування від опорної поверхні людина спочатку підгинає ноги, змінюючи (кидаючи) ЦМТ додолу, а потім гальмує цей рух ЦМ і розпочинає його розгін вгору.

## **9.2. Механізм відштовхування від опори.**

Власне процес відштовхування від опори виконується за рахунок *махових рухів* та *відштовхування*. Зазначені рухи ні в якому разі в біомеханічних дослідженнях не можна трактувати як окремі незалежні фази однієї окремої вправи: вони завжди виконуються синхронно (циклічно) і активно впливають один на одиний. Простий експеримент показує, що результат стрибка у довжину чи висоту, показаний при відштовхуванні без маху, а результат стрибка від самого маху окремо без активного відштовхування у сумі дають значно менший ефект, ніж вправа, виконана в стандартних (нормальних) умовах.

***Роль махових рухів*** двояка:

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

Зареєструвати величину опорної реакції при відштовхуванні від опори складно, адже вона постійно змінюється за напрямком і величиною. Для реєстрації потрібен спеціальний стаціонарний тензодинамометр – так звана *тензоплатформа*, що дозволяє зареєструвати вертикальні, горизонтальні (а при потребі – й бокові)

складові реакції опори які відбуваються у різні моменти процесу відштовхування.

Процес відштовхування від опори – хороший приклад, що допомагає розібратись із *рушійною силою переміщення біомеханічної системи*. Беручи до уваги, що єдиною прикладеною зовнішньою силою, яка повинна розігнати тіло вгору, є тільки реакція опори, проте її механічна робота дорівнює нулю, що зумовлене нерухомістю самої опори (як виняток, можна пригадати підкидну дошку циркових акробатів, яка дійсно рухома). Тобто фактичною причиною зміни енергії тіла виступає *м'язова робота – внутрішні сили* біомеханічної системи, але *обов'язковою умовою* їх прояву у такій ролі є наявність реакції опори, без власне якої відштовхування неможливе. З погляду класичної механіки, цей парадокс легко пояснити достатньо просто: спочатку біомеханічна система веде себе як дві незалежні частини: нерухомі опорні частини тіла людини і решта рухомих його частин, які в процесі рухового завдання взаємно відштовхуються. Враховуючи, що переміщатися опорним ланкам біомеханічної системи заважає наявність опори, прискорення набуває інша частина системи, яка в заключний момент – відрив від опори – «забирає» після своєї роботи опорні частини тіла.

*Напрямок найбільшого вектора реакції опори у стрибках, бігу, ходьбі тощо завжди проходить перед центр маси тіла (рис. 9.1, а),* адже при постановці ноги на опору тіло одержує обертальний імпульс вперед, який відповідно компенсує момент опорної реакції відносно ЦМТ. В стрибку з метою виконання сальто напрямком вказаного вектора спрямований в інший бік (рис. 9.1, б).

### **9.3. Особливості стартових дій в біомеханічних дослідженнях.**

*Стартові дії* в різних видах спорту істотно відрізняються за своєю структурою та характером дії, тому можна виділити лише кілька їх спільних ознак, які дозволять більш повно вивчити цей істотний елемент змагальної діяльності (наприклад у спринтерському бігу успішний старт визначає до 35-40 % загального спортивного результату):

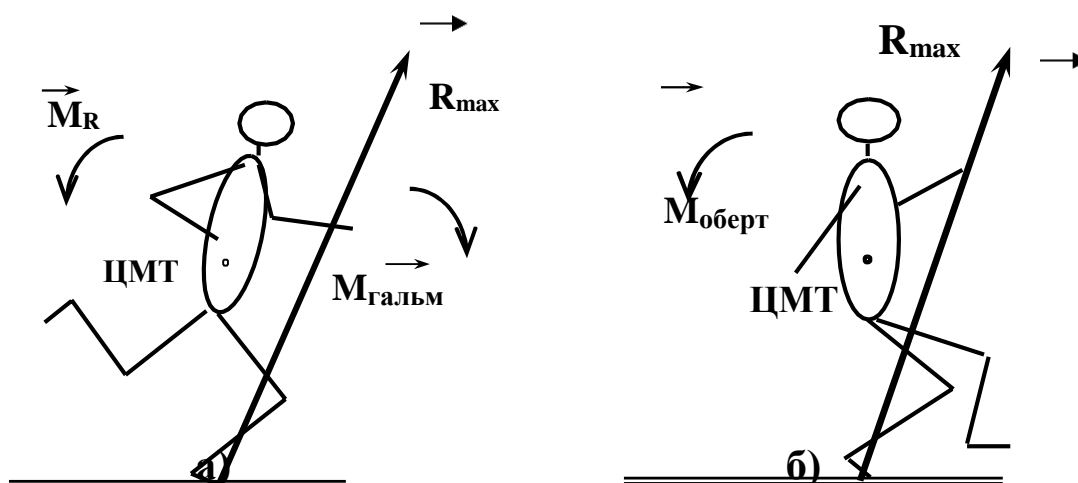


Рис. 9.1. Напрямок найбільшого вектора реакції опори при відштовхуванні в бігу (а) та для виконання сальто назад (б)

- *стартова поза* (стартове положення);
- *стартові рухи*;
- *стартовий розгін*.

**Стартова поза** першочергово визначається видом спорту та правилами змагань, проте має і багато індивідуальних особливостей. Найважливіше завдання стартового положення – забезпечити максимально ефективно використання потенціальних можливостей спортсмена для швидкого розгону ЦМТ у потрібному напрямку руху. Тому при можливості використання різноманітних засобів проти буксування (наприклад футбольних бутців, легкоатлетичних шипів) кут нахилу спортсмена на старті значно більший, ніж в інших видах стартових дій, адже реакція опори за рахунок випрямляючого моменту тіла спортсмена відносно центра мас може перекинути його назад. Веслярі та велосипедисти приймають позу, що дозволяє уникнути пробуксовування між спортивним опором та приладом, і обирають оптимальне співвідношення між кутами в суглобах (враховуючи власну антропометрію) для максимального використання індивідуальних особливостей будови власного тіла при наступних стартових рухах та рухової дії загалом.

**Стартові рухи** – це специфічні дії, які лише частково (за зовнішньою картиною рухів) нагадують рухові дії спортсмена на дистанції. В першу чергу вони істотно відрізняються за частотою

(яка від нуля зростає до максимально можливої), величиною максимальних і середніх зусиль (які у декілька разів більші, ніж на дистанції) та їх розподілом в кожному циклі, значними переміщеннями у боковій площині, що викликані неможливістю зберегти рівновагу тіла внаслідок значних зусиль відштовхування та ін. Методика тренування стартових дій суттєво відрізняються від методики тренування інших змагальних елементів, що в першу чергу зумовлене іншими режимами роботи м'язів, їх енергетикою тощо.

*Стартовий розгін* дозволяє досягнути спортсмену швидкості, необхідної для руху по дистанції. В легкій атлетиці та різних спринтерських видах ця швидкість зростає до максимальної, а далі поступово зменшується, у зв'язку з чим розгін у спринті триває довше і займає більшу частину дистанції, ніж, наприклад, у стайерських видах. В стартовому розгоні відбувається зміна системи рухів, цикл за циклом та наближається від стартових дій до нормального стилю додання дистанції. В переважній більшості випадків – це зменшення частоти і збільшення довжини кроків, піднімання тулуба до нормального робочого положення тощо. *Снідограми стартового розгону*, наприклад, велосипедистів-спринтерів, дозволяють провести аналіз різних сторін підготовленості спортсменів і таким чином раціонально індивідуалізувати їх різнобічну підготовку.

#### **9.4. Дальність польоту тіл.**

Основним завданням переміщаючих рухових дій є переміщення різних спортивних приладів на точність (спортивні ігри, стрільба, фехтувальна зброя або боксерська рукавичка), дальність (метання), за заданою траєкторією (предмети в художній гімнастиці), з дотриманням ряду специфічних вимог щодо способу виконання рухової дії (штанга), а також переміщення суперника (боротьба), партнерів (фігурне катання, акробатика) тощо.

Оскільки більшість переміщаючих рухових дій пов'язана з метаннями, стрільбою, ударами по м'ячу тощо, розглянемо основні біомеханічні характеристики польоту спортивних приладів.



*Точність і дальність* польоту спортивних приладів залежить від кута і висоти їх випуску та швидкості вильоту, а також від аеродинамічних взаємодій з повітряним середовищем та його переміщення (швидкість та напрямок вітру).

Якщо не враховувати вплив середовища, то *оптимальним кутом випуску* спортивних приладів вважається кут  $45^\circ$  відносно поверхні. Проте, враховуючи силу лобового опору середовища та інші аеродинамічні ефекти, оптимальні кути випуску різних спортивних приладів набирають різні значення:  $30-40^\circ$  – для списа,  $36-38^\circ$  – у безвітряну погоду і менше  $30^\circ$  – проти вітру – для диска,  $38-41^\circ$  – для ядра,  $42-44^\circ$  – для молота тощо.

Кут випуску спортивних приладів розглядають як *кут місцевості*, *азимут* і *кут атаки*.

**Кут місцевості** – це кут між поверхнею (горизонталлю) та напрямком вектора швидкості (рис. 9.2). Задається цей кут металником, гравцем, стрільцем та впливає на точність попадання вперед-назад (або вгору-додолу).

**Азимут** – це фактичний кут відхилення початкової траєкторії польоту предмета від заданого напрямку (бісектриси сектора для метань) праворуч-ліворуч; цей кут відхилення визначає цільову точність у вказаному напрямку.

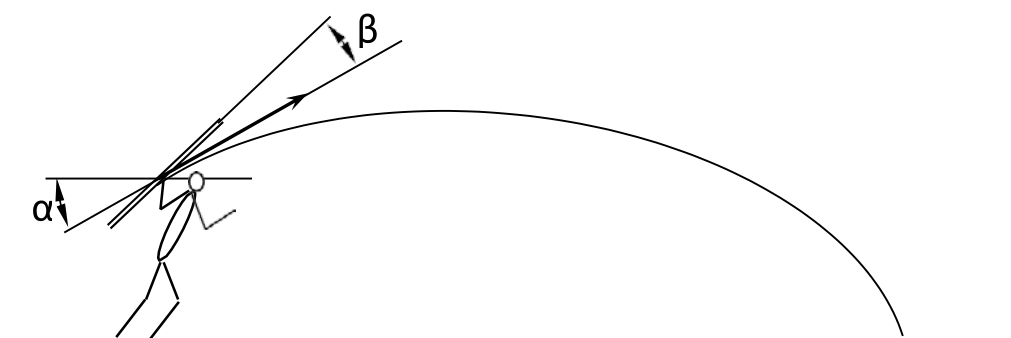


Рис. 9.2. Характеристики польоту спортивних тіл:  
 $\alpha$  – кут місцевості;  $\beta$  – кут атаки

**Кут атаки** – це кут між траєкторією польоту спортивного приладу і поздовжньою віссю. Наприклад, спис металники намагаються випустити з нульовим кутом атаки, а диск – з від’ємним,

який в поєднанні з обертанням диска навколо власної поперечної осі створює підйомну силу, яка збільшує дальність його польоту. Круглі предмети (типу ядра, м'ячі тощо) вздовжньої осі не мають, тому кути атаки при їх польоті в біомеханічних дослідженнях не розраховуються.

Істотно на дальність польоту спортивних тіл впливає *швидкість* їх *випуску*. І так само, як у випадку сили лобового опору або кінетичної енергії, збільшення швидкості випуску в 1,5 разу повинно збільшити дальність польоту приладу у 2,25 разу. Так, швидкість випуску спортсменом ядра 10 м/с відповідає результату 12 м, а швидкість випуску 15 м/с - результату 25 м.

Провідні світові спортсмени випускають тенісні м'ячі та шайби з швидкістю понад 50 м/с, футбольні, волейбольні м'ячі та спис – зі швидкістю до 35 м/с. Проте лобовий опір повітряного середовища також залежить від квадрату швидкості руху самого тіла, тому відразу після випуску швидкість приладів інтенсивно зменшується.

### **9.5. Біомеханіка польоту спортивних снарядів. Ефект Магнуса.**

Зі спортивної практики відомо, що закручені в момент випуску (удару) м'ячі змінюють у польоті напрямок своєї початкової траєкторії руху. Цей феномен заключається в різниці швидкостей обтікання м'яча з різних його сторін (*рис. 9.3*).

Обертаючись, м'яч затуляє за собою поверхневий шар повітря. За розрахунковою схемою (*рис. 9.3*), сумарна швидкість обтікання м'яча зустрічним потоком із лівого боку менша, ніж із правого внаслідок геометричного додавання власної швидкості потоку повітря до лінійної швидкості обертання поверхневого шару повітря. За **законом Бернуллі**, у зоні підвищеної швидкості повітряного середовища виникає понижений тиск (розрідження), що спричиняє відхилення траєкторії руху м'яча праворуч.

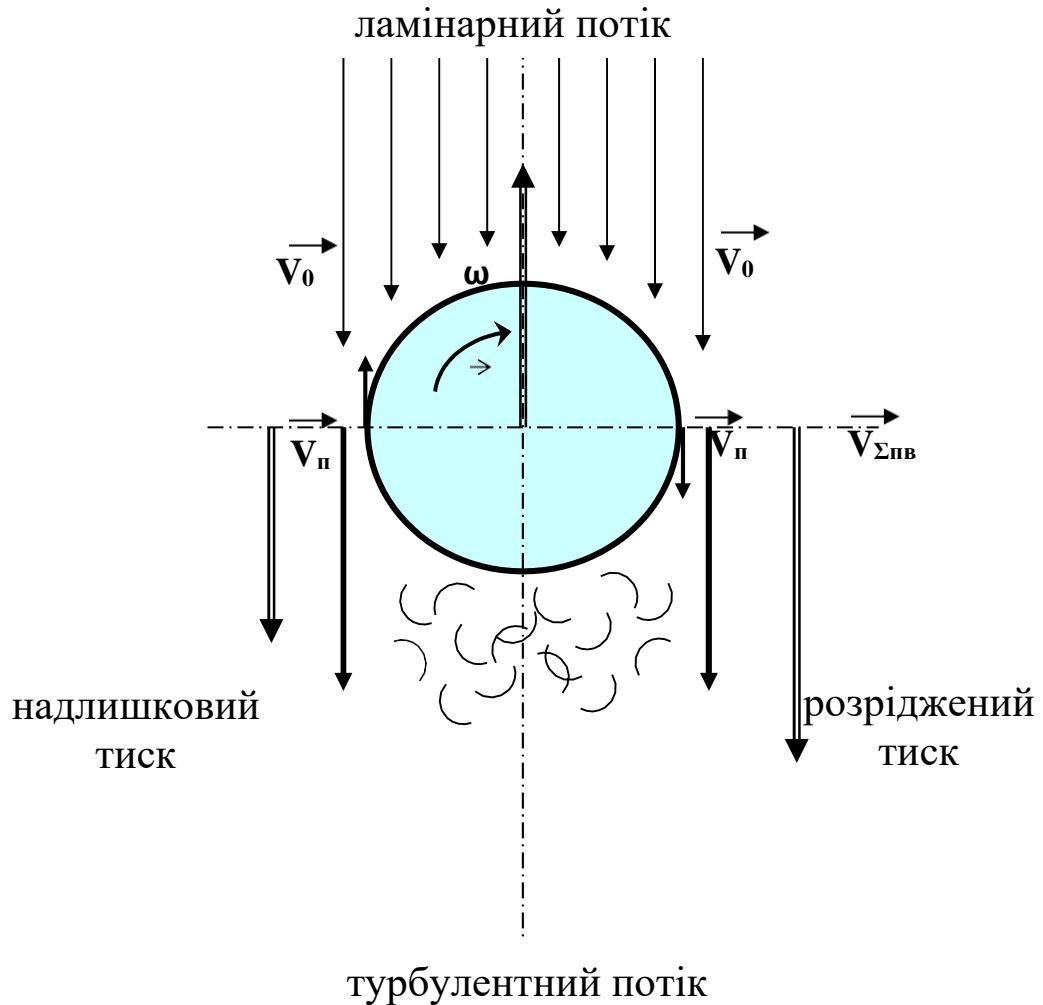


Рис. 9.3. Розрахункова схема траєкторії польоту м'яча після крученого удару.

### 9.6. Точність у переміщаючих діях.

Термін *точність руху* взагалі характеризує його відповідність вимогам рухового завдання. Саме тому будь-яка рухова дія може бути виконана лише за умови достатньо точного її виконання.

Здійснюючи оцінку точності певної переміщаючої рухової дії, мають на увазі ступінь відхилення траєкторії руху спортивного приладу, який спортсмен переміщає від вихідної точки або зони простору, наприклад, до баскетбольного кошика, від центру мішені для стрільби, футбольних воріт тощо (*цільова точність* або *точність попадання*), чи від наперед однозначно зумовленої траєкторії руху аби конкретного способу виконання дії (*точність слідування*). Відповідно в кожному конкретному варіанті рухового

завдання механізми забезпечення цільової точності та точності слідування істотно між собою будуть відрізнятися.

Наприклад, у футболі чи баскетболі точність забезпечується в процесі виконання замаху, ударного руху та фази контакту (удару), прицілювання і випуску приладу (постріл), розгону, замаху та фінальної фази випуску приладу (метання), тривалість яких відбувається дуже обмежений час і практично не дозволяють спортсмену здійснити корекцію рухової дії безпосередньо під час її виконання, що зумовлене обмеженою швидкістю проходження нервових імпульсів по ланцюгу «рецептор-кондуктор-кора-кондуктор-м'яз».

Натомість, *точність слідування* передбачає постійну корекцію дій протягом усього часу виконання вправи, використовуючи при цьому периферичний і центральний (за М.О. Бернштайном) цикли взаємодії тіла людини з навколишнім середовищем. Керуюча дія головного мозку (команди м'язам) змінюється як у залежності від сигналів, що надходять від самих м'язів у процесі їх скорочення для забезпечення заданого руху, а також в залежності від сигналів, що надходять з інших рецепторів тіла людини (слух, зір, тактильні та кінестезійні відчуття тощо), які реагують на подразники зовнішнього середовища (зовнішні впливи), викликану виконанням конкретної дії.

*Цільова точність* характеризується величиною відхилення від цілі ліворуч-праворуч та назад-вперед (вгору-додолу). Відхилення середньої точки влучання від центра мішені називають *систематичною похибкою*. Розсіювання результатів влучання в ціль найчастіше відбувається за нормальним законом розподілу, який характеризується *середньоквадратичним (стандартне) відхиленням*. Величина, обернена стандартному відхиленню, називається *кучністю*, яка характеризує точність переміщаючих дій при відсутності систематичної похибки. У загальному випадку для об'єктивного оцінювання цільової точності необхідно знати чотири показники: кучності попадання в обох напрямках (наприклад ліворуч-праворуч та додолу-вгору) і систематичні похибки.

У деяких випадках цільову точність оцінюють за відсотком влучань (наприклад у ворота, у баскетбольний кошик, у мішень тощо).

*Точність ударних рухів* в спорті досягається найважче, адже час їх виконання найменший та не дозволяє в процесі виконання вправи виправляти помилки. Наприклад, похибка влучання по м'ячу у футболі на один сантиметр призведе до його відхилення від потрібної траєкторії вже через 20 м аж на 2 метри.

*Точність метання* характеризується швидкістю вильоту приладу за рахунок роботи м'язів тулуба і ніг та коректуючими діями рук. Правильно побудована техніка металевих рухів дозволяє (ще задовго до моменту досягнення підсумкового результату) виправити по ходу їх виконання помилки, що відхиляють прилад від цілі.

В обох випадках цільова точність залежить від правильно вибраної величини і напрямку вектора швидкості вильоту приладу.

*Точність слідування* оцінюється за відхиленнями приладу, який переміщують, від швидкості руху та заданої траєкторії в конкретні проміжки часу, які називають граничними положеннями та позами. Найчастіше у випадку завдань на слідування в біомеханічних дослідженнях застосовується спосіб експертного оцінювання (акробатика, художня гімнастика, обов'язкова програма у фігурному катанні).

### **9.7. Біомеханічні особливості ударної взаємодії.**

*Ударом* прийнято рахувати нетривалу взаємодію двох тіл, яка відбувається не більше 0,03 с та характеризується взаємною передачею енергії тільки шляхом ударної взаємодії (без поштовху).

*Поштовх* – це взаємодія одного чи декількох тіл, яка супроводжується механічною роботою одного тіла над іншим (зазвичай, одним із взаємодіючих тіл виступає людина, яка може виконувати механічну роботу за рахунок м'язового скорочення над іншим тілом: м'ячем, ядром, суперником, а також переміщувати власне тіло відносно опори). У цьому випадку закон збереження імпульсу системи тіл можна записати у вигляді виразу

$$m_1 \times \vec{V}_1 + m_2 \times \vec{V}_2 = m_1 \times \vec{U}_1 + m_2 \times \vec{U}_2$$

проте не може бути використаний, оскільки до системи підводиться зовнішня енергія.

Взагалі, жодна контактна взаємодія неможлива без елементів поштовху, натомість у випадку тривалості удару до 0,03 с роботою поштовхової сили при зміні імпульсів тіл можна знехтувати.

Час контактної взаємодії *ударника* та *мішені* в гольфі дорівнює 0,001–0,002 с, у настільному і великому тенісі – 0,005–0,01 с, нападаючий удар у волейболі – 0,01–0,02 с, нижня передача – майже 0,03 с. До ударів можна віднести всі види пострілів, взаємодію гірськокожника з трасою та ін.

Наприклад, тривалість більшості ударів у хокеї перевищує 0,04 с, а відштовхування від опорної поверхні у спринтерському бігу (0,08–0,12 с), біомеханічними дослідженнями розглядаються як комбінації власне ударної взаємодії та поштовху. Саме тому приземлення після фази польоту (після зіскоку із спортивного приладу в гімнастиці) також не може в біомеханіці розглядатися як удар (виняток становлять аварії, падіння тощо, які супроводжуються травмами спортсменів, спричинені відсутністю дії спеціальних пристроїв пасивної безпеки або амортизуючої дії м'язів, які працюють в ексцентричному режимі).

За законами фізики, жодна ударна взаємодія не може обходитись без певних втрат механічної енергії системи за рахунок пластичної деформації або руйнування поверхонь контакту чи виділення енергії у вигляді нагрівання тіл, що вдаряються. Провести оцінку таких втрат дозволяє *коефіцієнт відновлення*:

$$K = (m_1 \times U_1 + m_2 \times U_2 / m_1 \times V_1 + m_2 \times V_2) \times 100\%,$$

де  $m_{1,2}$  - маси тіл;

$V_{1,2}$  - швидкості до удару;

$U_{1,2}$  - швидкості після удару.

який відображає частку сумарного імпульсу тіл до зіткнення у відсотках, яка зберіглась в системі після зіткнення з неминучими при цьому втратами.

Наприклад, коефіцієнт відновлення при зіткненні двох біль'ярдних куль, які виготовляються із слонової кістки, становить 99%, удар по тенісному м'ячу характеризується коефіцієнтом відновлення 95-85% та залежить в першу чергу від якості спорядження, а також від доударної швидкості м'яча, сили і типу удару; у волейболі при виконанні подачі коефіцієнт відновлення удару по м'ячу не перевищує 55%, а удари в боксі – 20%.

*Ефективність удару*, згідно зі згаданим вище законом збереження імпульсу механічної системи, залежить від *маси ударника і швидкості*.

*Ударні маси* при виконанні нападаючих дій у волейболі, карате, боксі, футболі тощо, розраховані за наведеним вище математичним виразом згаданого закону, та виявились у кілька разів більшими, ніж маси контактуючих із мішенню частин тіла (особливо великою виявилась ударна маса в карате). Тому вміння спортсмена у фазі контактної взаємодії з ціллю (мішенню) напружувати одночасно велику кількість м'язів, які забезпечують фіксацію рухів у необхідних суглобах, поєднуючи на короткий проміжок часу ударну частину тіла з сусідніми (часто – і з тулубом), може бути одним із критеріїв ефективності техніки виконання удару.

*Ударні швидкості* можуть бути збільшені в процесі відповідних тренувань: у досвідчених спортсменів вони значно перевищують аналогічні показники початківців.

В спортивних іграх напрямок *центрального ударів* по спортивних приладах проходить через центри їх мас, саме тому внаслідок такої дії сили на прилад він починає рухатись поступально, без обертання. В такому випадку кут падіння м'яча на поверхню після центрального удару дорівнює куту відбивання від неї.

*Нецентральні удари* разом із поступальним імпульсом приводять тіло в обертання. Залежно від площини, в якій обертається тіло, нецентральні удари поділяють на *різані* і *кручені*: різаними називаються удари, після яких обертання м'яча відбувається у вертикальній площині, а крученими – після яких м'яч обертається у горизонтальній площині. За рахунок ефекту Магнуса окрім

відхилення від початкової траєкторії, різані удари характеризуються зміною кута відбивання після падіння на поверхню (рис. 9.4).

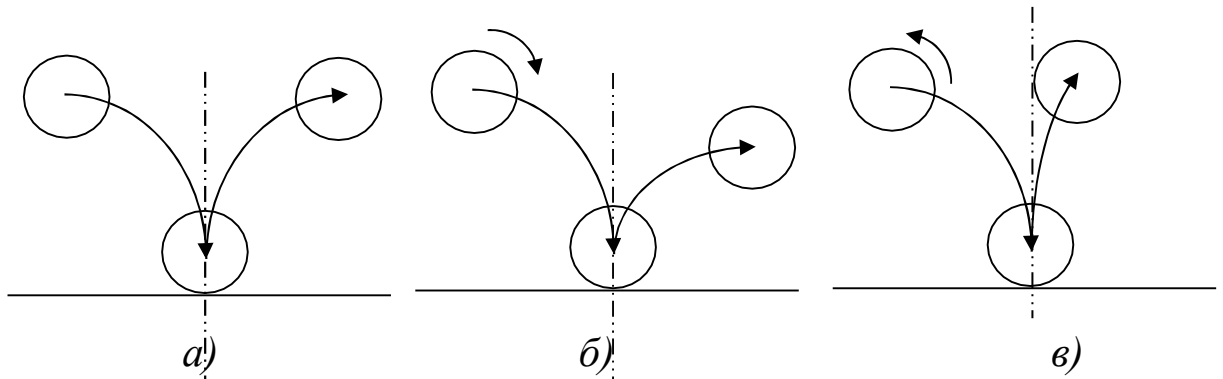


Рис. 9.4. Куту падіння і відбивання м'яча від горизонтальної поверхні після центрального (а) та різаних (б, в) ударів

Залежно від напрямку руху цілі (партнера) удари (передача м'яча, пас) можуть бути прямі (нерухома мішень) і косі (рухома мішень). У випадку косого удару напрямок і швидкість післяударного руху мішені визначається за правилом паралелограма (рис. 9.5).

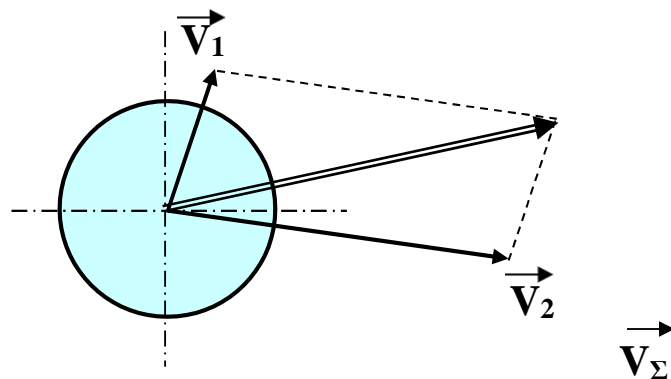


Рис. 9.5. Розрахунок напрямку польоту м'яча після виконання косого удару



## Тестові завдання до теми 9 для самоперевірки знань

1. *Що не належить до складових махових рухів:*

- a.** амортизація частин тіла
- b.** внутрішні сили
- c.** частина ланок тіла
- d.** сили енергії махових частин тіла

2. *Стартова поза в біомеханічних дослідженнях визначається:*

- a.** атропометрією спортсмена
- b.** специфікою індивідуальних дій
- c.** проявом максимальних зусиль
- d.** видом спорту
- e.** правилами змагань

3. *Прояв внутрішньої сили біомеханічної системи не можливий без:*

- a.** амортизації
- b.** пронації
- c.** гравітації
- d.** опори

4. *За законом Гауса м'яч буде рухатись в бік:*

- a.** високого тиску
- b.** низького тиску
- c.** звідки дме вітер
- d.** куди дме вітер

5. *Оптимальними кутами випуску спортивних приладів є кути:*

- a.** 38 до 45°
- b.** 38 до 48°
- c.** 35 до 45°
- d.** 45 до 50°

6. *До розрахунку лобового опору середовища руху тіла не входять:*

- a.** коефіцієнт обтічності
- b.** переріз Міделя
- c.** підйомної сили
- d.** густина середовища
- e.** квадрат відносної швидкості переміщення тіла і середовища

7. *Обертювий рух тіла можна змінити за допомогою:*

- a.** при відштовхуванні від опори
- b.** при фіксованій позі та опорі
- c.** моменту зовнішньої сили
- d.** зміни моменту інерції тіла відносно осі обертання

8. *Дальність і точність польоту спортивних приладів не залежить:*

- a.** від переміщення повітряного середовища
- b.** від швидкості вильоту
- c.** від аеродинамічної взаємодії з повітряним середовищем
- d.** від висоти і кута випуску

9. *До кутів випуску спортивних снарядів не відноситься:*

- a.** кут атаки
- b.** кут траєкторії польоту
- c.** кут місцевості
- d.** азимут

10. *Цільова точність передбачає постійну корекцію дій протягом усього виконання вправи, використовуючи при цьому периферичний і центральний цикли взаємодії тіла людини й навколишнього середовища.*

- a.** правильно
- b.** неправильно

## ТЕМА 10

### ВІКОВІ, ІНДИВІДУАЛЬНІ, ГРУПОВІ ТА СТАТЕВІ БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МОТОРИКИ

#### 10.1. Моторика людини в онтогенезі: вік немовляти до дошкільного віку. Показ як основний засіб навчання.

Початок розвитку моторики людського організму починається вже у *перинатальному періоді* життя (*наталіс* – лат. життя), а точніше, задовго до народження: самі перші рухи людини вже простежуються на восьмому тижні розвитку, коли зародок сформувався у плід. Далі інтенсивність рухів та їх кількість швидко зростає. Починаючи з п'ятого місяця розвитку, у плода починають формуватися основні безумовні рефлекси. Рухи починаються, формуються та розвиваються, починаючи від голови, та закінчуючи нижніми кінцівками. Рухова активність плода дещо зменшується за місяць до народження, що зумовлене особливостями його розвитку. У перинатальному періоді (який ще називають *внурішньоутробним*), розвиток моторики плода першочергово залежить від стану матері (супутні хвороби, втома, емоційне збудження, харчування тощо).

Медиками та науковцями виявлена кореляція між руховою активністю плода і немовляти. Існують два види рухів у немовлят – *безладні хаотичні рухи* та *безумовні рефлекси*, які характеризуються повною координацією – *долонний, смоктальний, переступальний, ковтальний*, а прикладом безумовного рефлексу є *плавальний*, який після 40-го дня народження поступово згасає (якщо в цей період з немовлям не проводити спеціальні заняття).

У дітей, які ростуть та виховуються у звичайних умовах, спостерігається певна послідовність оволодіння базовими рухами. В окремих випадках можна спостерігати ряд незначних відхилень від *середньостатистичних норм* – середніх значень різних її показників, одержаних за результатами спостереження великої кількості немовлят. Однак це не є обов'язковими ознаками якоїсь патології (лікарі-педіатри вирішують дане питання): найчастіше – це індивідуальні особливості розвитку моторики дитини, які починають

проявлятися досить рано і залежать від різних внутрішніх і зовнішніх факторів.

Приблизно до 1,5 років руховий та психічний розвиток дитини відбуваються паралельно. Враховуючи, що основи знань про простір, причинність, час та ін. закладаються власне у вказаному періоді, досить важко переоцінити роль правильного розвитку моторики для нормального розвитку психіки дитини. Тому власне у цьому віці слід створити всі необхідні умови, які сприяють розвитку активних рухів у дітей. Досвід виховання близнят засвідчив, що для тих із них, яким у віці немовляти створювали кращі умови для рухового розвитку, пізніше значно переганяли своїх сестер та братів за рівнем розвитку різних показників моторики.

*Переддошкільний вік* (до 3-х років) розпочинається, коли дитина навчилася самотійно ходити та перестала бути «прикріпленою до місця»: вона отримує можливість більш вільного та самотійного спілкування з навколишнім світом. У цьому віці дитині необхідно оволодіти основними *специфічно людськими* діями та формами поведінки (дотримання охайності, їда з посуду тощо), правильними діями з різноманітними предметами. У *переддошкільному віці* розвиваються не лише рухові дії рук, а відбувається загальний розвиток моторики. По великому рахунку, ходьба та біг ще не відрізняються між собою: ходьба остаточно формується десь у два роки, хоча з погляду біомеханки вона удосконалюється до шкільного віку. Основним способом навчання у цьому віці є коректний показ – демонстрації правильного прикладу різних рухових дій – з метою їх наслідування дітьми.

*Дошкільний вік* (3–7 років) характеризується для дитини оволодінням численними руховими діями, які ще недостатньо координовані та спритні (за М.О. Бернштайном – *період граціозної незграбності*). В цей період відбувається оволодіння руховими діями, а також зі зняттями та бігом (з'являється фаза польоту); діти вперше починають стрибати на місці та на одній нозі, граються з м'ячем. У віці після 4-х років спостерігаються стійкі рухові переваги.

Багаторічний досвід показує, що у цьому віці дітей доцільно

навчати основ техніки багатьох рухових дій. При правильному вихованні до семи років діти можуть вправно гратися з м'ячем, триматись на воді, бігати на ковзанах, їздити на двоколісному велосипеді, лижах, бігати, стрибати, виконувати різноманітні гімнастичні вправи тощо.

## **10.2. Моторика в онтогенезі шкільного віку.**

### ***Пубертатний період.***

До 12–14 років фактично завершується анатомо-фізіологічне дозрівання рухового аналізатора дитини, і починаючи з цього віку підлітки можуть виконувати переважну більшість рухових вправ так само спритно, як і дорослі. Значна відносна сила цього віку дозволяє досягти видатних спортивних результатів у таких видах спорту, як стрибки у воду, фігурне катання, гімнастика та ін. Проте інші рухові якості продовжують розвиватися та вдосконалюватись до кінця навчання в школі, причому їх розвиток проходить поетапно. Більш детальний поділ шкільного періоду на етапи та аналіз моторики в онтогенезі дитини розглядається в курсі теорія і методика фізичного виховання.

Особливе значення для розвитку моторики має період статевого дозрівання (*пубертатний період*). У дівчат він розпочинається з 9–12-ти років, у хлопців – з 10–14-ти років і триває майже два роки. У цей період приріст рухових якостей відбувається стрибком, при цьому простежується диспропорція між окремими якостями (досить швидко зростає довжина тіла, з незначним відставанням приблизно на 3 місяці – м'язова маса та на 6 місяців – маса тіла). Після статевого дозрівання спостерігаються *різкі відмінності у моториці дівчат та хлопців*.

## **10.3. Моторика в онтогенезі дорослої людини.**

### ***Спортивне довголіття і старість.***

В період з 18-ти до 30-ти років відбувається *розквіт моторики людини*. У цьому віці спортсмени демонструють свої найвищі спортивні досягнення. Хоча значних успіхів у деяких видах спорту

можна досягти і в досить молодому віці (12 років рульові в академічному веслуванні) або в значно старшому віці (60-65 років гольф, виїздка у кінному спорті, вітрильний спорт), все ж у переважній більшості видів спорту найсприятливіший віковий діапазон для досягнення високих спортивних результатів знаходиться в межах 20-30 років. Наприклад, для гімнастики, фігурного катання, плавання - це 18-20 років, для боксу, спортивних ігор та гірських лиж – це 20-22 роки, хокею, бігу на ковзанах та веслування – 22-24 роки, для біатлону, сучасного п'ятиборства, лижних перегонів та фехтування, – 26-28 років, для автомобільного, вітрильного та стрілецького спорту та ін. – це вік після 30-ти років (всі наведені вікові дані розраховані за середнім віком фіналістів олімпіад і чемпіонатів світу останніх двадцяти років)

Отже, у тих видах спорту, де необхідна витривалість, спортивний успіх настає пізніше, ніж там, де провідну роль відіграють швидкісні якості спортсмена. Навіть в одних і тих самих видах спорту, наприклад, у бігу, вік олімпійських чемпіонів суттєво відрізняється – для спринту він дорівнює 22,5 років, для дистанцій до 1500 м – 26,1 років, а для марафонського бігу – біля 31- го року. Винятком є лише плавання, де чемпіони на довгих дистанціях молодші на 3–5 років, що зумовлене специфічними вимогами до гідродинамічного опору тіла для швидкого пересування у водному середовищі та особливостями будови тіла підлітків. Проте в наш час спостерігається тенденція до омолодження спорту – у середньому чемпіони сьогодні (особливо у видах спорту, пов'язаних із максимальним проявом атлетичних якостей) на декілька років молодші, ніж у попередні роки.

Ці старшому віці, за 30 років, поступово (але неодноразово) починають знижуватися рухові можливості людини. Спортивний успіх у цьому віці визначається рівнем розвитку специфічних якостей, спритністю та відчуттями спортсмена (досвід, відмінна техніка та мудра стратегія в поєднанні з тактикою, антиципація тощо).

Для збереження високого рівня рухових можливостей та

здоров'я найбільше значення має тренування у віці старше 40 років: збалансоване харчування, раціональні заняття фізичними вправами, поміркований спосіб життя, екологічно чисті умови і відповідний психологічний клімат можуть загальмувати процеси старіння на 10–20 років і довше (*спортивне довголіття*).

#### **10.4. Вплив віку та роль дозрівання на ефективність навчання та тренування. Сензитивні періоди.**

Розвиток моторики людини визначається двома факторами:

- дозріванням;
- навчанням.

**Дозрівання** – це наслідково зумовлені зміни анатомічної будови та фізіологічних функцій організму людини, які відбуваються протягом усього життя: зміна форм та збільшення розмірів тіла дитини в процесі її росту, а також зміни, пов'язані зі статевим дозріванням, старінням та іншими факторами. У ранньому віці велике значення має дозрівання нервово-м'язового апарату (кори великих півкуль головного мозку, яка народження ще не повністю сформувалась).

**Навчання** – це засвоєння нових рухів чи їх удосконалення під впливом спеціальної практики, тренування або навчання.

Не завжди чітко можна розмежувати, що лежить в основі тієї чи іншої зміни рухових показників людини – навчання чи дозрівання, особливо у дошкільному віці. Подібні питання досить часто досліджували на ідентичних близнятах, одного з яких навчають, а іншого – ні. В процесі досліджень виявилось, що є такі пози та рухи (стояння, ходьба, сидіння, довільне сечовиділення та ін.), навчання яким у віці немовляти практично ніщо не прискорює оволодіння ними, що сприяло появі помилкової теорії про зверхність в *онтогенезі моторики* немовлят власне дозрівання. Неправильною є й альтернативна теорія, яка категорично заперечує дозрівання. У дійсності, навчання відбувається ефективніше лише тоді, коли досягнутий відповідний рівень анатомо-фізіологічної зрілості організму, і зовсім

без навчання (проста можливість спостереження за правильним зразком) оволодіння новими рухами неможливе. Це підтверджують спостереження за дітьми, які вижили поза людським суспільством (наприклад діти, що виховувалися серед вовків в Індії та ін.).

Отже, *розвиток моторики визначається* взаємодією навчання та дозрівання. Практика виховання близнят засвідчила, що певні рухові дії швидше і легше засвоюються при спеціальному навчанні, а деякі – навпаки – не можуть бути засвоєні раніше досягнення певного віку (наприклад початок ходьби). У деяких випадках занадто раннє навчання дітей (наприклад їзди на трьохколісному велосипеді у віці 1,5 років) може привести до негативних результатів у більш старшому віці (діти потім зовсім не мають бажання їздити на велосипеді).

Першочергово дозрівання дітей проявляється в їх рості, зміні пропорцій тіла, що приводить до розвитку певних аспектів моторики. Якщо виміряти результати певних рухових завдань у великій групі дітей одного віку, то можна отримати середні результати, які вони показують. Відставання розвитку дитини від середніх результатів за більшістю обраних тестів може бути спричинене різними наслідками (деколи і соціальними); таких дітей прийнято називати *руховими ретардантами*. За умов випередження інших дітей за результатами рухових завдань називається – акселерація, а таких дітей прийнято називати *руховими акселерантами*.

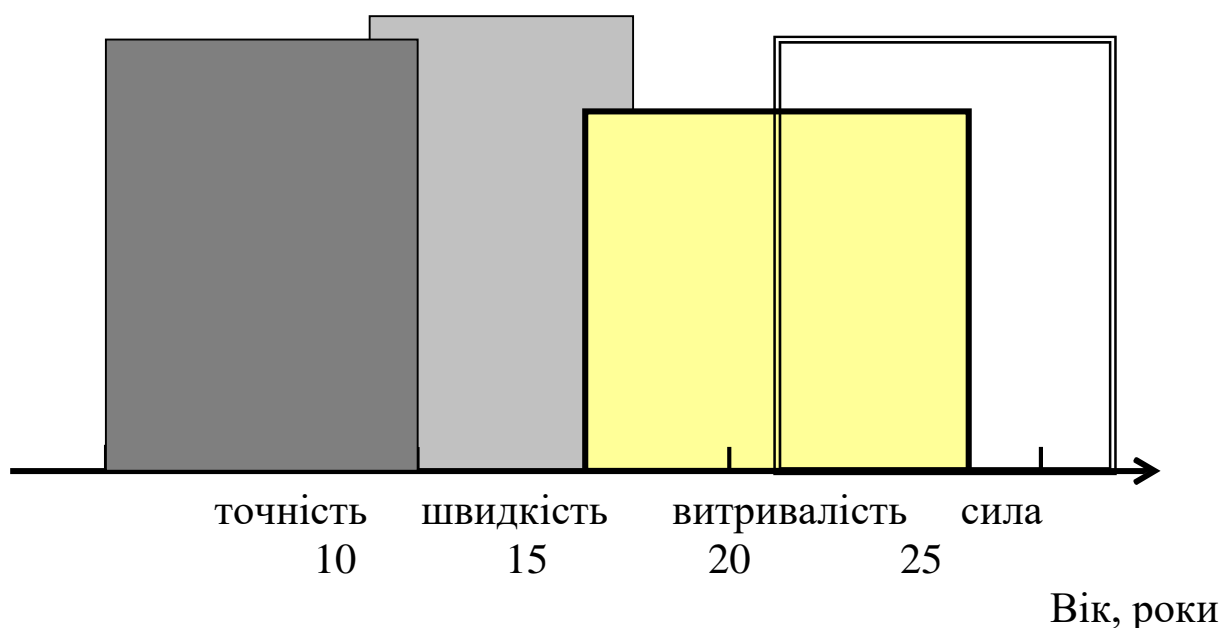
Деякі діти за рівнем своїх рухових можливостей відстають або випереджають однолітків, та не відповідають своєму «руховому віку». За умов відповідної підготовки або виховання діти можуть повернутися у свій руховий вік (канал розвитку). Таке повернення проходить деколи дуже швидко (наприклад реабілітація після травм). Такий процес називається *гомеорезом* або *каналізуванням* і характерний багатьом живим організмам.

Світова практика підтвердила, що у житті людини присутні такі періоди, коли навчання певних рухів або тренування окремих рухових якостей здійснюється найбільш вдало. У ряді випадків здатність до навчання певних рухових дій або форм поведінки з віком



може бути значно знижена або зовсім втрачена. Періоди життя людини, що є найбільш сприятливі оволодінню певними руховими діями чи розвитку певних рухових якостей та можливостей або форм поведінки, називаються *сензитивними періодами*.

Різних фахівців які здійснювали педагогічні спостереження часто дають неузгоджені та навіть суперечливі дані, стосовно початку, тривалості та завершення окремих сензитивних періодів, що, з одного боку, зумовлене специфічними особливостями вибірки дітей на підставі проведених педагогічних спостережень, за якими визначені дані терміни (наприклад певна спортивна спеціалізація, вік тощо), а з іншого боку, неоднаковим трактуванням поняття рухових якостей та ін. Загальна картина сензитивних періодів розвитку (а правильніше казати, виховання) рухових якостей, подана на *рис. 10.1*.



*Рис. 10.1. Сензитивні періоди оптимального виховання окремих рухових якостей і вмінь*

Прикладами труднощів при оволодінні певними руховими діями після завершення відповідних сензитивних періодів є навчання прямоходіння дітей, які виховувалися поза людським суспільством; несвоєчасне оволодіння мовою уроджено глухонімих дітей, яким пізніше лікарі повернули слух і мову та ін.

Вченими на підставі вивчення поведінки тварин було виявлено, що існують спеціальні форми навчання (які отримали назву *імпринтинг*), при яких відповідна рухова реакція в «готовому вигляді» проявляється лише у певний момент життя, якщо саме у цей момент розвитку буде подано необхідний стимул. Якщо цей період розвитку пропустити, явище імпринтингу втрачається.

Досвідчені тренери з різних видів спорту, використовують знання про сензитивні періоди розвитку моторики людини, набираючи в спортивні секції дітей лише певного віку. В інших переважних випадках досягнення дитиною в подальшому високих результатів у спорті буде пов'язане з великими педагогічними труднощами або зовсім неможливе.

Варто пам'ятати, що у різних дітей сензитивні періоди проявляються не завжди в однаковому календарному віці, та для їх об'єктивного прогнозування необхідно:

- по-перше, мати вихідні дані про розвиток моторики батьків;
- по-друге, мати результати спостережень розвитку моторики дитини, починаючи з раннього дитинства (що сучасною системою фізичного виховання не передбачене).

Сензитивні періоди відіграють важливе значення як при вихованні певних рухових якостей дитини, так і при удосконаленні певних рухових дій. Вичерпні результати педагогічних спостережень фахівців, що вивчають дану проблему в різних видах спорту, наводяться у спеціалізованій літературі, а також вивчаються в курсі Меорія і методика фізичного виховання.

### ***10.5. Вплив на моторику тотальних розмірів тіла людини.***

*Моторика як сукупність рухових якостей*, а також різноманіття індивідуальних особливостей спортивної техніки значною мірою залежать від особливостей будови тіла людини, а саме:

- пропорцій тіла (співвідношення розмірів окремих його частин);
- тотальних розмірів тіла (маса тіла, довжина, поверхня тіла, периметр грудної клітки тощо);

- конституціональних особливостей.

*Тотальні розміри тіла* спортсменів однієї спеціалізації можуть суттєво відрізнятись, наприклад: в боксі, у боротьбі та у важкій атлетиці можна бути спортсмени масою від 50 до 150 кг і т.д. Зрозуміло, що рухові можливості їх будуть значно відрізнятись. При такому ж рівні тренуваності спортсмени з більшою масою тіла розвиватимуть більшу силу, тому в ряді видів спорту здійснюють розподіл на вагові категорії з метою врівноваження можливостей спортсменів однієї вагової категорії (аналогічно поділ спортсменів на вікові групи, а гоночних автомобілів, мотоциклів, моторних човнів та ін. – на класи за робочим об'ємом двигуна).

Для порівняння силових якостей різних людей на практиці використовують спеціальний критерій – *відносна сила*, яка вираховується шляхом ділення *абсолютної максимальної сили* на масу спортсмена. Із збільшенням маси людини абсолютна сила зростає, а відносна сила – зменшується, це можна пояснити наступним: у першому наближенні абсолютна сила залежить від фізіологічного перерізу м'язів, який пропорційний квадрату довжини тіла (площа поперечного перерізу м'яза при всіх решта однакових умовах), а маса тіла при тій же його густині – від кубу довжини тіла (тобто від його об'єму). Тому люди малого зросту (що певною мірою стосується також і до дітей) мають більшу *відносну силу*, ніж високі, тому що сила м'язів із ростом довжини тіла зростає повільніше, ніж маса. Необхідно зауважити, що у маленьких дітей приріст сили пов'язаний не лише з тотальними розмірами тіла, але й з фізіологічними та анатомічними особливостями дозрівання юного організму, тому відносна сила не завжди відповідає їхньому зросту.

Аналогічні закономірності спостерігаються також і щодо інших показників, наприклад:

- максимальне споживання кисню (МСК) залежить від величини поверхні легень, тобто від  $H$  (де  $H$  - довжина тіла);
- життєва ємність легень (ЖЄЛ) залежить від об'єму грудної клітки, тобто від  $H$ ;

- швидкість бігу людини не залежить від тотальних розмірів тіла, оскільки паралельно із зростанням довжини тіла пропорційно зростає довжина кроку, і енерговитрати на переміщення частин тіла, що призводить до зниження частоти кроків;
- висота підйому ЦМТ у стрибках у висоту, як виявилось, також не залежить від тотальних розмірів тіла спортсмена: при переміщенні маси тіла (яка залежить від  $H$ ) на певну висоту  $h$  необхідно виконати роботу, яка пропорційна  $H$ , що не дає високим стрибунам інших переваг, окрім того, що їх центр маси тіла розташований вище, ніж у низькорослих стрибунів, що дозволяє їм долати планку на дещо більшій висоті. Проте, більша довжина м'язів високих стрибунів має позитивний вплив на швидкість їх скорочення, та на збільшення імпульсу відштовхування, що дає їм відчутні переваги в стрибках у висоту.

Вищенаведені приклади дають пояснення, чому усі гімнасти – низькорослі, переважно легкі та молоді, стрибунки – високі; легкоатлети-метальники – масивні, а бігуни на середні дистанції – можуть бути різними.

Особливо слід відмітити, що потужність, яку розвиває спортсмен, залежить від квадрату висоти тіла ( $H$ ), тому сучасні спринтери переважно високі з добре розвинутими м'язами.

Конституціональні особливості та пропорції тіла спортсменів, як і тотальні розміри їх тіла, значно впливають на вибір виду спорту, вузької спеціалізації, наприклад, в легкій атлетиці та особливості техніки (а також тактики), наприклад: техніка підйому штанги у спортсменів однієї ваги і зросту, але різних пропорцій (співвідношення довжини тулуба і ніг) суттєво відрізняється; у боротьбі певні прийоми, які виконуються з прогином тулуба у поперековому відділі хребта, для спортсменів низького зросту виявляються менш ефективними, ніж виконання через спину або підхватом; у спортсменів світового класу навіть незначні особливості будови тіла мають досить велике значення, наприклад: довжина кисті у важкоатлетів, яка визначає захоплення грифа всіма

пальцями (закритий – повний хват), або трьома пальцями (відкритий хват), або довжина пальців кисті у гандболістів, що дає можливість краще утримувати та закуручувати м'яч тощо.

### ***10.6. Статеві біомеханічні особливості спортсменів.***

Як вже зазначалось, різниця між моторикою жінок та чоловіків суттєво проявляється після *пубертатного періоду*, у віці 11–15 років. Спостереження показали, що за силовими якостями, витривалістю та швидкістю жінки поступаються чоловікам, що викликало використання в ряді видів спорту полегшених приладів (спис, ядро), значно коротких дистанцій (марафонський біг на 20 км, переслідування на 3 км у велосипедному спорті на треку, та ін.), нижчих бар'єрів у легкій атлетиці тощо, та повну заборону в деяких країнах видів спорту, які шкідливо впливають на здоров'я жіночого організму (наприклад, важка атлетика, бокс тощо). Крім того, жінки не змагаються з чоловіками в єдиноборствах, спортивних іграх та в інших видах спорту: серед чоловіків та жінок проводяться окремі першості і чемпіонати.

Однією з основних відмінностей між моторикою чоловіків і жінок є те, що після пубертатного періоду у жінок приріст спортивних результатів без спеціальної підготовки призупиняється і вони поступово знижуються, у той час як у чоловіків дозрівання організму і пов'язаний із ним ріст показників моторики продовжується без спеціального тренування до 25-ти років.

Певний відбиток на особливості моторики жінок накладає *оваріально-менструальний цикл*: фахівці рекомендують припиняти заняття фізичними вправами за день до овуляції на три дні та знизити навантаження до 50% в період менструації. В протилежному випадку організму жінки завдається непоправна шкода, що зі сторони тренера-педагога є соціальним злочином. Саме тому планування тренувального навантаження чоловіків і жінок істотно відрізняється.

Спортивні результати жінок порівняно з аналогічними результатами чоловіків нижчі приблизно на 11–15%, хоча за показниками спритності та гнучкості жінки чоловікам часто не поступаються.

### **10.7. Рухові переваги.**

У переважній більшості людей спостерігаються стійкі рухові перевагонадання, наприклад, а процесі виконання більшості рухових дій лівою (шульги) чи правою рукою або ногою, прицілювання лівим або правим оком, проходження лівих або правих поворотів тощо. Ноги завжди ділять на махову і поштовхову (опорну), виконання прийомів у боротьбі здійснюють через ліву або через праву сторону, існує лівосторонній та правосторонній хват хокейної клюшки, у плаванні кролем вдих здійснюється в момент підйому лівої або правої руки і т.д.

Стиль або спосіб виконання вище перелічених, а також інших подібних рухових дій називається **рухова асиметрія** або **латеральне** (лівостороннє чи правостороннє) **домінування**. Всі люди проявляють рухову асиметрію, ніяк цьому не навчаючись. Проведені науковцями дослідження немовлят засвідчили, що у світі народжується 50% амбідекстриків (людей, які не мають вираженої асиметрії) та по 25% ліво- і праворуких, причому приналежність дитини до однієї з груп передається спадково. Проте в процесі навчання в сім'ї та школі до 1990-х років переважна більшість амбідекстриків та частина ліворуких перевчалася на праворуких (це явище особливо яскраво проявлялося у соціалістичних та релігізованих країнах і було пов'язане в першочергово з духовними догмами та прагненням до одноманітності). Результати останніх досліджень цієї проблеми засвідчили, що такі шульги перевчені у праворуких в екстремальних ситуаціях не можуть діяти адекватно і швидко, тому, наприклад, у США та інших країнах усі фахівці, які працюють на посадах, пов'язаних з небезпекою для оточення, маєть пройти спеціальну перевірку: перевчені шульги не допускаються до роботи диспетчерами АЕС, до керування літаками, потягами, тощо.

У спорті певними перевагами користуються власне шульги, особливо в єдиноборствах, тому що вони більше часу тренуються з правосторонніми спаринг-партнерами і змагаються з правосторонніми суперниками. При зустрічах правосторонніх

спортсменів із шульгами їм не вистачає досвіду боротьби з ними, що діють не так, як вони, і яких у спортивних секціях і клубах порівняно мало. Цей факт пояснюється, тим що в середньому серед населення Європи шульгів не більше 6 %, у той час як у спорті їх втричі більше. Проте об'єктивно лівосторонні спортсмени не мають ніяких рухових чи психологічних переваг порівняно з правосторонніми.

У спортивних іграх відчутну перевагу мають розвинені амбідекстрики (яких в спорті, на жаль, дуже мало – не більше 1%). Процес тренування амбідекстриків, зазвичай, складніший від тренування їхніх односторонніх колег.

Провідна практика показує, що переучувати шульгів у праворуких недоцільна і навіть шкідлива, а амбідекстрикам основи двосторонньої підготовки варто закладати уже з раннього дитинства, особливо приділяючи увагу удосконаленню виконання різноманітних рухових дій через кожну зі сторін.

Інші рухові переваги проявляються у виборі власного темпу та часового ритму виконання вправ, їх просторової орієнтації, швидкості та ін.

Переважає більшість цих характеристик є надзвичайно стабільними і добре відтворюються навіть через кілька років після припинення активних занять спортом. Науковці припускають, що вони пов'язані з характеристиками особистості людини (такими як *екстравертність*).

## Тестові завдання до теми 10 для самоперевірки знань

1. Віковий період розквіт моторики людини відбувається у віці:

- a. 18-30
- b. 15-25
- c. залежить від виду спорту
- d. 15-30
- e. 17-28

2. Спеціальна форма навчання це:

- a. імпринтинг
- b. антиципація
- c. рухова акселерація
- d. сензитивність

3. Відносна сила людини вираховується:

- a. абсолютна максимальна сила / на масу спортсмена
- b. абсолютна максимальна сили  $\times$  на масу спортсмена
- c. абсолютна максимальна сила + маса спортсмена
- d. маса спортсмена – абсолютна максимальна сила

4. Амбідекстрик – людина яка має:

- a. рухову асиметрію
- b. латеральне домінування
- c. не має рухової асиметрії
- d. рухові перевагонадання

5. Розвиток моторики визначається взаємодією складових:

- a. навчанням
- b. сензитивними періодами
- c. дозріванням
- d. імпринтингом

6. Від якої особливості будови тіла людини не залежать моторика:

- a. конституціональних особливостей
- b. тотальних розмірів тіла
- c. індивідуальних особливостей
- d. пропорцій тіла

7. Повернення розвитку дитини у свій руховий вік називається:

- a. сензитивність
- b. акселерація
- c. ретарданція
- d. гомеорез



8. Який безумовний рефлекс відсутній у немовлят:

- a. переступальний
- b. долонний
- c. плавальний
- d. смоктальний
- e. температурний
- f. ковтальний

9. Для того щоб проявити рухову асиметрію людина повинна:

- a. навчатись
- b. нічого не робити
- c. переучитись
- d. тренуватись

10. Рухова асиметрія це:

- a. лівостороннє домінування
- b. правостороннє домінування
- c. амбідрексія
- d. сензитивність рухів

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адашевський В.М. Конспект лекцій з біомеханіки спорту. Харків: НТУ «ХП», 2019. 72 с.
2. Андрєєва Р. Біомеханіка і основи метрології: [навчально-методичний посібник] Регіна Андрєєва. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2015. 224 с.
3. Архипов О.А. Біомеханічний аналіз : навчальний посібник. К.: Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2010. 224 с.
4. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ: Навчальний посібник. Житомир: Житомирський державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2004. 124 с.
5. Ашанин В.С. Біомеханіка. Часть I: Загальна біомеханіка (конспект лекцій). Харькoв : ХаГИФК, 2000. 65 с.
6. Базилевич Н.О. Теоретичні основи біомеханіки (курс лекцій): навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів спеціальності 014 Середня освіта (фізична культура). Переяслав: ФОП Домбровская Я.М., 2020. 150 с.
7. Біомеханіка: навчально-методичний посібник / укл. Мединський С.В. Чернівецький нац. ун-т, 2004. 138 с.
8. Біомеханіка спорту / За загальною редакцією А.М. Лапутіна. К. : Олімпійська література, 2001. 318 с.
9. Біомеханіка спорту : навчальний посібник для студентів вищих навч. закладів з фіз. виховання і спорту. А.М. Лапутін, В.В. Гамалій, О.А. Архипов [та ін.] ; ред. А.М. Лапутін. Київ : Олімпійська література, 2001. 320 с.
10. Біомеханіка фізичного виховання і спорту : навч. посіб. Носко М.О., Бріжаний О.В., Гаркуша С.В., Бріжата І.А. Київ : [МП Леся], 2012. 286 с.
11. Біомеханічні аспекти руховий якостей : вибрані лекції з кінезіології : метод. посіб. для студ. ЛДУФК. О.Ю. Рибак, Л.І. Рибак. Львів : ЛДУФК, 2012. Ч. 1. 72 с.
12. Драчук С.П., Богуславська В.Ю., Сокольвак О.Г. Біомеханіка людини. Тлумачний словник-довідник. Вінниця : ТОВ «Твори», 2019. 400 с.
13. Кашуба В.А. Биомеханика осанки. К. : Олимпийская литература, 2003. 279 с.

14. Кашуба В.О., Голованова Н.Л. Інноваційні технології в процесі професійноприкладної фізичної підготовки учнівської молоді : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 208 с.
15. Кашуба В.О., Попадюха Ю.А. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень: монографія. К.: Центр учбової літератури, 2018. 768 с.
16. Козубенко О.С., Тупєєв Ю.В. Біомеханіка фізичних вправ : Навчально-методичний посібник. Миколаїв: МНУ імені В.О. Сухомлинського, 2015. 215 с.
17. Лапутін А.М. Біомеханіка спорту: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. з фіз. виховання і спорту / А.М. Лапутін, В.В. Гамалій, О.А. Архипов, В.О. Кашуба М.О. Носко. К: Олімп. л-ра, 2005. – 320 с. Бібліогр.: 319 с.
18. Лапутін А.М. Біомеханічні основи техніки фізичних вправ. А.М. Лапутін, М.О. Носко, В.О. Кашуба. К. : Науковий світ, 2001. 201 с.
19. Мягченко О.П. Біомеханіка людини. Бердянськ: Азовпринт 2016. 115 с.
20. Невелика А.В., Козін С.В. Методичні рекомендації до практичних і семінарських занять з дисципліни «Біомеханіка рухової діяльності»: метод. рек. для студентів НФаУ спеціальності 227 «Фізична терапія, ерготерапія». Х. : НФаУ, 2021. 30 с.
21. Носко М.О. Біометрія рухових дій людини : монографія. М.О. Носко, О.А. Архипов. Київ : Слово, 2011. 215 с.
22. Носко М.О., Бріжаний О.В., Гаркуша С.В. Бріжата І.А. Біомеханіка фізичного виховання і спорту. Навчальний посібник. К. : «МП Леся», 2012. 287 с.
23. Основи біомеханіки руху: навчальний посібник / укл. А.В. Гакман. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2019. 144 с.
24. Практическая биомеханика. А.Н. Лапутин, В.В. Гамалий, А.А. Архипов и др.; А.Н. Лапутин (общ. ред.). К. : Науковий світ, 2002. 298 с.
25. Рибак О. Ю. Кінезіологія рухових якостей : метод. посіб. до виконання контрольних робіт з кінезіології : у 2 ч. / О.Ю. Рибак, Л. І. Рибак. Львів : ЛДУФК, 2013. 44 с.

26. Рибак О.Ю. Конспект лекцій з кінезіології : метод. посіб. О.Ю. Рибак. Львів : ЛДІФК, 2002. 49 с.
27. Сергієнко Л.П. Спортивна метрологія: теорія і практичні аспекти: [підручник] / Л.П. Сергієнко. К.: КНТ, 2010. 776 с.
28. Соколова О.В. Біомеханіка: навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт» / О.В. Соколова, Г.А. Омеляненко, В.О. Тищенко. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2017. 96 с.
29. Суріков В.Є. Біомеханіка рухових дій спортсмена. Дніпро : ПДАФКіС, 2018. 94 с.
30. Язловецький В.С. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. В.С. Язловецький. Вид. 3-є, допов., переробл. Кіровоград, 2003. 138 с.

Навчальне видання  
Ячнюк Максим Юрійович  
**Біомеханіка рухових дій**  
Навчально-методичний посібник

Літературний редактор *Лукул О.В.*

Технічний редактор

та дизайн обкладинки *Кудрінська О.М.*

Підписано до друку 30.01.2023. Формат 60x84/16  
Папір офсетний. Друк різогрфічний. Ум.-друк. арк. 9,4  
Обл.-вид. арк. 10,1. Зам. Н-004.  
Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету  
імені Юрія Федьковича  
58002, м.Чернівці, вул. Коцюбинського, 2  
*e-mail: ruta@chnu.edu.ua*

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК.№891 від 08.04.2002 р.*