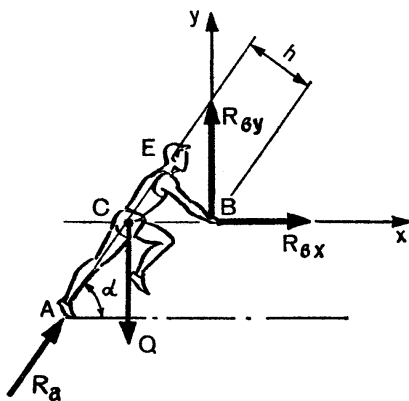


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Житомирський державний педагогічний університет імені Івана Франка

**Р.Ф. Ахметов**

# **БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ**

Навчальний посібник для студентів факультетів фізичного  
виховання педагогічних вищих навчальних закладів



Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник

Рецензенти:

В.О. Кашуба – завідувач кафедру кінезіології Національного університету фізичного виховання і спорту, доктор наук з фізичного виховання і спорту;

Т.О. Хабінець – доцент кафедри кінезіології Національного університету фізичного виховання і спорту, кандидат педагогічних наук.

**Ахметов Р.Ф.**

**Біомеханіка фізичних вправ:** Навчальний посібник. – Житомир: Житомирський державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2004. – 124 с.

У навчальному посібнику завідувача кафедри теорії і методики фізичного виховання Житомирського державного педагогічного університету імені Івана Франка, кандидата педагогічних наук, доцента, заслуженого працівника фізичного виховання і спорту України Р.Ф. Ахметова „Біомеханіка фізичних вправ” розглянуто наукові основи біомеханічного аналізу фізичних вправ. Навчальний посібник включає ознайомлення з тематикою теоретичного матеріалу сучасної біомеханіки, опис лабораторних робіт у відповідності до програми з курсу біомеханіки фізичних вправ, форми самостійної роботи, питання для поточного контролю самостійної роботи студентів, питання до екзамену.

Для студентів факультетів фізичного виховання педагогічних вищих навчальних закладів.

## **ПЕРЕДМОВА**

Біомеханіка як навчальна дисципліна вивчає рухи людини у процесі виконання фізичних вправ.

Розуміння фізичної сутності рухів людини і складності управління ними особливо важливе для вчителя фізичного виховання, тренера. Використання основних понять про рух, простір і час, законів механіки дозволяє професійно застосувати і вдосконалити методи навчання фізичним вправам, підвищувати ефективність їх впливу не тільки на фізичний розвиток школярів, але й враховувати їх пізнавальні здібності.

Мета навчального посібника – ознайомити студентів спеціальності „Фізичне виховання” педагогічних вузів з біомеханічними основами фізичних вправ, зокрема з основами спортивної техніки, озброїти їх знаннями, необхідними для правильного застосування фізичних вправ як засобу фізичного виховання. У навчальному посібнику розкривається складність рухів людини, закономірності яких використовуються при вдосконаленні її рухової діяльності.

У результаті вивчення курсу студенти повинні оволодіти біомеханічним аналізом як методом дослідження, більше того, як основним засобом мислення, який дозволяє розкривати специфіку фізики живого, розуміти суть рухів у руховій діяльності. Крім вирішення навчальних завдань у процесі вивчення біомеханіки важливо вирішувати питання виховання, використовуючи для цього багатий матеріал спортивної педагогіки.

Зміст навчального посібника відображає сучасний стан біомеханіки як біомеханічної науки з педагогічною спрямованістю й розвиток її як навчальної дисципліни.

У навчальному посібнику використано досвід багаторічного викладання біомеханіки провідними спеціалістами Національного університету фізичного виховання і спорту А.М. Лапутіна, В.О. Кашуби, В.В. Гамалія, О.А. Архипова, Т.О. Хабінець, М.О. Носко та інших.

Оскільки біомеханіка як синтетична наука ґрунтується на знаннях біології, фізики, математики та прикладної дидактики, матеріал підручника методично представлено таким чином, що читачу легко засвоювати його при послідовному, ступеневому освоєнні даного курсу. З іншого боку прийоми та методи біомеханічного аналізу викладено за окремими темами досить автономно, що дасть змогу студентам користуватися ними диференційовано, виходячи зі своїх конкретних практичних потреб. На думку автора, це значно розширює сферу можливого використання посібника.

Оскільки студенти повинні володіти знаннями фізики в об'ємі середньої школи, у навчальному посібнику немає ні систематичного повторення, ні послідовного введення понять і законів фізики; теореми наводяться без їх доведення. У ньому не приводиться детальний аналіз окремих вправ, так як це входить у завдання посібників із біомеханіки і підручників із відповідних спортивних дисциплін. Головна увага приділена викладенню основ і шляхів аналізу, оволодівши якими можна успішно вивчати любую фізичну вправу.

Посібник може бути корисним для студентів, які вивчають курс біомеханіки на біологічних та педагогічних факультетах університетів. Опанувати курс біомеханіки неможливо без набуття студентами практичних навичок самостійної роботи з дослідження рухів. Для успішного

використання посібника за умов лабораторного практикуму студенти повинні мати певні теоретичні та спеціальні знання з біокінематики, біодинаміки та біостатики рухів людини, з певних апаратурних систем, їхні метрологічні характеристики та одиниці вимірювання.

На лабораторних заняттях студенти оволодівають біомеханічними методами вивчення рухових дій. На прикладах фізичних вправ, які входять в програму фізичного виховання в школі, вивчаються кінематичні і динамічні характеристики рухів, здійснюється якісний біомеханічний аналіз фізичних вправ.

Самостійна робота студентів передбачає вивчення тем, що розглядаються на лекційних та лабораторних заняттях. Формами цієї роботи є вивчення основної та додаткової літератури; самостійний пошук матеріалу з певної теми; робота з конспектом лекцій; вирішення ситуаційних завдань; відповіді на запитання для ситуаційних завдань; відповіді на запитання для самоконтролю; підготовка рефератів. Самостійна робота студента над засвоєнням навчального матеріалу може виконуватися в бібліотеці педуніверситету, кабінеті теорії і методики фізичного виховання, а також у домашніх умовах.

Контроль рівня знань, набутих студентами самостійно, включає: поточний контроль під час лабораторних занять, позаплановий контроль без попередження студентів і кінцевий контроль під час екзамену.

Екзамен з курсу „Біомеханіка” студенти складають з дисципліни в цілому. Екзамен передбачає перевірку рівня теоретичних знань і вмінь використовувати їх в конкретних ситуаціях (перевірка проходить в усній формі з використанням білетів). Під час екзамену студенти можуть користуватися програмою з дисципліни, а з дозволу екзаменатора – довідковою літературою, таблицями, планами, тензодинамограмами. Студенти, які досягли найбільших успіхів у вивченні дисципліни за даними поточного контролю, перемогли у першому турі Всеукраїнської студентської олімпіади з біомеханіки, не мали пропусків занять, можуть бути звільнені від складання екзамену з виставленням оцінки „відмінно”.

Навчальний посібник „Біомеханіка фізичних вправ” є єдиним для студентів стаціонарної та заочної форм навчання.

Для фахівців, що мають намір користуватися цим навчальним посібником у позаурочний час як керівництвом для проведення дослідницьких робіт у своїй професійній сфері з використанням методів біомеханічного аналізу, рекомендується детальніше ознайомитися з теоретичними відомостями, поданими у першому розділі, а також з роботами зі списку літератури до кожної теми теоретичної частини.

Автор сподівається, що даний навчальний посібник слугуватиме не тільки студентам, але й фахівцям, котрі працюють у галузі методики фізичного виховання і спортивного тренування. Автор заздалегідь вдячний колегам-викладачам кафедр фізичного виховання педагогічних вищих навчальних закладів та тренерам за кожне критичне зауваження. Вважаю, що ділова критика дозволить підвищити якість навчального посібника в подальшій роботі.

## Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ КУРС

Біомеханіка викладається з метою найбільш ефективного забезпечення спеціальної професійно-технічної підготовки студентів, формування теоретичних знань і практичних навичок, умінь із самостійного навчання руховим діям, фізичним вправам. Вивчаючи певну область знань, спочатку визначають її предмет, завдання та зміст на сьогоднішній день, розкривають її основні особливості. Потім ознайомлюються з розвитком і становленням відповідної науки. Це дозволяє краще зрозуміти її сучасний стан, можливості та шляхи подальшого розвитку.

### 1.1. Предмет, завдання й методи біомеханіки

*Біомеханіка* – це наука про закони механічного руху в живих системах.

До живих систем (біосистем) відносяться:

- а) цілісні організми (наприклад, людина);
- б) їхні органи та тканини, а також рідина та гази в них (внутрішньо-організменні системи);
- в) об'єднання організмів (наприклад, разом діюча пара акробатів, протидіючі борці).

Біомеханіка спорту як навчальна дисципліна вивчає рухи людини у процесі виконання фізичних вправ. Вона розглядає рухові дії спортсмена як систему взаємопов'язаних активних рухів і положень його тіла.

Зазвичай людина робить не просто рухи, а дії; вони спрямовані до певної мети, мають певний сенс. Через це людина виконує їх активно, цілеспрямовано, керуючи ними, причому всі рухи тісно пов'язані – об'єднані в системи.

У діях рухи людина виконує, як правило, не весь час і не завжди в усіх суглобах. Частина її тіла іноді зберігають свій відносний стан майже незмінним. В активному збереженні стану, як і в активних рухах, беруть участь м'язи. Отже, людина здійснює рухові дії за допомогою активних рухів і зберігаючи, при необхідності, взаємне розміщення тих чи інших ланок. *Системи активних рухів, а також збереження станів тіла при руховій діях і вивчаються в даному курсі біомеханіки.*

Оскільки рухи частин тіла людини являють собою переміщення у просторі й у часі, які виконуються в багатьох суглобах одночасно і послідовно, то *областю вивчення біомеханіки є механічні й біологічні причини виникнення рухів і особливості їх виконання.*

Розрізняють загальне та спеціальні завдання біомеханіки спорту.

*Загальне завдання* вивчення рухів людини у біомеханіці спорту – оцінка ефективності докладання сил для більш досконалого досягнення поставленої мети.

*Спеціальні завдання* біомеханіки спорту складаються з вивчення наступних основних питань:

- а) будова, властивості та рухові функції тіла спортсмена;
- б) раціональна спортивна техніка;
- в) технічне удосконалення майстерності спортсмена.

У біомеханічних дослідженнях може вирішуватися велика кількість окремих спеціальних завдань, які виникають у зв'язку з різноманітними запитами практики. Ці завдання зумовлені необхідністю створювати нові системи рухів чи покращувати існуючі для того, щоб навчати найбільш досконалим.

Метод біомеханіки спорту – це основний засіб дослідження, шлях до пізнання закономірностей явищ. Теорія біомеханіки дає обґрунтування її методу. Метод визначає



можливості отримання нових даних, розкриття нових закономірностей через системний аналіз та системний синтез дій з використанням кількісних характеристик, зокрема моделювання рухів.

Системний аналіз та системний синтез дій нерозривно пов'язані між собою, доповнюють один одного у системно-структурному дослідженні.

Метод біомеханіки спорту визначається теорією, її основними ідеями й у той же час сам визначає засіб отримання знань у даній науці.

У теорії біомеханіки розглядаються: будова та властивості, а також розвиток тіла людини як біомеханічної системи; ефективність рухових дій як системи руху; формування й удосконалення рухів у рухових діях.

## **1.2. Розвиток біомеханіки як науки**

Біомеханіка як єдина система знань сформувалася порівняно недавно, проте рухи людини та тварин завжди привертала увагу в історії світової науки.

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

Ще Аристотель (384-322 рр. до н.е.), Клавдій Гален (130-201 рр. н.е.) та Авіценна (980-1037 рр. н.е.) спостерігали рухи людини та тварин і по-своєму описували й аналізували їх. Однак тільки великий Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.) першим звернув увагу на особливу роль механіки у вивченні рухів. Він, зокрема, писав: „Наука механіка тому є кориснішою за всі інші науки, що, як виявляється, усі живі тіла, котрі мають здатність до руху, діють за її законами”.

Загальновідомо, що один з найважливіших розділів механіки – динаміка – був створений працями геніальних вчених – Галілео Галілея (1564-1642 рр.) та Ісаака Ньютона (1643-1727 рр.). Основні закони класичної механіки описують рух матеріальної точки й абстрактного, абсолютно твердого тіла.

Новітня історія біомеханіки починається з видатної праці італійського лікаря й математика Джованні Бореллі (1608-1679 рр.) „Про локомоції тварин”. Дослідження Дж. Бореллі започаткували розвиток біомеханіки як галузі науки.

Значно пізніше, на початку ХІХ ст. німецькі біологи брати Едуард та Вільгельм Вебери, які досліджували ходьбу людини, на досить високому для свого часу рівні, продовжили вивчення місцезнаходження центра тяжіння в тілі людини.

Велику роль у вивченні рухів відіграло відкриття фотографії. На початку успішно робили тільки моментальні поодинокі знімки рухів. Потім Е. Майбрідж (1877 р.) отримав послідовні автоматичні знімки (наїзник, що скакав на коні повз ряду фотоапаратів). Пізніше стали застосовувати багаторазову експозицію на одну пластинку. Ж. Марей і Ж. Демені розробили метод хронофотографії: затворобтюратор (непрозорий диск із рівномірно розташованими прорізами), що обертався з постійною швидкістю перед об'єктивом фотоапарата, дозволяв закарбувати на нерухомій пластинці ряд послідовних поз через рівні проміжки часу.

Пізніше в подібному напрямку працювали В. Брауне й О. Фішер, які вдосконалили ряд методів вимірювання біомеханічних характеристик рухів і суттєво доповнили ці дослідження.

Велику роль у розумінні єдності структури та функцій опори й руху людини відіграли праці І.М. Сеченова та

П.Ф. Лесгафта. Кожен із цих видатних дослідників зі свого погляду зробив вагомий внесок у сучасне розуміння біомеханіки як науки. П.Ф. Лесгафт у 1874 р. опублікував відому працю „Основи природної гімнастики”, яка поклала початок його курсу „Теорія тілесних рухів”, де він установив, так звану, абетку рухів тіла людини. У 1901 р. вийшла у світ монографія „Нарис робочих рухів людини”, у якій викладено основні положення біомеханіки трудової рухової діяльності людини.

Великий вклад у науку про рухи зробив М.Ф. Іваницький, що розробив розділ курсу анатомії – руховий апарат як ціле (динамічна анатомія) і в 1938 р. опублікував монографію „Рухи тіла людини”.

На розвиток біомеханіки зробили суттєвий вплив фізіологія нервово-м’язового апарата, вчення про вищу нервову діяльність і нейрофізіологія. Визнання рефлексорної природи рухових дій і механізмів нервової регуляції при взаємодії організмів та середовища у працях І.М. Сеченова, І.П. Павлова, М.Е. Введенського, А.А. Ухтомського, П.К. Анохіна, М.О. Бернштейна та інших вчених складає фізіологічну основу вивчення рухів людини.

Дослідження М.О. Бернштейна, які стали вже класичними, дали результати, що привели його у свій час до нової системи поглядів на рух і керування ним. Розвиваючи ідеї І.М. Сеченова про рефлексорну природу управління рухами шляхом використання чуттєвих сигналів, М.О. Бернштейн висунув положення про кільцевий характер процесів управління, про рівневу побудову рухів.

У своїх працях йому вдалося не тільки об’єднати в єдину систему анатомічні, фізіологічні, психологічні, фізичні й інші знання, а й на цій основі фактично синтезувати нову сучасну біомеханіку. Серія його дослідів, починаючи з

1939 р., завершилася фундаментальною працею „Про побудову рухів” (1947 р.).

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

На Україні систематичне викладання біомеханіки почалося в Київському державному інституті фізичної культури (КДІФК) з 1960 року при кафедрі анатомії (завідувач кафедри – П.З. Гудзь).

Наприкінці 60-х років у КДІФК вже проводилися широкомасштабні дослідження з біомеханіки. Наслідуючи традиції вітчизняних та зарубіжних анатомів-функціоналістів, українські фахівці продовжували розвивати біомеханіку фізичних вправ. Так, у 1969 р. А.М. Лапутін розробив першу біомеханічну класифікацію опорно-рухового апарату, принципи біомеханічного моделювання його суглобів та окремих ланок; було сформульовано принципи аналізу так званих локомоторних механізмів. Це надало можливість на більш об'єктивній основі будувати біокінематичні схеми опорно-рухового апарату під час аналізу рухів людини. У практику вимірювань та аналізу біокінематичних характеристик Лапутіним (1970) було введено поняття про соматичну систему координат тіла людини, а також створено біокінематичні моделі хребетного стовпа людини. Аналогічні біокінематичні моделі було розроблено для верхніх та нижніх кінцівок людини.

У 1981 р. в КДІФК було створено першу в Україні кафедру біомеханіки. Очолив її А.М. Лапутін. Цей організаційний момент справив великий позитивний вплив не тіль-

ки на розвиток біомеханіки як науки, як синтетичної системи знань, але й на формування її як навчальної дисципліни, а монографія Лапутіна „Навчання спортивних рухів” (1986) стала узагальненням результатів багаторічної роботи у цьому напрямі.

Подальший розвиток біомеханічних досліджень з різних видів спорту тривав завдяки працям науковців, зокрема В.В. Гамалія (легка атлетика), А.А. Тесленка (велосипедний спорт), Т.О. Хабінець (лижний спорт), О.А. Архипова (гімнастика), М.О. Носко (волейбол), В.П. Ляпіна, З.Ю. Чочарай (вільна боротьба), В.М. Смирнова (дзюдо), А.А. Македона (вільна боротьба), В.І. Плисько, В.В. Крутова (військово-прикладні види єдиноборств) та інших.

У 90-ті роки за цією тематикою найбільш цікаві біомеханічні дослідження були проведені В.О. Кашубою (кульова стрільба), В.І. Синіговцем (клінічна біомеханіка), Р.О. Зубриловим (лижні гонки, біатлон), Кхеліфа Ріадом (баскетбол), Фадхлун Мурадом (гандбол), Ю.О. Юхно, І.П. Закорко (дзюдо), Т.А. Поліщук (художня гімнастика), В.І. Бобровником (легка атлетика), А.М. Ратовим (лижний спорт) та іншими.

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

Розвиваючи власний оригінальний напрям у біомеханіці, фахівці кафедри біомеханіки, використовуючи вже відомі, традиційні та широко апробовані методи дослідження онтогенетичного розвитку рухової функції людини, розробили і вдало застосували нові методи оцінки геометрії мас її тіла. Надзвичайно цінним є те, що при розробці методики об'єктивної оцінки геометрії мас організму, що розвивається, було виявлено закономірний зв'язок певних геометричних параметрів розподілу маси

тіла з енергетикою організму людини. Це відкриває певні перспективи та можливості корекції енергетичного статусу організму у процесі онтогенетичного розвитку людини.

На майбутнє біомеханіки сьогодні можна дивитися з оптимізмом, оскільки у різних регіонах України та в інших країнах досягнуто досить значних успіхів у розвитку як фундаментальних, так і прикладних досліджень. Тому є всі підстави припускати, що найближчим часом з'являться нові, більш досконалі біомеханічні технології дослідження рухової функції людини.

### **1.3. Тіло людини як біомеханічна система**

Будова та функції органів опори та руху відзначаються великою складністю. Це зумовлено надзвичайною різноманітністю можливих станів та рухів тіла. Особливості тіла людини, зокрема рухового апарату, дають підґрунтя розглядати тіло в цілому та його частин як особливі біомеханічні системи.

Під *біомеханічними системами* розуміється об'єднання живих об'єктів (наприклад, органів, тканин), які характеризуються однаковими особливостями у прояві законів механічного руху, а також спільними особливостями засобів керування ними, участі в цих рухах чи їх використанні.

Опорно-руховий апарат – система кісткових важелів, що приводяться в рух м'язами. Опорно-руховий апарат – як матеріальна система складається із таких підсистем:

*Система властивостей (цілісна, розчленована); система процесів (дихання, травлення, виділення); система відносин (підпорядкування, автономія).*

*Структура* – це спосіб організації системи. *Управління* – це процес переводу системи із одного стану в другий – раніше заданий.

Таким чином, тіло людини – складна динамічна система. Управління складними динамічними системами займається кібернетика. Управління являє собою зміну стану системи за допомогою керованих дій, які направлені на досягнення мети.

*Класифікація опорно-рухового апарату людини*

З позиції теорії механізмів і машин частини тіла людини, які мають рухливі з'єднання, прийнято розглядати як ланки, що складають біокінематичні пари й ланцюги. Ланки ланцюгів та їх з'єднання потрапляють під дію застосованих до них сил (навантажень). У цих умовах проявляються особливості будови та функції (механічні властивості) тіла людини, які впливають на виконання рухів.

*Біокінематична пара (БКП)* – це рухоме з'єднання двох кісткових ланок, в якому можливості руху визначаються його будовою і управляючим впливом м'язів.

*Біокінематичний ланцюг (БКЛ)* – це послідовне або незамкнуте (розгалужене) чи замкнуте з'єднання ряду біокінематичних пар.

У незамкнутих ланцюгах є вільна (кінцева) ланка, що входить лише в одну пару. У замкнутих ланцюгах немає вільної кінцевої ланки, кожна ланка входить у дві пари. У незамкнутому ланцюгу можливі ізольовані рухи в кожному окремо взятому суглобі. В рухових діях рух в незамкнутих ланцюгах проходить звичайно одночасно в багатьох суглобах, але можливість ізольованого руху не виключена. У замкнутому ланцюзі ізольовані рухи в одному суглобі неможливі: в рух неминуче одночасно утягуються і інші з'єднання.

Наприклад, згинаючи руки в ліктьових суглобах в упорі лежачи (замкнутий ланцюг), можна або відводити плечі, або розгинати їх у плечових суглобах. Тоді будуть розтягуватися чи привідні м'язи плеча (великі грудні, широкі спи-

ни та ін.), чи згиначі (передні частини дельтовидних). Тепер при розгинанні рук у ліктьових суглобах привідні м'язи чи згиначі плечових суглобів у залежності від того, які м'язи розтягнуті, можуть передавати свою дію на ліктьові суглоби – сприяти розгинанню рук у цих суглобах.

*Ступені свободи і зв'язки рухів*

Одним із способів моделювання рухового апарату є уявлення про нього як про систему взаємозв'язаних біокінематичних ланок. У реальних умовах функціонування організму всі рухомі ланки тіла мають між собою кінематичні зв'язки, котрі обмежують їх зовнішню свободу рухів. Завдяки цим зв'язкам усі біокінематичні ланки об'єднані у біокінематичні пари. У руховому апараті людини на відносний рух кожної ланки будь-якої біокінематичної пари (залежно від способу з'єднання її ланок) накладено певні обмеження. На характер вказаних обмежень впливають такі чинники, як пластичний стан тканин, що беруть участь в утворенні будь-якого сполучення, а якщо це суглоб, то ще й форма поверхні кісток, що сполучаються, наявність того чи іншого допоміжного апарату, участь у рухах певних груп м'язів та наявність різних морфологічних компонентів. Усе це для зручності дослідження можна об'єднати таким поняттям, як умови зв'язку біоланок у біокінематичних парах. Те чи інше число умов зв'язку ( $S$ ) обмежує рухомість кожної біоланки у парі. Це число теоретично не може бути менше 1 або більше 5 у силу максимально можливих 6 ступенів свободи руху усякого незв'язаного тіла ( $1 < S < 5$ ). Кількість ступенів свободи у будь-якій біокінематичній парі рухового апарату ( $H$ ) визначають виходячи із залежності між числом умов зв'язку у парі та загальними можливостями руху у тривимірному просторі:

$$H = 6 - S .$$



Кожний зв'язок зменшує кількість ступенів свободи. Зафіксувавши одну точку вільного тіла, зробивши його ланкою пари, відразу позбавляють його 3-х ступенів свободи – можливих лінійних переміщень вздовж трьох головних координат. Закріплення 2-ох точок ланки говорить про наявність осі, що проходить через ці точки. В цьому випадку залишається один ступінь свободи. Приклад подібного обмеження – одноосний суглоб, наприклад міжфаланговий. Закріплення 3-ї точки, що не лежить на цій осі, повністю позбавляє ланку свободи рухів. Таке з'єднання суглобів не стосується.

*Ланки тіла як важелі й маятники*

Скелет, утворений із рухомо з'єднаних кісток, є твердою основою біокінематичних ланцюгів. Ланки ланцюгів із прикладеними до них силами (м'язової тяги та ін.) у біомеханіці розглядають як систему важелів чи маятників. У багатьох випадках ланки зберігають рух під дією прикладених сил, як маятники.

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

Коли групи сил прикладені по обидві сторони від осі (точки опори) важеля, його називають *двохплечовим*, або *важелем першого роду*, а коли по одну сторону – *одноплечовим*, або *важелем другого роду*.

Кожний важель має такі елементи:

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

Ланки тіла людини мають у своїй основі кісткові важелі. Двохплечові важелі використовуються, наприклад, при зберіганні положення стоячи, а одноплечові – у швидкіс-

них рухах кінцівок. Один і той же ланцюг для різних м'язів може бути чи одноплечим, чи двохплечовим важелем.

*Мірою дії сили на важіль є її момент відносно точки опори (добуток сили на її плече).*

#### **1.4. Біомеханічні характеристики рухів тіла людини**

Рухи тіла людини як біомеханічної системи, яка має досить складну будову, по ходу їх виконання не залишаються постійними. Для того, щоб розкрити закони певних рухів, потрібно виділяти в їх складній системі складові частини, описувати їх особливості, встановлювати, як вони змінюються, будучи зв'язаними між собою.

*Біомеханічні характеристики рухів тіла людини – це міри механічного стану і зміни (поведінки) його біосистеми.*

У практиці використовуються біомеханічні характеристики двох типів: *якісні і кількісні.*

*Якісні характеристики* дозволяють розрізнити рухи принципово різні за типами, видами, біомеханічними закономірностями, принципами побудови і особливостями виконання (приклад якісно різноманітних типів рухів: рух навколо осі й локомоторні рухи).

*Кількісні характеристики* вимірюються чи розраховуються – мають числове значення і вказують на зв'язок одної міри з іншою (наприклад, швидкість показує, як пов'язаний пройдений шлях із часом, витраченим на нього).

*Кількісні характеристики рухів тіла людини* методично зручно розділити на два основні види: 1) біокінематичні й 2) біодинамічні.

##### *Біокінематичні характеристики*

Розділ біомеханічного аналізу *біокінематика* вивчає рух живих тіл і біологічних систем. Рухи тіл у кінематиці вивчаються без урахування їх інертності і діючих сил. То

му кінематику інколи називають геометрією рухів. В основу поняття кінематики рухів включають засоби опису зміни положення тіла в просторі у відношенні до інших тіл на протязі часу. Кінематика ставить перед собою мету аналізувати різні види руху та встановлювати закони, що відображаються між величинами, які характеризують ці рухи; фізичні ж особливості матеріальних об'єктів у їх взаємодії (маси, сили) – матеріальна природа, а також фізичні процеси не розглядаються. Отже, кінематичні характеристики змальовують тільки зовнішню картину рухів, а причини виникнення та зміни самих рухів і їх особливостей не розкривають.

Таким чином, кінематичні характеристики рухів людини – це їх специфічні особливості: *просторові, часові та просторово-часові*.

Для того, щоб упорядкувати уявлення про оточуючий простір, вводяться безпосередні системи просторових координат. Умовний простір розділяється на частини, квадранти.

Існують різні системи координат. Системи координат бувають прямокутні, косокутні, сферичні та ін.

Координати розрізняються на площинні та просторові. Площинні дозволяють фіксувати положення точки на площині, просторові – у просторі. Для визначення точки у площинних координатах достатньо двох цифр (довгота й висота). Для визначення її в просторі – трьох.

Для об'єктивного вивчення характеристик рухів людини необхідно якимсь чином моделювати його тіло. В біомеханіці відомо два основних способи моделювання тіла людини. Перший – уявити тіло за *матеріальну точку*. Другий – уявити тіло людини як *систему матеріальних точок*.

Рух фізичного об'єкта спостерігається тільки в порівнянні положень об'єкта з положенням іншого тіла (тіла відліку), тобто як відносний.

В залежності від умов завдання вибір випадає на ту чи іншу *систему відліку*. При відліку відстаней потрібно встановити: а) початок; б) напрямок; в) одиниці відліку. Систему відліку пов'язують із певним фізичним *тілом відліку*. Дуже важливо доцільно вибрати тіло й початок відліку.

На відлік відстаней у русі, який вивчається, зовсім не впливав би рух тіла відліку без прискорення; але тіл, що рухалися б без прискорення, у природі просто не існує. Умовно прийнято вважати „нерухомим”, не прискореним – *інерційним тілом відліку* – таке тіло, прискорення якого настільки мале, що не впливає помітно на відлік даного руху, який спостерігається.

Іноді доцільний чи просто детермінований вибір „рухомих”, тобто таких тіл відліку, які прискорюються – неінерційних. Вони рухаються з такими прискореннями, які суттєво впливають на відлік руху. Наприклад, визначаючи, які особливості рухів ніг у тазостегнових суглобах у гімнаста при масі на кільцях, можна ввести відлік відносно тазу, який сам також рухається.

Декартова система координат на площині складається із двох взаємоперпендикулярних осей – абсциси (X) і ординати (Y). Декартовою системою координат у просторі вважається упорядкована трійка попарно перпендикулярних осей координат з одним загальним початком координат O на кожній із них із одним і тим же масштабним відношенням у всіх осях. Для визначення координат будь-якої точки досліджуваних просторових фігур біологів необхідно використовувати три числові осі: X (абсциса), Y (ордината), Z (апліката). При цьому додаткова піввісь X повинна збігатися з додатковою піввіссю Y обертом на  $90^\circ$  проти годинникової стрілки, якщо дивитися з додаткової півосі Z.

В результаті побудови трьох координатних осей у просторі можна розпізнати координатні площини, які проходять через дві які-небудь координатні осі.

У тій чи іншій системі відліку всі точки тіла людини володіють такими біокінематичними характеристиками:

- траєкторія руху;
- форма руху;
- шлях руху;
- час руху;
- швидкість руху;
- прискорення руху.

*Траєкторія руху* – умовна лінія, яку описує рухома точка тіла у просторі.

У систему відліку часу входить визначений початок та одиниці відліку.

*Часові характеристики* розкривають рух у часі, коли він почався і коли закінчився (момент часу), як довго продовжувався (тривалість руху), як часто виконувався рух (темп), як вони були побудовані в часі (ритм). Разом з *просторово-часовими характеристиками* вони визначають характер рухів людини.

Визначаючи, де знаходилась та чи інша точка тіла людини в просторі, необхідно визначити, коли вона там була.

*Момент часу* – це часова міра положення точки тіла і системи. Момент часу визначають проміжком часу до нього від початку відліку.

Момент часу визначають не тільки для початку й закінчення руху, але і для інших важливих миттєвих положень. У першу чергу це моменти істотної зміни руху: закінчується одна частина руху і починається наступна. За моментами часу визначають тривалість руху.

*Тривалість руху* – це часова міра, яка вимірюється різницею моментів часу кінця і початку руху:

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

Тривалість руху є проміжок між двома обмежуючими його моментами часу. Знаючи відстань, пройдену точкою, і

тривалість її руху, можна визначити її швидкість. Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм.

*Темп рухів* – величина обернена тривалості рухів. Чим більша тривалість кожного руху, тим менший темп і навпаки.

В циклічних рухах темп може служити показником досконалості техніки. Так у спортсменів високої кваліфікації частота рухів більша ніж у менш підготовлених.

*Ритм рухів* (часовий) – це часова міра співвідношення тривалості частин рухів. Ритм – величина безрозмірна, він визначається по співвідношенню тривалості частин рухів:

$$t_{12} : t_{23} : t_{34} \dots$$

Ритм рухів характеризує, наприклад, відношення часу опори до часу польоту в бігу, чи часу амортизації до часу відштовхування в опорі. Зі зміною темпу кроків змінюється і їх ритм. Крім часових можна визначити ще і просторові показники ритму.

Фази, ритм яких вивчається, можуть розрізнятися за напрямком, швидкістю та прискоренням рухів, за величиною та напрямком зусиль і за іншими характеристиками. Співвідношення тривалості фаз відображує співвідношення зусиль, які їх обумовлюють. З точки зору біомеханіки у кожному русі є ритм, оскільки є частини рухів певної тривалості, які розрізняються.

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

*Швидкість точки* – це просторово-часова міра руху точки (швидкості вимірювання її положення).

Швидкість дорівнює першій похідній в часі від відстані в системі відрахунку, що розглядається:

$$\vec{V} = \frac{ds}{dt}; [\vec{V}] = T^{-1}.$$

Швидкість точки визначається за заміною її координат у часі. Швидкість величина векторна, вона характеризує швидкість руху та його напрямок.

В обертовому русі тіла визначають кутову швидкість як міру швидкості зміни його кутового положення. Вона дорівнює за величиною першій похідній за часом від кутового переміщення.

*Прискорення точки* – це просторово-часова міра зміни руху точки. Прискорення точки дорівнює першій похідній за часом від швидкості цієї точки в системі відліку, яка розглядається:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}; [\vec{a}] = L^1T^{-2}.$$

Прискорення точки визначається за зміною її швидкості в часі.

Рух будь-якої рухомої системи відносно Землі в механіці розглядають як *переносний рух* (наприклад, рух човна на дистанції). Рух точки тіла людини, яка знаходиться в човні, відносно до човна буде *відносним рухом*. Рух цієї ж точки відносно Землі (нерухомих об'єктів на березі) треба вважати *абсолютним* (або складним).

*Абсолютна швидкість* руху цієї точки в такому випадку виражається діагоналлю паралелограма, побудованого на векторах відносної та переносної швидкості.

Рухи людини відбуваються в результаті дії сил. Власне вони є наслідком взаємодії її тіла з іншими тілами. *Біодинамічні характеристики* дозволяють розкрити основні особливості цих взаємодій. Біодинамічні характеристики включають: *інерційні характеристики* (особливості тіла людини й тіл, які вона рухає); *силові* (особливості взаємодії біологів тіла й інших тіл); *енергетичні* (стани та зміни працездатності біомеханічних систем).

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

Будь-які тіла зберігають швидкість незмінною при відсутності зовнішніх впливів. Цю властивість, що не має міри, і прийнято називати *інерцією*. Різні тіла змінюють швидкість під дією сил по-різному. Ця властивість, отже, має міру: її називають інертністю. Саме інертність і становить інтерес у тих випадках, коли необхідно оцінити як змінюється швидкість тіла.

Зберігання незмінної швидкості (рух немов би по інерції) у реальних умовах можливе тільки тоді, коли всі зовнішні сили, прикладені до тіл, взаємно врівноважені. В інших випадках невраховані зовнішні сили змінюють швидкість тіла відповідно до міри його інертності.

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

$$m = \frac{F}{a}; [m] = M,$$

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

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

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

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2; [I] = ML^2.$$



У системі тіл, що деформується, наприклад, коли її частини віддаляються від осі обертання, момент інерції системи збільшується. Інерційний опір збільшується з віддаленням частин тіла від осі обертання пропорційно квадрату відстані. Оскільки матеріальні точки в тілі розташовані на різних відстанях від осі обертання, для вирішення ряду задач зручно вводити поняття радіуса інерції.

*Радіус інерції тіла* – це порівняльна міра інертності даного тіла щодо його різних осей. Його можна виміряти, здобувши корінь квадратний із відношення моменту інерції (щодо даної осі) до маси тіла:

$$R_{in.} = \sqrt{\frac{I}{m}} ; [R_{in.}] = L .$$

Відомо, що рух тіла може відбуватися як під дією прикладеної до нього рушійної сили, так і без рушійних сил (по інерції, коли прикладена тільки гальмуюча сила). Рушійні сили прикладені не завжди; без гальмуючих же сил руху не буває.

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

$$F = ma ; [F] = MLT^{-2} .$$

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

При біомеханічному аналізі велике значення має встановлення джерела діючих сил. У зв'язку з цим необхідно враховувати, що джерелом сили в інерційній системі відліку для досліджуваного тіла завжди служить інше матеріальне тіло.

Рушійні сили визначаються по прискоренню тіла, що виникло в результаті дії цієї сили. Рушійна сила, як правило, збігається з напрямком руху тіла або ж утворює з ним

гострий кут (при цьому вона може виконувати позитивну роботу та збільшувати енергію тіла).

У рухах людини як системі тіл, де всі рухи частин тіла обертальні, зміна обертового руху залежить не від сили, а від моменту сили.

*Момент сили* – це міра обертаючої дії сили на тіло; він визначається добутком модуля сили на її плече:

$$R_{ин.} = \sqrt{\frac{I}{m}}; [R_{ин.}] = L.$$

Момент сили – величина векторна (сила виявляє свою обертаючу дію, коли вона прикладена до її плечей). Інакше кажучи, лінія дії сили не повинна проходити через вісь обертання.

Визначення сили або моменту сили, якщо відома маса або момент інерції, дозволяє визначити тільки прискорення, тобто як швидко змінюється швидкість. Треба ще дізнатися, наскільки саме зміниться швидкість. Для цього повинно бути відомо, як довго була прикладена сила. Інакше кажучи, необхідно визначити імпульс сили (або її моменту).

*Імпульс сили* – це міра впливу сили на тіло за даний проміжок часу (у поступальному русі).

$$S = \int_{t_0}^t F dt; [S] = MLT^{-1}.$$

В обертовому русі момент сили, діючи протягом певного часу, створює імпульс моменту сили.

*Імпульс моменту сили* – це міра дії моменту сили щодо даної осі за даний проміжок часу (в обертовому русі).

За кінцевий проміжок часу він дорівнює певному інтегралу від елементарного імпульсу моменту сили; межами інтеграла є моменти початку й кінця даного проміжку часу:

$$S_z = \int_{t_0}^t M_z(F) dt ; [S_z] = ML^2T^{-1}.$$

Внаслідок імпульсу як сили, так і моменту сили виникають зміни руху, що залежать від інерційних властивостей тіла й визначаються у зміні швидкості (кількість руху, кінетичний момент).

*Кількість руху* – це міра поступального руху тіла, що характеризує його спроможність передаватися іншому тілу у вигляді механічного руху. Кількість руху тіла вимірюється добутком маси тіла на його швидкість:

$$K = mv ; [K] = MLT^{-1}.$$

Кількість руху тіла спортсмена може бути встановлено, наприклад, по тому, як довго воно рухається до припинення свого руху під дією визначеної гальмуючої сили. Відповідна зміна кількості руху відбувається під дією імпульсу сили:

$$\int_{t_0}^t Ft = \Delta mV.$$

*Кінетичний момент* – це міра обертального руху тіла, що характеризує його спроможність передаватися іншому тілу у виді механічного руху. Кінетичний момент дорівнює добутку моменту інерції щодо осі обертання на кутову швидкість тіла:

$$K_z = I\omega ; [K_z] = ML^2T^{-1}.$$

Під дією імпульсу моменту сили відбувається відповідна зміна кінетичного моменту (момент кількості руху):

$$\int_{t_0}^t M_z(F) dt = \Delta(I)\omega.$$

Таким чином, до раніше розглянутих кінематичних мір зміни руху (швидкості та прискорення) добавляються й динамічні міри зміни руху (кількість руху, кінетичний мо-

мент). Разом із мірами дії сили вони відображають взаємозв'язок сил і руху. Вивчення їх допомагає усвідомити фізичний зміст рухів, що у свою чергу необхідно для правильного розуміння специфічних особливостей рухових дій людини.

При рухах людини, сили прикладені до її тіла на деякому шляху, виконують роботу та змінюють його енергію. Робота характеризує процес, при якому змінюється енергія системи. Енергія ж характеризує стан системи, який змінюється внаслідок роботи.

Енергетичні характеристики показують, як змінюються види енергії при русі та протікає сам процес зміни енергії.

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

Робота перемінної сили в поступальному русі на кінцевому шляху дорівнює певному інтегралу від елементарної роботи сили на шляху її дії:

$$A = \int_0^s F v ds ; [A] = ML^2T$$

де:  $F$  – проекція сили  $F$  на напрямок швидкості  $v$ . Тому що сили в рухах людини звичайно змінні, а рух точок тіла криволінійний, робота сили являє собою суму елементарних робіт.

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

$$A_{\text{тяж.}} = Ph.$$

При опусканні тіла робота сили тяжіння позитивна, при підніманні – негативна.

У процесі роботи людина проявляє певну працездатність (робота перетворюється у працездатність).

При енергетичних розрахунках для оцінки ролі сили визначають потужність сили, що характеризує важливу сторону її ефекту – швидкість виконання роботи.

*Потужність сили* – це міра збільшення роботи сили. Потужність сили в даний момент часу дорівнює похідній за часом від роботи:

$$N = \frac{dA}{dt} = A' = Fv; [N] = ML^2T^{-3}.$$

Ефективність дії сил у механіці визначають за коефіцієнтом корисної дії (ККД) – відношенню корисної роботи ( $A_{кор.}$ ) до усієї затраченої роботи ( $A$ ) сил:

$$n = \frac{N_{кор.}}{N} = \frac{A_{кор.}}{A}.$$

Чим більший ККД, тим ефективніший рух.

Таким чином, поняття роботи являє собою міру зовнішніх впливів, прикладених до тіла на певному шляху, що викликають зміни механічного стану тіла.

Механічна енергія тіла людини визначається як запас його працездатності. Механічна енергія визначається швидкостями рухів тіл і їхнім взаємним розташуванням. Це енергія переміщення та взаємодії.

*Кінетична енергія* тіла людини – це енергія його механічного руху, що визначає його можливість виконати ту чи іншу роботу. При поступальному русі вона вимірюється половиною добутку маси тіла людини на квадрат його швидкості:

$$E^k_{(noc.)} = \frac{mv^2}{2}; [E^k] = ML^2T^{-2}.$$

При обертальному русі кінетична енергія тіла людини може бути виражена:

$$E^k_{(j..)} = \frac{I\omega^2}{2}; [E^k] = ML^2T^{-2}.$$

Потенційна енергія тіла – це енергія його положення, обумовлена взаємним відносним розташуванням тіл або

частин того самого тіла і характером їхньої взаємодії. Потенційна енергія в полі сил тяжіння дорівнює:

$$E^p = mgh = Gh,$$

де:  $G$  – сила тяжіння,  $h$  – різниця рівнів початкового та кінцевого положення над землею (відносно якого визначається енергія).

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

Кінетична енергія біомеханічної системи тіла людини при плоско-паралельному русі дорівнює сумі кінетичної енергії його центру мас (ЦМ) (якщо припустити, що в ньому зосереджена маса всієї системи) і кінетичної енергії системи в її обертальному русі щодо ЦМ:

$$E^k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega}{2} \dots$$

Повна механічна енергія системи тіла дорівнює сумі його кінетичної та потенційної енергії. При відсутності впливів зовнішніх сил повна механічна енергія тіла не змінюється.

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

$$\Delta E^k = A_e + A_i.$$

У рухах людини одні види рухів переходять у інші. При цьому енергія, як міра його руху також переходить з одного виду в інший. Так хімічна енергія у м'язах перетворюється в механічну (внутрішню потенційну пружно деформованих м'язів). Породження останньої сили тяги м'язів виконує роботу й перетворює потенційну енергію в кінетичну енергію ланок тіла, що рухаються, і зовнішніх тіл. Механічна енергія зовнішніх тіл (кінетична) передається при її дії на тіло людини, перетворюється в потенційну енергію м'язів, що розтягуються й у теплову енергію, що розсіюється.

### 1.5. Біомеханічні властивості м'язів

М'язи як і фізичні тіла мають механічні властивості – пружність, в'язкість, повзучість, релаксацію. Як біологічні об'єкти м'язи проявляють властивості збудливості та здатності до скорочення. Всі названі властивості тісно взаємопов'язані, що важливо враховувати при біомеханічному дослідженні рухів.

*Пружність* проявляється у виникненні напруги у м'язі при його деформації під дією навантаження.

*В'язкість* проявляється в затримці деформації внутрішніми силами (рідким тертям, молекулярними силами).

*Повзучість* – це властивість м'язу змінювати з часом співвідношення „довжина–напруга”. Навантажений (напружений) м'яз має відповідну довжину; через деякий час при тих же навантаженнях і напруженнях ця довжина збільшується.

*Релаксація* виявляється в тому, що розтягнутий м'яз, зберігаючи довжину, поступово з часом зменшує свою напругу, розслабляється.

*Збудливість* м'язу проявляється у зміні як його напруги, так і механічних властивостей – пружності, в'язкості та ін. У результаті збудження хімічна енергія у м'язі перетво-

рюється в механічну. Збуджений м'яз при тому ж навантаженні та напрузі має меншу довжину – не змінюючи своєї напруги, він скорочується.

*Скорочення* – при певній величині напруги довжина збудженого м'язу менша.

### **1.6. Біомеханічні основи техніки і тактики фізичних вправ**

Біомеханіка спорту як одна з основ теорії спортивної техніки допомагає науковому обґрунтуванню показників досконалості спортивної техніки, напрямків розвитку систем рухів у спортивних вправах, шляхів оволодіння технікою та її удосконалення, а також контролю в технічній підготовці. При цьому вивчаються біомеханічні вимоги до систем рухів, їх становлення та удосконалення.

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

Найбільш загальні показники рівня спортивно-технічної майстерності – ефективність системи рухів (високий спортивний результат) при потрібному рівні надійності на основі високого рівня проведення спортивної підготовки в усіх її розділах.

*Високий спортивний результат* – обов'язковий показник майстерності. Спортивний результат залежить від доцільності всіх рухів, їх точності в досягненні мети і високої економічності (значний ККД застосованих сил).



Іншими словами кажучи, майстерність проявляється в ефективності техніки.

Наступний показник майстерності – висока *надійність* спортивних досягнень, здатність впевнено, з великою вірогідністю успіху повторювати їх при потрібній якості в різних умовах. Для високого рівня надійності потрібна успішна боротьба з перешкодами (стійкість до різноманітних впливів).

Ефективність і надійність являються наслідком високого рівня всіх сторін спортивної підготовки (фізичної, технічної, тактичної, психологічної та теоретичної). Біомеханічне вивчення проблеми майстерності йде по шляху визначення ефективності системи рухів, а також здатності боротися з відхиленнями від оптимальної програми.

У залежності від завдань спортивні вправи можна поділити на групи:

1-ша група – вправи зі стабілізацією кінематичної структури (виконання рухів заданої форми й характеру – гімнастика, акробатика, стрибки у воду, фігурне катання на ковзанах й ін.);

2-га група – вправи зі стабілізацією динамічної структури (досягнення максимальної кількості вимірюваного результату – важка атлетика, легка атлетика й ін.);

3-тя група – вправи з варіативністю спортивних дій (забезпечення кінцевого якісного ефекту в змінних умовах – єдиноборства, спортивні ігри).

Стабільність високого результату, що визначається майстерністю, в кожній із груп вправ мають свої показники.

У першу групу показників входять: а) об'єм; б) різнобічність; в) раціональність технічних дій, які вміє виконувати спортсмен.

У другу групу: а) ефективність; б) освоєння виконання.

Об'єм технічної підготовленості (спортивно-технічної майстерності) визначається числом технічних дій, які вміє виконувати чи виконує спортсмен. У цьому випадку техніку звичайно оцінюють по факту виконання (виконав – не виконав, вміє – не вміє).

Розрізняють загальний і змагальний об'єми технічної підготовленості. Загальний об'єм характеризується сумарним числом технічних дій, які освоєні спортсменом; змагальний об'єм – число різноманітних технічних дій, які виконуються в умовах змагання. Так, наприклад, гімнасти – майстри спорту міжнародного класу – вміють виконувати на кожному снаряді (крім опорного стрибка) 120-200 елементів. Таким чином, на усіх шести снарядах гімнасти високого класу можуть виконати приблизно 750-1000 різних елементів. Такий типовий загальний об'єм технічної підготовленості гімнаста високого класу. На одному змаганні він, звичайно, не виконує всі ці елементи одразу. Змагальний об'єм значно менший загального.

#### *Різnobічність технічної підготовленості*

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

Об'єм та різnobічність технічної підготовленості є важливими показниками майстерності спортсменів, особливо

в тих видах спорту, де є великий арсенал технічних дій (ігри, гімнастика, фігурне катання на ковзанах та ін.).

*Раціональність техніки*

Раціональність технічних дій визначається можливістю досягнути на їх основі вищих спортивних результатів. Раціональність техніки – це характеристика не спортсмена, а самого способу виконання руху, різновидності техніки, яку використовуємо. Та чи інша техніка може бути більш чи менш раціональною (наприклад, при плаванні вільним стилем найбільш раціональним вважається кріль, хоча плавцю не забороняється будь – який інший спосіб). В історії майже кожного виду спорту були періоди зміни одних способів виконання рухів іншими, більш раціональними. Ніхто з кваліфікованих спортсменів не використовує зараз брас на спині та батерфляй – у плаванні, чотирьох кроковий поперемильний хід – в лижних гонках, поворот плугом і напівплугом – в гірськолижному спорті, спосіб „ножиці” – у стрибках в висоту та „зігнувши ноги” – у стрибках в довжину, великий оберт на перекладині зі зберіганням прогнуптого положення тіла на протязі всього оберту – у гімнастиці. Ці способи чи зовсім зникли, чи застосовуються тільки при навчанні початківців.

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

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

*Ефективність володіння спортивною технікою*

Ефективністю володіння спортивною технікою (або ефективністю техніки) того чи іншого спортсмена називається ступінь близькості її до найбільш раціонального варіанту. Ефективність техніки (на відміну від раціональності) – це характеристика не того чи іншого варіанту техніки, а якості володіння технікою.

*Абсолютна ефективність.* У більшості випадків спортивний результат не є переконливим показником ефективності техніки, так як, окрім техніки, він залежить ще й від інших факторів, зокрема, від розвитку рухових якостей. Наприклад, один фехтувальник може перевершувати іншого в атаці стрибком (флеш-атаці) не із-за переваг у техніці, а із-за більшої стрибучості та добре розвинутих швидкісних якостей.

Тому описаний метод оцінки ефективності техніки придатний в основному в тих випадках, коли технічні дії не вимагають найбільшого проявлення рухових якостей.

В основі раціональної техніки можуть лежати різні критерії: а) біомеханічні (наприклад висота підйому ЗЦТ при ходьбі); б) фізіологічні; при нераціональній техніці в тих, хто спеціалізується у спортивній ходьбі нерідко виникають різкі больові відчуття в передньому великогомілковому м'язі із-за погіршення кровообігу внаслідок того, що час її розслаблення в одному кроці виявляється недостатнім; в) психологічні; техніка спортивних ігор і єдиноборств у вирішальній мірі визначається прагненням виконати рух таким чином, щоб він був більш незручним для супротивника (хоча він може бути незручним для самого спортсмена чи привести до зниження сили та швидкості руху). Наприклад, бажано, щоб технічні дії були несподівані для супротивника, тому їх доцільно проводити раптово (без підготовки) чи після обманних рухів („фінтів”). З точки зору механіки рухів такі дії нераціональні (сила, швидкість, а інколи й точність рухів

при цьому знижуються), однак саме вони дозволяють переграти супротивника. Тому подібні способи виконання технічних дій є в іграх та єдиноборствах найбільш раціональними; г) естетичні; критерії цієї групи є визначаючими у тих видах спорту, де краса рухів – основа майстерності (гімнастика, фігурне катання на ковзанах та ін.).

*Порівняльна ефективність.* У цьому випадку за зразок береться техніка спортсменів високої кваліфікації. Ті ознаки техніки, які закономірно відрізняються у спортсменів різної кваліфікації (тобто змінюються зі зростом спортивної майстерності), називаються дискримінативними ознаками. Такі ознаки ефективності техніки використовують у якості основних показників лише тоді, коли техніка рухів дуже складна і на основі біомеханічного аналізу не вдається визначити найбільш раціональний варіант. В інших випадках дискримінативні ознаки доповнюють показники абсолютної ефективності, дуже часто збігаються з ними.

При оцінці ефективності техніки за допомогою дискримінативних ознак треба пам'ятати, що техніка навіть видатних спортсменів може бути не повністю раціональною.

Для визначення дискримінативних ознак використовують один з двох дослідницьких підходів:

- а) порівнюють показники техніки спортсменів високої та низької кваліфікації, або
- б) розраховують коефіцієнти кореляції та рівняння регресії поміж спортивним результатом, з одного боку, та показником техніки – з іншого.

Не завжди дискримінативні ознаки легко побачити. Наприклад, у штовхачів ядра у фінальному зусиллі обидві ноги, звичайно, відриваються від опори раніше, ніж рука виштовхує ядро. У більшості випадків період від відриву ніг до випуску ядра – період безопорного виштовхування – на-

стільки короткий (10-20 мс), що навіть досвідчений тренер його не помічає. Період безпорного виштовхування зменшується з ростом спортивної кваліфікації. Ця дискримінативна ознака показує достатньо високу кореляцію з результатом в штовханні ядра ( $r = 0,55$ ).

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

Варіант „А”. У даному випадку ефективність техніки оцінюється по тому, наскільки добре спортсмен застосовував в русі свої рухові можливості. При такому підході опираються на існування зв'язків між трьома показниками: спортивним результатом, рівнем розвитку рухових якостей, ефективністю техніки.

Практично це використовується шляхом порівняння результату спортсмена:

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

Так у стрибунів на батуті реєстрували час польоту при простих стрибках („качах”) і при виконанні сальто.

У простому стрибку висота польоту залежить головним чином від швидкісно-силових можливостей спортсмена. При виконанні сальто спортсмен повинен ці можливості застосовувати максимально (в ідеалі на 100%). Данні показують, що це вдається тільки спортсменам високого класу, у котрих вище як сам руховий потенціал, так і ступінь його використання. Показником потенційних можливостей спортсмена є в даному випадку час польоту в простому стрибку (він тим більший, чим вище стрибок), а ступінь

використання рухового потенціалу характеризується коефіцієнтом ефективності техніки.

Варіант „Б”. В цьому випадку ефективність техніки оцінюють шляхом визначення енергозатрат чи виявляючи під час руху силу при виконанні одного й того ж завдання, іншими словами – визначають функціональну економізацію. Наприклад, величина споживання кисню у ковзанярів під час бігу з однією й тією ж швидкістю буде різною. Схожа картина буде спостерігатися, якщо реєструвати, наприклад, силу відштовхування в бігу з заданою швидкістю: спортсмени низької кваліфікації частину зусиль витрачають непродуктивно (скажімо, на зайвий підйом ЦТ тіла вгору), і тому при тій же швидкості бігу імпульс сил опорних реакцій у них більший.

Економічність спортсмена (тобто вміння виконувати роботу з як можливо найменшими витратами енергії) залежить як від його технічної майстерності, так і від таких функціональних показників, як МСК та поріг анаеробного обміну.

Показники економічності неможливо розглядати тільки як показники технічної майстерності. Ці комплексні показники залежать як від ефективності техніки, так і від функціональних можливостей спортсмена.

#### *Засвоєнність техніки*

Технічна дія може бути засвоєна (вивчена, закріплена) спортсменами з різним ступенем. Засвоєнність руху – відносна, самостійна характеристика технічної майстерності, незалежна від ефективності техніки. Спортсмен може добре засвоїти той чи інший рух, але з істотними помилками в техніці (його техніка при цьому буде неефективна) і, навпаки, майже з перших спроб виконати рух правильно, хоча і недостатньо добре засвоївши його. Він може швидко забути правильне виконання та вже на наступному занятті бути неспроможним повторити свої правильні спроби.

Саме у зв'язку з різним ступенем володіння рухами здавна були зведені поняття про рухові вміння та рухові навички. Рухове вміння – це придбана здатність виконувати рух. Під руховою навичкою розуміють достатньо добре засвоєне вміння. Характеристика фізіологічних та психологічних явищ, які лежать в основі рухових вмінь та навичок, є в курсах фізіології та психології. Тут достатньо привести тільки біомеханічну характеристику засвоєності рухів і, зокрема тих її сторін, які найбільш суттєві для спортивно-технічної майстерності.

Для добре засвоєних рухів типові:

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

### **1.7. Сучасні методи біомеханічного аналізу рухових дій**

Аналізуючи техніку виконання спортсменами різних фізичних вправ, тренери, в основному, покладаються на свій досвід та візуальне спостереження. Але окремі елементи рухових дій, особливо такі, що тривають дуже короткий час (наприклад, фаза опори в бігу, відштовхування від опори у стрибках, постріли, удари по м'ячу, взаємодія гірськолижника з трасою та ін.), залишаються поза можливостями сприйняття людини. У наслідок цього дуже важко об'єктивно оцінити порівняльну чи абсолютну ефективність виконання фізичних вправ, її частин або фаз.



Таким чином, для ефективного навчання, контролю та вдосконалення спортивно-технічної майстерності спортсменів необхідні об'єктивні спроби реєстрації рухових дій, які дозволять ретельно вивчити техніку кращих спортсменів, виявити її визначальні елементи для різних видів спорту та розробити раціональні індивідуальні моделі техніки.

Це особливо актуально:

а) при підготовці юних спортсменів, що дозволить уникнути заучування грубих помилок при виконанні змагальних вправ, які деякі спортсмени „несуть” до вершини своїх спортивних показників, не досягаючи максимально можливого спортивного результату;

б) при підготовці провідних спортсменів професійних і національних команд, які практично вичерпали свої функціональні можливості, проте могли б покращити спортивний результат за рахунок удосконалення техніки виконання рухових дій.

Для опису рухів людини використовуються такі поняття, як положення його системи точок, переміщення, траєкторії, швидкості, прискорення й інші. Складність пізнання самого процесу руху полягає в тому, що воно пред'являє особливі вимоги до способів виміру його параметрів і подальшого їхнього аналізу. Об'єктивність аналізу базується на глибокому розумінні фізичної сутності рухів людини та правильного використання як самих кінематичних термінів, так і одиниць їхнього виміру.

Рухи тіла людини можна виміряти, тільки порівнюючи положення його матеріальних точок із положенням обраного для порівняння тіла (тіло відліку). У якості зручної системи відліку при вивченні біокінематичних характеристик рухової дії по кінограмі придатна декартова інерційна система координат на площині. У процесі біокінематичного дослідження нерухома координатна

система відліку може бути співвіднесена з будь-яким відносно нерухомим на кінограмі орієнтиром (лінія старту, фінішу при бігу спортсмена, нерухомі орієнтири навколишнього середовища, видимі деталі будинків і т.д.).

При вивченні рухів із складною координаційною структурою, а також при оцінці рухливості в суглобах при руховій реабілітації після перенесених травм або хірургічних втручань, при протезуванні кінцівок перед дослідниками часто виникають складні задачі по визначенню не стільки положення всього тіла в якійсь площині, скільки вивченню відносного взаємного розташування окремих його біологів, біокінематичних пар або ланцюгів. Для рішення таких проблем звичайно використовується соматична система відліку, що дозволяє зв'язувати систему координат не з якимось зовнішнім об'єктом, а із самим тілом людини. Якщо ж необхідно вивчити рух точок тіла як у соматичній, так і в зовнішній системі координат, то необхідно додатково використовувати відносні взаємні переміщення самих координатних систем. Це спостерігається, наприклад, у бігу або ходьбі, коли одночасно вивчаються махові рухи кінцівок щодо всього тіла й переміщення спортсмена по дистанції щодо лінії фінішу.

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

Найпростішим способом об'єктивної реєстрації рухових дій є стробофотографія. Стробофотографія – це зображення на одному фотознімку кількох послідовних положень тіла спортсмена, який виконує фізичну вправу. Техніка виконання стробофотографії полягає в багаторазовій короткочасній експозиції на одну й ту ж фотоплівку зображення спортсмена, що виконує фізичну вправу, використовуючи стробоскоп – диск з отворами, який обертається перед відкритим об'єктивом фотоапарату, або багаторазово спрацьовуючи імпульсну лампу.

Основним і визначальним недоліком цього способу є необхідність фотографування спортсменів у темряві, що практично виключає можливість його застосування в умовах змагань або з метою вивчення техніки спортсменів.

Другим недоліком стробофотографії є накладення зображень окремих частин тіла спортсмена та його спорядження одне на одне, що не дозволяє докладно визначити розташування потрібних для біомеханічного аналізу точок.

Переваги способу стробофотографії – широка доступність, відносна простота та низька вартість, а також можливість одержати дуже велику кількість зображень об'єкта зйомки за одну секунду.

Вказані можливості стробофотографії визначають межі її застосування – для вивчення особливостей техніки спортсменів, яких ми готуємо, фундаментальних лабораторних обстежень, а також при випробуваннях чи індивідуальній підготовці спортивного інвентаря.

Найбільш популярним сьогодні способом реєстрації фізичних вправ є відеозйомка з наступним покадровим переглядом відзнятого матеріалу на відеомоніторі або телеприймачі. Відеотехніка з успіхом застосовується в умовах тренувань і змагань у багатьох видах спорту.

Одним з недоліків способу, який обмежує його застосування, – відносно невисока максимальна частота стоп-кад-

рів, що не дозволяє отримати на відеомоніторі зображення спортсмена частіше, ніж 25 разів за секунду, чого в багатьох видах явно недостатньо.

Не варто забувати і про особливості обробки одержаного відеозапису для біомеханічного аналізу виконаних вправ: визначення координат потрібних точок тіла спортсмена та спорядження безпосередньо на відеомоніторі практично неможливе.

Для спостереження й автоматизації цього процесу використовуються спеціальні відео-комп'ютерні комплекси, які дозволяють запам'ятовувати й отримувати на моніторі комп'ютера роздруковані зображення досліджуваних об'єктів у потрібні моменти часу.

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

Кінограма – це послідовні фотографічні зображення тіла спортсмена, який виконує фізичні вправи, віддрукувані з кіноплівки.

Побутові кінокамери дозволяють знімати з частотою до 60 кадрів за секунду з відстані до 15 метрів, а спеціальні швидкісні кінокамери розраховані для зйомки зі значно більшою частотою (від 200 до кількох тисяч кадрів за секунду) і з відстані до 50 метрів.

Слід додати, що спосіб кінограм сьогодні є одним з найпоширеніших при біомеханічному аналізі більшості рухових дій і використовується провідними науковими інститутами, лабораторіями та біомеханічними центрами.

## 1.8. Технічні засоби навчання руховим діям і тренажерні системи

Технічні засоби навчання руховим діям і тренажерні системи дозволяють ефективно розвивати різноманітні рухові якості та здібності, поєднувати удосконалення технічних вмінь, навичок і фізичних якостей у процесі спортивного тренування, створювати необхідні умови для точного контролю й управління найважливішими параметрами тренувального навантаження.

Тренажери, що застосовуються зараз у спортивній практиці, можуть бути розподілені на шість основних груп.

*Перша група* – тренажери для загальної фізичної підготовки. До них можна віднести сучасні ергометри для аеробного тренування. Різноманітні тренажери цього типу останнім часом отримали широке розповсюдження в оздоровчому спорті, а також у спорті вищих досягнень – для підвищення рівня загальної фізичної підготовки спортсменів. До цієї ж групи потрібно віднести й різноманітні найбільш прості тренажери для загальної силової підготовки спортсменів.

До *другої групи* відносяться тренажери, які працюють за принципом полегшеного лідирування. Пов'язано це з тим, що за допомогою ряду тренажерних пристроїв виникає можливість створювати режими виконання спортивних вправ чи їх основних елементів, які неможливо створити у природних умовах. Конструктивні особливості таких тренажерів передбачають мінімальні відхилення від раціональної техніки виконання запланованої рухової дії. Це створює підґрунтя для запобігання помилкам і збільшує вірогідність досягнення більш високих результатів за тими характеристиками рухів, які запропоновані конструкцією тренажера. Штучно полегшені за допомогою тренажера умови для досягнення оптимальної координаційної струк-

тури (у порівнянні із звичайними умовами тренувальної та змагальної діяльності) дозволяють спортсмену та тренеру визначити шляхи більш повної реалізації функціональних можливостей, розробки моделі техніки, яка б забезпечувала б вихід на запланований результат. Тренажери, які працюють за принципом полегшуючого лідирування, допомагають спортсмену формувати просторову, часову, динамічну та ритмічну структуру рухів, характерну для досягнення запланованого результату. Так, бігуну вони дозволяють підвищувати максимальну частоту рухів ніг завдяки зменшення зовнішнього та внутрішнього опору. З цією метою може бути застосований буксирний пристрій, який складається зі стержня з ручкою, закріпленого на задньому бампері автомобіля. За його допомогою можна підвищувати частоту рухів ніг і збільшувати довжину кроку, в результаті чого зросте швидкість бігу. До таких же результатів призводить застосування бігу на тредбані зі швидкістю руху доріжки, яка перевершує максимальну швидкість бігуна.

Тренажери з таким же принципом роботи використовуються і в інших циклічних видах спорту. Так, у плаванні – це тренування в гідродинамічному басейні із зустрічним потоком води, швидкість якого більша за доступну плавцю; буксування плавця (чи човна у греблі) зі швидкістю, яка перевершує абсолютну; у велосипедному спорті – робота на велотренажері, темп обертів якого автоматично регулюється й перевершує доступний велосипедисту, а також гонка за лідером. Спеціальні дослідження, проведені в цьому напрямку, свідчать про високу ефективність таких тренувальних пристроїв для підвищення швидкісних можливостей і подолання швидкісного бар'єру, що сформувався.

*Третя група* тренажерів – різноманітні керуючі пристрої, які забезпечують спортсмену підтримування заданої

швидкості рухів під час виконання тренувальних вправ, формування раціонального темпу й ритму рухів. Так, наприклад, у циклічних видах спорту широко застосовуються світлолідери, які дозволяють підтримувати задану швидкість при подоланні тренувальних відрізків, відпрацьовувати раціональну тактичну схему проходження дистанції. У різних видах спорту отримали поширення лідери, які регулюють інтенсивність роботи спортсмена за допомогою термінового інформування про частоту скорочення серця. Це можуть бути малогабаритні світлові табло, розміщені на рамі велосипеда чи в човні, мініатюрні навушники, за допомогою яких спортсмен отримує певний звуковий сигнал у випадку виходу ЧСС із заданої зони. Застосування звукових чи світлових лідерів використовується також при формуванні оптимального ритму рухів. З цією ж метою використовуються і прибори для електростимуляції м'язів, забезпечуючи примусове скорочення м'язів у заданій фазі руху. Інформація про відхилення, які виникають, передається спортсмену у вигляді звукових, світлових або електротактильної сигналізації для активної корекції рухів. Біосигналізатор ритму особливо ефективний для створення оптимальної ритмічної та динамічної структури рухів у циклічних видах спорту.

*Четверта група* – тренажери, що дозволяють сумістити процес розвитку різних рухових якостей з технічним удосконаленням. Прикладом може слугувати тренажер для греблі, при використанні якого достатньо точно імітується техніка гребка, ступінь і характер м'язових зусиль на різних його стадіях.

У підготовці плавців широко застосовується так званий пружинно-важільний тренажер, у якому навантаження регулюється кількістю пружин і змінюється під час виконання вправ за рахунок плеча прикладення сили відносно осі обертання важеля. Цей тренажер дозволяє регулювати на-

вантаження по всій амплітуді основного робочого руху з урахуванням реальних можливостей м'язових груп.

До *п'ятої групи* варто віднести серію оригінальних тренажерів зі змінними опорами, які створюють умови для одночасного прояву силових якостей і рухомості в суглобах. В основі конструкції тренажерів лежить використання важелів та ексцентричних дисків, блоків і наборів навантажень.

Наявність пристроїв блочного типу та наборів навантажень дозволяє виконувати рухи з максимально можливою амплітудою, що забезпечується примусовим розтягуванням м'язів у поступаючій частині руху як в умовах концентричної, так і ексцентричної роботи. Основний елемент тренажерів – ексцентричний диск, який використовується в системі силової передачі, забезпечує можливість зміни опору при зміні кута обертуті. Цим досягається зміна опору в різних фазах амплітуди руху.

*Шоста група* тренажерів – різноманітні пристрої, які стимулюють адаптаційні реакції організму спортсмена за рахунок створення штучних кліматичних і погодних умов.

На практиці знайшли застосування барокамери, які дозволяють регулювати в широкому діапазоні тиск повітря і парціальний тиск кисню. Розміри деяких барокамер дають можливість широко застосовувати спеціальні тренажери, які максимально наближають роботу до природних умов.

Крім барокамер, для створення гіпоксичних умов використовуються досить прості пристосування, які подають спортсмену гіпоксичну суміш через спеціальні маски, що дозволяють вдихати її як при роботі у стаціонарних умовах на тренажерах, так і у природних умовах спортивної практики.



## Розділ 2. ПРАКТИЧНИЙ КУРС

При проходженні практикуму з курсу біомеханіки фізичних вправ студенти спеціальності „Фізичне виховання” повинні опанувати основні методики біомеханічних досліджень і, використовуючи методики, провести біомеханічний аналіз виконання запропонованої фізичної вправи. В якості контрольного прикладу розглядається аналіз стрибка у висоту майстра спорту міжнародного класу, багаторазового чемпіона України і СРСР, призера першості Європи Р. Ахметова.

Тематика й порядок виконання лабораторних робіт представлені таким чином, що в кожній наступній роботі використовуються результати попередньої.

У додатках представлені питання поточного та підсумкового контролю.

### **2.1. Організація роботи та правила техніки безпеки на заняттях із біомеханіки фізичних вправ**

*При виконанні лабораторних робіт із біомеханіки фізичних вправ необхідно дотримуватись вимог типової інструкції з техніки безпеки при роботі в кабінетах (лабораторіях) кафедри теорії і методики фізичного виховання Житомирського державного педагогічного університету імені Івана Франка.*

1. Дотримання вимог інструкції обов’язкове для студентів, які працюють у кабінетах (лабораторіях) кафедри теорії і методики фізичного виховання Житомирського державного педагогічного університету імені Івана Франка.

2. Перебування сторонніх осіб у кабінеті під час про-

## *2.1. Організація роботи та правила техніки безпеки на заняттях ...*

ведення учбових занять дозволяється тільки з дозволу викладача.

3. Під час роботи у кабінеті студенти повинні постійно підтримувати порядок на робочих місцях.

4. Перед виконанням роботи необхідно добре засвоїти (вивчити за підручником або посібником) порядок її проведення. Слід дотримуватись усіх указівок викладача щодо правильного виконання окремих розділів роботи.

5. Категорично забороняється проводити самостійно будь-які досліди, що не передбачені даною роботою та навчальним планом.

6. При проведенні роботи забороняється використовувати прилади, які вийшли з ладу, а також прилади, що не мають прямого відношення до виконуваної роботи. Категорично забороняється користуватись приладами та обладнанням із пошкодженими корпусами, незаземленими та відкритими електроприладами (без захисних кожухів). Умикати в електромережу прилади (обладнання) слід тільки після дозволу викладача і під його наглядом. При використанні конкретного приладу слід дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з ним.

7. Категорично забороняється їсти та пити в кабінеті (лабораторії), захарашувати проходи особистими речами (сумками, пакетами тощо), вносити в кабінет (лабораторію) сторонні речі.

8. При травмуванні, а також при поганому самопочутті студенти повинні негайно сповістити про це викладача або лаборанта.

9. Прибирання робочих місць опісля закінчення експерименту проводиться у відповідності зі вказівками викладача.

10. При виникненні у кабінеті (лабораторії) під час занять аварійної ситуації (пожежа, сторонні запахи, аварії водогону тощо) не допускати паніки і дотримуватись вказівок викладача.

*Переважає більшість лабораторних робіт із біомеханіки виконується з використанням персональних комп'ютерів (ПК). Тому необхідно дотримуватись додаткових вимог техніки безпеки при роботі з ПК.*

Приступаючи до роботи з ПК, необхідно завжди пам'ятати, що це складна і дорога апаратура, яка потребує акуратного й обережного ставлення до неї, високої самодисципліни на всіх етапах роботи з комп'ютером.

Напряга живлення ПК (220 В) є небезпечною для життя людини. Через це в конструкції блоків комп'ютера, між-блокових з'єднувальних кабелів передбачена достатньо надійна ізоляція від струмопровідних ділянок. Користувач практично має справу лише з декількома вимикачами живлення і, здавалось би, застрахований від ураження електричним струмом. Однак у практичній роботі можуть зустрічатись непередбачені ситуації, і щоб вони не стали небезпечними для користувача, необхідно знати та чітко виконувати ряд правил техніки безпеки. Це допоможе не тільки уникнути нещасних випадків і зберегти здоров'я, але й гарантуватиме збереження апаратури.

Особливо уважним треба бути при роботі з дисплеєм, електронно-променевою трубкою якого використовує високу напругу і є джерелом електромагнітного випромінювання. Неправильне поводження з дисплеєм та іншою електронною апаратурою може призвести до тяжких уражень електричним струмом, спричинити загоряння апаратури. Через це суворо **забороняється**:

- торкатися до екрана і тильного боку дисплея, проводів живлення і пристроїв заземлення, з'єднувальних кабелів;

- порушувати порядок увімкнення й вимкнення апаратних блоків, намагатись самостійно усунути виявлену несправність у роботі апаратури;

- класти на апаратуру сторонні предмети;

□ працювати на комп'ютері у вологій одежі і з вологими руками.

В разі появи запаху горілого, незвичайних звуків або самовільного вимкнення апаратури треба негайно вимкнути комп'ютер і повідомити про це викладача.

Робота на комп'ютері потребує постійної уваги, чітких дій і самоконтролю. Через це на комп'ютері не можна працювати при недостатньому освітленні, високому рівні шуму.

Під час роботи на комп'ютері **необхідно**:

□ суворо дотримуватись положень інструкції з експлуатації апаратури;

□ уважно слідкувати за справністю основних блоків і пристроїв;

□ працювати на клавіатурі чистими сухими руками, не натискувати на ті чи інші клавіші без потреби або навмання;

□ працюючи з дискетами, оберегати їх від ударів, кручення, дії магнітного поля або тепла, не торкатись дискети, яка виступає з конверта, вставляти дискету в дисковод тільки після його ввімкнення, переконавшись у правильному орієнтуванні дискети відносно щілини дисководу;

□ під час перерви в роботі вимикати комп'ютер лише в тому разі, коли обробка поточної інформації завершена і зміст оперативної пам'яті занесено на магнітні диски (у протилежному випадку неминуча втрата інформації).

Під час роботи комп'ютера електронно-променева трубка дисплея є джерелом електромагнітного випромінювання, яке при роботі близько від екрана руйнівнює діє на зір, викликає втоми і знижує працездатність. Через це треба працювати на відстані 60-70 см від екрана, дотримуватись правильної постави, не сутулячись і не нахилиючись.

## 2.2. Лабораторна робота № 1

### ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ РУХІВ

Мета роботи: ознайомитись з методами реєстрації рухів, вивчити вимоги до організації відеозйомки.

Матеріали та обладнання: кінокамера або відеокамера.

#### Теоретичні відомості

Рух тіла вважають вивченим лише тоді, коли відомий спосіб визначення положення цього тіла у будь-який момент досліджуваного проміжку часу. З цією метою рух тіла реєструють.

При проведенні біомеханічних досліджень використовують різні методи реєстрації рухів і положень тіла. Серед них особливе місце займають оптичні та електричні методи, які часто застосовуються у комплексі, доповнюючи один одного.

*Фотографічний метод* – один із найстаріших оптичних методів. Він використовується для оцінки статичних положень тіла людини, але може використовуватись і для дослідження окремих динамічних поз рухомого тіла.

*Метод кінореєстрації* досить тривалий час залишався основним методом дослідження рухів у спорті. Він забезпечував послідовну зйомку рухомих об'єктів на кіноплівку. Кіноплівка являється матеріалом для виготовлення кінограм (рис. 1.1). Кінограмами називають послідовні фотографічні зображення тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ. Кінограму друкують із негативної кіноплівки, при цьому вибирають тільки ті кадри, які містять інформацію про фази руху, про найскладніші та найважливіші елементи фізичної вправи і т.п. Кінограми являються документом, за яким проводиться оцінка поз, визначаються координати точок тіла спортсмена та виконується побудова біокінематичної схеми досліджуваної фізичної вправи.

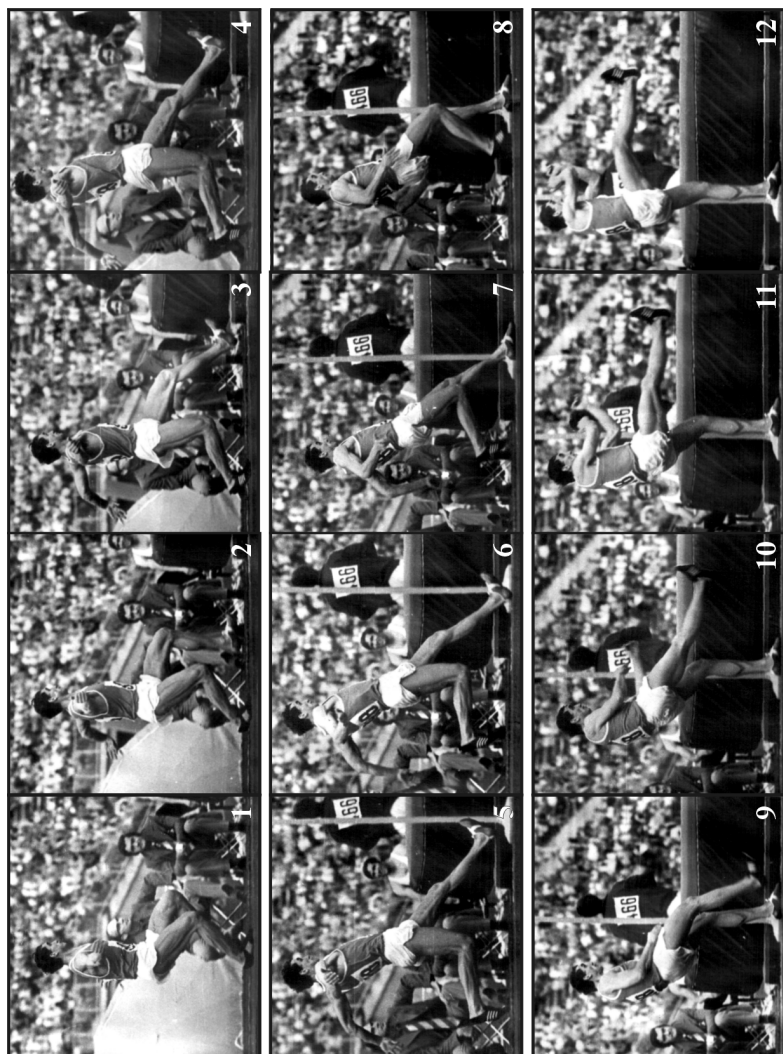


Рис. 1.1. Стрибок Р. Ахметова (кінограма В. Папанова, частота – 32 кадри/с).

На кінограмі всі відбитки положень і поз спортсмена повинні бути пронумеровані у відповідності з їх порядковим номером на кіноплівці. Крім того, на кінограмі обов'язково повинна бути вказана швидкість кінозйомки (частота кадрів).

Таким чином, у біомеханічних дослідженнях кінокамера використовується як вимірювальний прилад, який дозволяє одночасно вимірювати не тільки просторові, але й часові характеристики руху.

Достатньо висока точність визначення координат точок та вимірювання інтервалів часу (особливо при використанні швидкісних кінокамер) являються основними перевагами кінометоду. До недоліків цього методу слід віднести високу вартість кіноплівки та затримку у часі перегляду відзнятого матеріалу через необхідність фотохімічної обробки кіноплівки.

Проблеми методу кінореєстрації, що обумовлені особливостями фотографічного процесу, можуть бути оперативно вирішені через запис та відтворенням рухів за допомогою відеотехніки. Проте суттєвою перешкодою для широкого застосування методу відеореєстрації у біомеханічних дослідженнях до останнього часу була низька роздільна здатність відеосистем, що приводило до виникнення, так званих, локалізаційно-кінематичних спотворень і проявлялось у розмиванні зображення фігури спортсмена при швидких рухах. Це знижувало точність визначення координат, а також точність розрахованих значень швидкостей і прискорень точок тіла, тобто основних кінематичних характеристик руху.

Інтенсивний розвиток відеотехніки та розробка апаратного й програмного комп'ютерного забезпечення дозволяють сьогодні проводити біомеханічні дослідження на якісно новому методичному рівні – рівні відео-комп'ютерного аналізу рухів із високою точністю реєстрації та швидкістю обробки даних.

## 2.2. Лабораторна робота № 1

### Порядок виконання роботи

1. За завданням викладача визначити об'єкт дослідження. Розробити сценарій відеозйомки.

2. Вибрати сцену зйомки, розрахувати можливі просторові переміщення спортсмена при виконанні ним фізичної вправи (на біговій доріжці, у секторах для стрибків чи метання, на ігровому майданчику і т.п.). Скласти схему розміщення відеоапаратури.

3. Згідно до інструкції підготувати до роботи відеокамеру. Підключити енергоживлення відеокамери від електричної мережі через адаптер змінного струму або від батареї (рис. 1.2). Вставити в касетний відсік відеокасету. Відеокамеру закріпити на штативі.

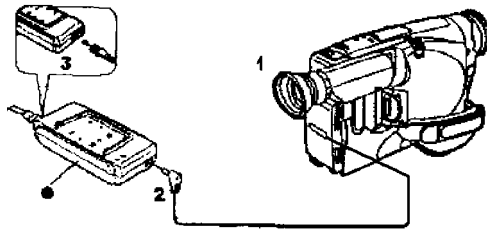


Рис. 1.2. Схема з'єднання відеокамери через адаптер змінного струму:

1 – з'єднання вхідного кабелю постійного струму з гніздом [DC IN] на відеокамері; 2 – з'єднання другого кінця кабелю з гніздом [DC OUT] на адаптері змінного струму; 3 – з'єднання шнура мережі з адаптером змінного струму і з розеткою мережі змінного струму.

4. Включити живлення відеокамери, перевести її у режим „Auto” для автоматичного вибору параметрів відеозапису (рис. 1.3).



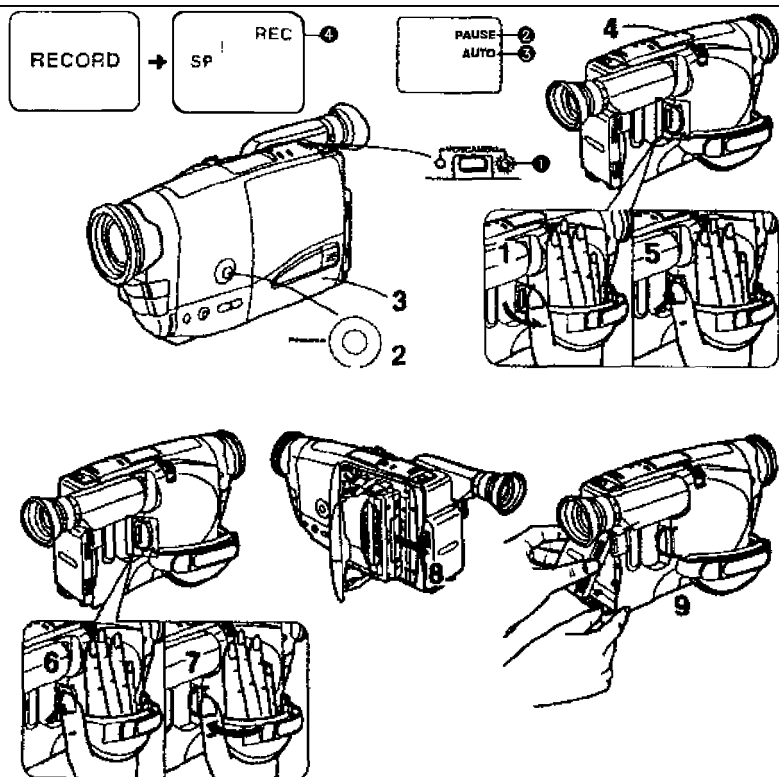


Рис. 1.3. Основні операції при відеозапису в автоматичному режимі:

1. Повернути від відеокамери перемикач [POWER] для її вмикання.

Висвічується лампа [CAMERA].

2. Подивитись у шукач і переконатись в тому, що висвічується індикація [AUTO].

Початковою установкою є індикація [AUTO].

Якщо в шукачі висвічується індикація [MNL] або інша, натискати повторно кнопку [PROGRAMME AE] до тих пір, поки не з'явиться індикація [AUTO].

3. Вставити касету з непошкодженим язичком охорони запису від стирання.

У шукачі з'явиться індикація [PAUSE].

## 2.2. Лабораторна робота № 1

4. Встановити бажану швидкість запису [SP] або [LP] для позиції[SPEED] у головному меню.

У шукачі з'явиться індикація обраної швидкості запису.

5. Натиснути кнопку Старт/Стоп для ініціювання запису.

Починається запис, в шукачі з'явиться індикація [»] і індикація[REC] ([REC] означає „запис”).

6. Для припинення запису натиснути кнопку Старт/Стоп.

Запис зупиняється, відеокамера переходить у режим паузи запису.

7. Повернути до відеокамери перемикач [POWER] для її вимикання.

8. Витягти касету.

9. Від'єднати адаптер перемінного струму або вилучити батарею.

5. Записати виконання спортсменом фізичної вправи.

6. Виконати перемотування відеоплівки на початок, переглянути якість запису.

### Контрольні питання

1. Дати характеристику кінометоду реєстрації фізичних вправ.

2. Що таке кінограма, як і з якою метою її виготовляють?

3. Дати характеристику методу відеореєстрації фізичних вправ.

4. Розкрити переваги й недоліки окремих методів реєстрації рухів.

### Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 141-151.

2. Годик М.А. Спортивная метрология: Учебник для институтов физической культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – 191 с.

3. Дал-Монте А., Фаина М. Специальные требования к оценке функциональных возможностей спортсменов // Наука в олимпийском спорте. – 1995. – № 1. – С. 30-38.
4. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 216-218.
5. Донской Д.Д., Филиппов В.К., Нижник А.П. Киноциклографический метод исследования техники физических упражнений // Теория и практика физической культуры. – 1975. – № 4. – С. 6-9.
6. Лапугин А.Н. Биомеханика физических упражнений. – К.: Вища шк., 1976. – С. 66-67.
7. Лапугин А.Н., Уткин В.Л. Технические средства обучения: Учеб. пособие для ин-тутов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1990. – С. 10-21.
8. Практикум по биомеханике: Пособие для ин-тутов физ. культ. / Под ред. И.М. Козлова. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – С. 23-29.
9. Panasonic. VHS-C Movie Camera. Operating Instructions.

### 2.3. Лабораторна робота № 2

#### ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК ТІЛА СПОРТСМЕНА ЗА КІНОГРАМОЮ ФІЗИЧНОЇ ВПРАВИ

Мета роботи: навчитись визначати положення точок тіла спортсмена.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеозапис досліджуваної фізичної вправи, вимірювальні лінійки, косинці, олівці, ЕОМ.

#### Теоретичні відомості

У залежності від поставленого завдання рухи людини вивчають, розглядаючи її тіло або як матеріальну точку, або як систему тіл. Тіло людини представляють як систему тіл тоді, коли важливо знати особливості руху окремих ланок тіла та їх роль у виконанні рухової дії. У цьому випадку на тілі спортсмена виділяють характерні розпізнавальні точки (рис. 2.1).



*Рис. 2.1. Розпізнавальні точки на тілі спортсмена та система прямокутних координат для визначення положення точок:*

*зображення пози спортсмена з першого кадру кінограми стрибка; система координат  $ХОУ$  прив'язана до тіла відліку – висоти стрибкової ями; висота стрибкової ями може бути використана при визначенні масштабу зображення.*

У біомеханіці прийнято позначати ці точки латинськими буквами:  $gc$  – центр маси голови,  $b$  – плечовий суглоб,  $a$  – ліктьовий суглоб,  $m$  – променево-зап'ястковий суглоб,  $f$  – кульшовий суглоб,  $s$  – колінний суглоб,  $p$  – гомілко-стопний суглоб,  $d$  – пальці стопи. Інколи, виходячи із завдання дослідження, виділяють точки  $gm$  – центр маси кисті та  $tc$  – бугор п'яткової кістки.

Рухи цих точок можна вивчати, порівнюючи їх положення відносно положення вибраного (як правило, нерухомого) тіла, яке називають *тілом відліку*. З тілом відліку пов'язують *систему відліку*, яка характеризується початком та напрямками виміру відстані, а також установленою одиницею відліку. При вивченні рухів, які виконуються в одній площині, досить часто користуються *прямокутною системою координат XOY*. Остання складається із двох взаємно перпендикулярних осей – вісі абсцис (вісь OX) та вісі ординат (вісь OY). Точка O на перетині цих осей є початком відліку (рис. 2.1).

Кожній досліджуваній точці на тілі людини у вибраній системі координат відповідають два числа – X та Y, які є її *координатами*. *Абсцисою* точки називається координата X, яка визначає її проекцію на вісь OX. *Ординатою* точки називається координата Y, знайдена через проекцію цієї точки на вісь OY.

При визначенні положення точок тіла спортсмена за кінограмою фізичної вправи на початку встановлюється *масштаб зображення* і вибирається система відліку, а потім знаходяться координати досліджуваних точок.

Визначення положення точок тіла спортсмена за відеограмою фізичної вправи здійснюють, як правило, засобами комп'ютерної обробки даних. При цьому за допомогою спеціальних карт відеозахвату зображення відцифровують, стискають і заносять до пам'яті комп'ютера. Координати досліджуваних точок зчитують програмі та для подальшого використання заносять їх до бази даних.

Порядок виконання роботи

1. Продивитись кінограму для вибору орієнтира (тіла відліку). У кожному кадрі кінограми провести взаємно перпендикулярні вісі системи координат, прив'язані до нерухомого орієнтира, зображення якого є на всіх кадрах.

2. Для встановлення справжніх лінійних розмірів тіл і предметів на кінограмі необхідно визначити масштаб зображення. Масштаб визначають за формулою:

$$M = \frac{l}{L},$$

де  $M$  – масштаб;  $l$  – розмір орієнтира на кінограмі;  $L$  – дійсний лінійний розмір орієнтира.

3. У кожному кадрі кінограми на зображенні фігури спортсмена нанести необхідні розпізнавальні точки і виміряти їх координати.

4. Підготувати таблицю координат за поданою нижче формою (табл. 2.1, на прикладі кінограми стрибка у висоту. Число горизонтальних рядків у таблиці повинно дорівнювати кількості поз на кінограмі, а число вертикальних колонок – подвоєному числу досліджуваних точок на тілі спортсмена (для значень абсцис і ординат).

5. Представити координати точок у натуральному масштабі (1:1), перемноживши результати вимірювань на величину масштабу.

6. Записати координати точок у звітну таблицю. При обробці відеограм до звітної таблиці занести дані комп'ютерного визначення положення розпізнавальних точок.

Контрольні питання

1. Що таке тіло відліку й система відліку?
2. Як визначити масштаб зображення?
3. Що таке координати точки, як їх визначають?
4. Які основні розпізнавальні точки на тілі спортсмена виділяють і якими латинськими літерами їх позначають?
5. Яка послідовність роботи при визначенні координат точок тіла за кінограмою (відеограмою) фізичної вправи?

Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 141-151.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 19-23, 54-64, 217-218.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 16-24.
4. Кашуба В.А. Видеокомп'ютерный анализ тела спортсмена // Наука в олимпийском спорте. – 2002. – № 3. – С. 68-71.
5. Кашуба В.А. Современные методы измерения осанки человека // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Збірник наукових праць / Під ред. С.С. Єрмакова. – Харків, ХДАДМ, 2002. – № 11. – С. 51-56.
6. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 398 с.

2.3. Лабораторна робота № 2

Таблиця 2.1

Звітна таблиця

К	Координати розпізнавальних точок на тілі випробуваного в натуральному масштабі, см															
	gс		b		a		m		f		s		p		d	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.	-117	156	-122,2	130	-123,5	114,4	-111,8	113,1	-126,1	74,1	-92,3	44,2	-118,3	7,8	-104	5,0
2.	-98,8	156	-104	135,2	-106,6	122,2	-98,8	127,4	-104	72,8	-78	39	-109	15,6	-104	5,0
3.	-75,4	158,6	-85,8	137,8	-93,6	127,4	-85,8	137,8	-83,2	78	-67,6	33,8	-108,2	18,2	-104	5,0
4.	-67,6	156	-70,2	135,2	-85,8	127,4	-70,2	135,2	-57,2	78	-52	33,8	-101	19	-104	5,0
5.	-54,6	161,2	-52	145,6	-59,8	137,8	-59,8	137,8	-31,2	85,8	-32	35	-78	31	-82,2	18
6.	-33,8	166	-31,2	150,8	-49,4	135,2	-36,4	135,2	-13	96,2	0	54,6	-43	38	-46	25
7.	-20,8	150,8	-23,4	130	-33,8	114,4	-13	104	0	83,2	31,2	46,8	-15,6	28,6	-15,6	15,6
8.	0	148,2	-7	130	-10,4	106,6	18,2	93,6	13	83,2	54,6	54,6	28,6	18,2	28	12
9.	13	149,5	6,5	130	13	105,3	41,6	94,9	20,8	84,5	62,4	70,2	80	20,1	93,6	23
10.	23,4	153,4	18,2	135,2	36,4	117	57,2	111,8	36,4	93,6	75,4	72,8	119,6	57,2	127,4	67,6
11.	31,2	158,6	33,8	145,6	59,8	135,2	62,4	143	46,8	96,2	91	96,2	132,6	85,8	137,8	96,2
12.	44,2	171,6	41,6	156	75,4	156	65	169	49,4	98,8	101,4	119,6	143	111,8	145,6	124,8



Таблиця 2.2

Звітна таблиця

К	Координати розпізнавальних точок на тілі випробуваного в натуральному масштабі, см															
	gc		b		a		m		f		s		p		d	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.																
2.																
3.																
4.																
5.																
6.																
7.																
8.																
9.																
10.																
11.																
12.																

## 2.4. Лабораторна робота № 3

### ПОБУДОВА БІОКІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ФІЗИЧНОЇ ВПРАВИ

Мета роботи: навчитись за координатами знаходити положення точок тіла спортсмена та будувати біокінематичні схеми фізичних вправ.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеозапис досліджуваної фізичної вправи, таблиця координат, міліметровий папір, вимірвальні лінійки, косинці, олівці.

#### Теоретичні відомості

При біомеханічному дослідженні рухів людини необхідно перш за все вибрати систему відліку та побудувати характерну розрахункову схему її опорно-рухової системи, яка була б визначальною для того чи іншого конкретного руху. На *біокінематичній схемі* відображаються тільки ті особливості рухового апарату, які необхідні для визначення шляху, а також швидкості й прискорення руху його складових частин. Тому локомоторний апарат представляється як схема у вигляді системи біоланок та біокінематичних пар.

Біокінематична схема, як і *промір* (зображення рухомого спортсмена розпізнавальними точками на його тілі, яке служить підставою для вивчення біокінематичних характеристик), може виготовлятися безпосередньо з кіноплівки, яку переглядають через фотозбільшувач, або за координатами розпізнавальних точок у вибраному масштабі. Зручніше всього будувати біокінематичну схему на *міліметровому папері*. На біокінематичній схемі зображується вибрана система координат і необхідні біоланки й ланцюги тіла спортсмена.

#### Порядок виконання роботи

1. Розглянути представлену для прикладу на рис. 3.1 біокінематичну схему стрибка у висоту, побудовану за координатами точок із табл. 2.1.

2. Для оцінки розмірів координатних осей та вибору масштабу зображення визначити у таблиці координат (звітна таблиця з лабораторної роботи № 2) найбільші й найменші значення  $X$  та  $Y$ . Як правило, масштаб зображення беруть рівним 1:10 або 1:20. Вибрати відповідний аркуш міліметрового паперу.

3. На аркуші міліметрового паперу у вибраному масштабі накреслити систему прямокутних координат, при цьому врахувати наявність або відсутність у таблиці координат від'ємних значень. Розмітити осі координат через кожні 20 мм та надписати числові значення.

4. На систему координат нанести всі відмічені на відеограмі чи кінограмі точки тіла спортсмена. На початку нанести всі точки першої пози. Після цього послідовно з'єднати точки  $b - a - m$ , а потім точки  $f - s - p - d$ . Навколо точки  $g$  провести коло радіусом 5 мм.

5. Нанісши точки решти поз та провівши всі лінії, перевірити правильність зображення поз. Переконайтесь, що пози на біокінематичній схемі схожі з дійсними позами спортсмена на відеограмі (кінограмі). Уважно продивитись чи немає стрибків точок на уявній траєкторії їх руху. Крім того, візуально перевірити чи значно не змінюється при послідовному переході від пози до пози довжина окремих ланок тіла.

6. Над точками  $g$  проставити нумерацію поз.

### Контрольні питання

#### 2.4. Лабораторна робота № 3

---

1. Що таке біокінематична схема?
2. З якою метою будують біокінематичні схеми фізичних вправ?
3. Які основні принципи методики побудови біокінематичних схем?
4. Як визначити масштаб зображення?
5. Якими є зміст та послідовність роботи при складанні біокінематичних схем за кіноплівкою, за кінограмою, за відеограмою?

#### Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапутіна, – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 151-156.
2. Донской Д.Д. Биомеханнка. – М: Просвещение, 1975. – С. 216-218.
3. Козлов И.М., Иванова Г.П. Практикум по биомеханике: Учебное пособие для ИФК. – Л.: Физкультура и спорт, 1980. – 120 с.
4. Лапутин А.Н. Биомеханнка физических упражнений. – К.: Вища шк., 1976. – С. 66-67.
5. Лапутин А.Н., Хапковой В.Е. Биомеханика физических упражнений. – К.: Радянська школа, 1986. – 135 с.
6. Уткин В.Л. Измерения в спорте (Введение в спортивную метрологию). – М.: ГЦОЛИФК, 1978. – 199 с.

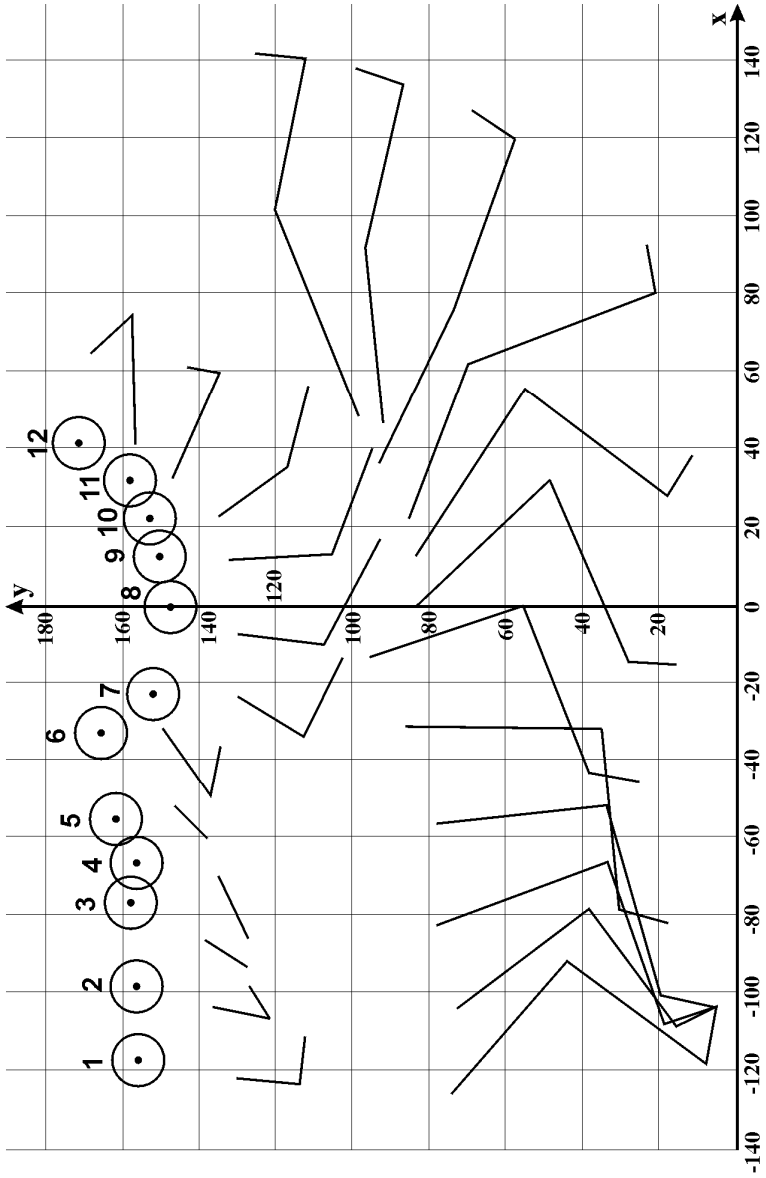


Рис. 3.1. Біокінематична схема стрибка у висоту.

## Лабораторна робота № 4

### ГЕОМЕТРІЯ МАС ТІЛА ЛЮДИНИ

Мета роботи: навчитись розраховувати масу та положення центрів мас окремих ланок і сегментів тіла людини.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеозапис досліджуваної фізичної вправи, біокінематична схема; вимірні лінійки, олівці, ЕОМ.

#### Теоретичні відомості

Під *геометрією мас* у біомеханіці прийнято розуміти сукупність показників, що характеризують розподіл маси в тілі людини. Це – маса й моменти інерції окремих сегментів тіла та всього тіла загалом, координати центрів маси, радіуси інерції окремих сегментів і т.п.

*Маса* ( $m$ ) – це кількість речовини (у кілограмах), що міститься в тілі або окремій ланці. Разом із тим маса – це кількісна *міра інертності* тіла по відношенню до діючої на нього сили. Чим більша маса, тим більш інертне тіло і тим важче вивести його зі стану спокою або змінити його рух.

Масою визначаються також гравітаційні властивості тіла. Так, вага тіла (у Ньютонах) залежить від його маси:

$$g = mg,$$

де  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння тіла.

Маса характеризує інертність тіла при поступальному русі. При обертанні інертність залежить не тільки від маси тіла, але і від того, як вона розподілена відносно осі обертання. Чим більша відстань від ланки до осі обертання, тим більший внесок цієї ланки в інертність тіла. Кількісною мірою інертності тіла відносно осі обертання служить *момент інерції*:

$$J = mR^2,$$

де  $R$  – радіус інерції – середня відстань від осі обертання (наприклад, від осі суглоба) до матеріальних точок тіла.

*Центром маси (ЦМ)* називається точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, що приводять тіло до поступального руху і не спричиняють обертання тіла. У полі гравітації (коли діє сила тяжіння) центр маси співпадає з центром тяжіння. Положення загального центра маси (ЗЦМ) тіла визначається тим, де знаходяться центри маси окремих ланок. А це залежить від пози, тобто від того, як частини тіла розташовані один відносно одного в просторі.

Відстань від ЦМ до осі проксимального суглоба біоланки називають *радіусом центра маси* ( $R_{ЦМ}$ ).

На геометрію маси впливають індивідуальні особливості людини, насамперед, маса й довжина тіла. Маса та положення ЦМ окремих ланок і сегментів тіла людини, які отримані шляхом усереднення результатів дослідження багатьох людей, показані на рис. 4.1 і подані у табл. 4.1.

Якщо прийняти масу тіла за 100 %, то масу кожної ланки або сегмента можна виразити у відносних одиницях. При виконанні розрахунків використовують представлення маси як в абсолютних (кг), так і у відносних (%) одиницях.

*Масу окремих ланок тіла людини можна визначити точніше, якщо використати рівняння лінійної регресії В.М. Селуянова:*

$$m_x = B_0 + B_1m + B_2H,$$

де  $m_x$  – маса сегмента тіла (кг);  $m$  – маса всього тіла (кг);  $H$  – довжина тіла (см);  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  – коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4.2 і 4.3).

### Порядок виконання роботи

1. Користуючись даними табл. 4.1, визначити положення ЦМ плеча, передпліччя, стегна, гомілки і стопи у першій позі спортсмена на біокінематичній схемі рухової дії. Для цього необхідно виміряти довжину ланки, помножити її на відповідне значення радіуса ЦМ і відкласти отриманий відрізок від антропометричної точки відліку

## 2.5. Лабораторна робота № 4

вздовж ланки. Визначити координати ЦМ ланок для всіх послідовуючих поз.

Перевірити отримані результати розрахунками координат ЦМ за формулами:

$$X_{\text{ЦМ}} = (X_{\text{дист}} - X_{\text{прокс}}) \cdot R_{\text{ЦМ}} + X_{\text{прокс}},$$

$$Y_{\text{ЦМ}} = (Y_{\text{дист}} - Y_{\text{прокс}}) \cdot R_{\text{ЦМ}} + Y_{\text{прокс}},$$

де,  $X_{\text{ЦМ}}$ ,  $Y_{\text{ЦМ}}$  – координати ЦМ ланки;  $X_{\text{дист}}$ ,  $Y_{\text{дист}}$  – координати дистального кінця ланки;  $X_{\text{прокс}}$ ,  $Y_{\text{прокс}}$  – координати проксимального кінця ланки;  $R_{\text{ЦМ}}$  – радіус ЦМ.

2. Значення координат  $X_{\text{ЦМ}}$ ,  $Y_{\text{ЦМ}}$  занести до звітної таблиці 1.

3. Розрахувати масу ланок і сегментів, які представлені на біокінематичній схемі бігу, за даними для „середньої людини” (табл. 4.1). Масу ( $m$ ) прийняти рівною масі тіла випробовуваного в кг.

4. Визначити абсолютну ( $y$  кг) масу цих ланок і сегментів за рівнянням регресії. При розрахунках довжину ( $H$ ) тіла прийняти рівною значенню зросту випробовуваного в см. Значення коефіцієнтів рівняння регресії  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  взяти з табл. 4.2 (чоловіки) або 4.3 (жінки).

5. Розрахувати відносну ( $y$  %) масу кожної ланки чи сегмента через їх абсолютну масу.

6. Результати обчислень занести до звітної таблиці 2.

7. Порівняти отримані дані з даними геометрії мас спортсмена ( $m = 80$  кг;  $H = 185$  см ), приведених у таблицях 4.4 та 4.5.

8. Проаналізувати проведені розрахунки та зробити висновки.

### Контрольні питання

1. Що означає геометрія мас тіла людини?
2. Якими показниками характеризують геометрію мас тіла людини?
3. Що служить мірою інертності тіла при поступальному русі?

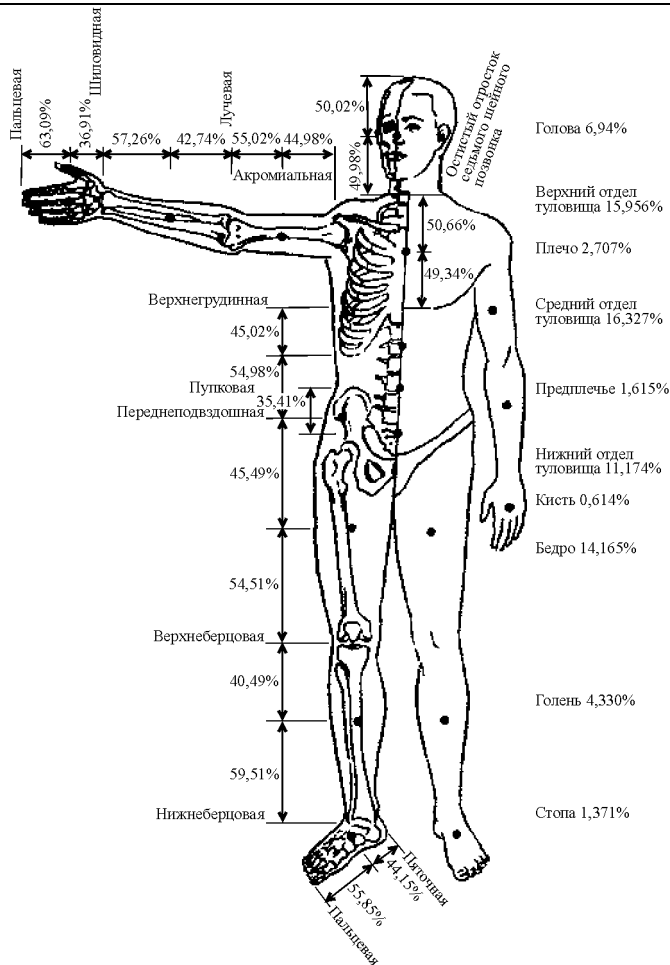


4. Що служить мірою інертності тіла при обертальному русі?
5. Розкрити зміст поняття центр маси тіла.
6. Як визначається положення ЦМ?
7. Якими підходами користуються при оцінці маси окремих ланок та сегментів тіла людини?

#### Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапутіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 122-140.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 93-96.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 61-64.
4. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
5. Кашуба В.А. Современные методы измерения осанки человека // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Збірник наукових праць / Під ред. С.С. Єрмакова. – Харків, ХДАДМ, 2002. – № 11. – С. 51-56.
6. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399с.

## 2.5. Лабораторна робота № 4



Мал. 4.1. Відносна маса й положення ЦМ сегментів тіла людини (В.М. Заціорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов, 1981).

На малюнку приведені координати положень центрів мас сегментів на їх подовжніх осях (у % до довжини сегментів, зліва) і відносні маси сегментів (праворуч).

Таблиця 4.1

*Відносна маса й положення ЦМ ланок і сегментів тіла людини*

Сегменти	Маса, %	Положення ЦМ (радіус ЦМ)	Антропометричні точки, від яких визначається положення ЦМ сегментів тіла людини
Стопа	1,371	0,5585	Передня частина стопи (пальці)
Гомілка	4,330	0,4049	Верхньогомілкова
Стегно	14,16 5	0,4549	Великий вертлюг кульшового суглоба
Кисть	0,614	0,3691	Променево- зап'ястковий суглоб
Передпліччя	1,615	0,4274	Зовнішній надвиросток плечової кістки
Плече	2,707	0,4498	Акроміальний виросток
Голова	6,940	0,5002	Верхня точка голови
Верхня частина тулуба	15,95 6	0,5066	Остистий відросток сьомого шийного хребця
Середня частина тулуба	16,32 8	0,4502	Нижньогрудинна
Нижня частина тулуба	11,74 0	0,3541	Пупкова

Примітка: при визначенні положення ЦМ ланок і сегментів їх довжину прийнято за одиницю.

Таблиця 4.2

*Коефіцієнти рівняння регресії для обчислення маси сегментів тіла чоловіків за масою ( $m$ ) і довжиною ( $H$ ) тіла*

Сегменти	Коефіцієнти рівняння регресії		
	$B_0$	$B_1$	$B_2$
Стопа	-0,829	0,0077	0,0073
Гомілка	-1,592	0,0362	0,0121
Стегно	-2,649	0,1463	0,0137
Кисть	-0,1165	0,0036	0,00175
Передпліччя	0,3185	0,01445	-0,00114
Плече	0,250	0,03012	-0,0027
Голова	1,296	0,0171	0,0143
Верхня частина тулуба	8,2144	0,1862	-0,0584
Середня частина тулуба	7,181	0,2234	-0,0663
Нижня частина тулуба	-7,498	0,0976	0,04896

Таблиця 4.3

*Коефіцієнти рівняння регресії для обчислення маси сегментів тіла жінок за масою ( $m$ ) і довжиною ( $H$ ) тіла*

Сегменти	Коефіцієнти рівняння регресії		
	$B_0$	$B_1$	$B_2$
Стопа	-1,207	-0,0175	0,0057
Гомілка	-0,436	-0,011	0,0238
Стегно	5,185	0,183	-0,042
Кисть	-0,116	0,0017	0,0020
Передпліччя	0,295	0,009	0,0003
Плече	0,206	0,0053	0,0066
Голова	2,388	-0,001	0,015
Верхня частина тулуба	-16,593	0,140	0,0995
Середня частина тулуба	-2,741	0,031	0,056
Нижня частина тулуба	-4,908	0,124	0,0272

Таблиця 4.4

П о з а	Координати ЦМ біолонок тіла випробуваного											
	Плече		Передпліччя		Стегно		Гомілка		Стопа			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
1.	-122	123	-118	114	-111	60	-102	29	-110	7		
2.	-105	130	-103	124	-93	58	-90	30	-101	11		
3.	-90	134	-90	134	-76	59	-83	28	-106	13		
4.	-78	131	-78	131	-55	59	-69	29	-98	15		
5.	-55	143	-55	143	-35	68	-52	41	-80	30		
6.	-43	146	-46	136	-8	77	-19	51	-49	39		
7.	-28	123	-27	109	14	67	13	40	-15	21		
8.	-8	120	2	100	32	71	45	41	32	13		
9.	9	120	24	101	40	78	69	48	87	18		
10.	26	127	44	115	40	78	93	67	123	63		
11.	45	141	61	138	66	94	109	92	136	93		
12.	57	157	71	162	74	108	118	116	145	118		

Таблиця 4.5

Сегменти	Маса ланок і сегментів тіла випробуваного (m = 80 кг; H = 185 см)					
	За середніми даними			За рівняннями регресії		
	%	кг	кг	%	кг	кг
Стопа	1,371	1,09	1,09	1,41	1,13	1,13
Гомілка	4,330	3,46	3,46	4,42	3,54	3,54
Стегно	14,165	11,30	11,30	14,47	11,58	11,58
Кисть	0,614	0,49	0,49	0,61	0,49	0,49
Передпліччя	1,615	1,30	1,30	1,58	1,27	1,27
Плече	2,707	2,16	2,16	2,70	2,16	2,16
Голова	6,940	5,50	5,50	6,64	5,31	5,31
Верхня частина тулуба	15,956	12,80	12,80	15,38	12,3	12,3
Середня частина тулуба	16,328	13,10	13,10	16,02	12,82	12,82
Нижня частина тулуба	11,740	9,40	9,40	11,70	9,36	9,36

Звітна таблиця 1

П о з а	Координати ЦМ біолонок тіла випробуваного												
	Плече		Передпліччя		Стегно		Гомілка		Стопа				
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1.													
2.													
3.													
4.													
5.													
6.													
7.													
8.													
9.													
10.													
11.													
12.													

2.5. Лабораторна робота № 4

Звітна таблиця 2

Сегменти	Маса ланок і сегментів тіла випробуваного (m = 80 кг; H = 185 см)					
	За середніми даними			За рівняннями регресії		
	%	кг		%	кг	
Стопа						
Гомілка						
Стегно						
Кисть						
Передпліччя						
Плече						
Голова						
Верхня частина тулуба						
Середня частина тулуба						
Нижня частина тулуба						



## 2.6. Лабораторна робота № 5

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРУ МАСИ ТІЛА ЛЮДИНИ ГРАФІЧНИМ СПОСОБОМ

Мета роботи: навчитись графічно визначити положення загального центру маси тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеозапис, біокінематична схема досліджуваної фізичної вправи; таблиця координат ЦМ ланок і сегментів; вимірвальні лінійки, олівці.

#### Теоретичні відомості

*Загальний центр маси* (ЗЦМ) тіла характеризує просторове розміщення мас окремих сегментів та біоланок. Визначення положення ЗЦМ являє собою важливе завдання для біокінематики та біодинаміки. Опис траєкторії ЗЦМ при виконанні фізичних вправ дозволяє отримувати дані про переміщення тіла спортсмена у просторі. Зокрема, зміни траєкторії руху ЗЦМ відображають дію на тіло зовнішніх сил, а це відкриває можливості для визначення багатьох динамічних характеристик біосистеми (механічної роботи, потужності та ін.).

За умови, коли досліджуване тіло є абсолютно твердим та перебуває в однорідному силовому полі, положення ЗЦМ співпадає з положенням загального центру тяжіння (ЗЦТ). Тіло спортсмена не являється абсолютно твердим, бо під впливом прикладених сил воно деформується. Ці деформації можуть бути настільки значними, що їх легко виявити (видовження розтягнутого м'яза, яке викликає видимі зміни об'єму біоланки і т.д.). Проте у більшості випадків такі деформації малопомітні у порівнянні зі змінами конфігурації тіла спортсмена через переміщення окремих його біоланок. Тому для зручності досліджень тіло людини умовно розглядають як абсолютно тверде, тобто таке, в якому дія сил не викликає ніяких деформацій.

## 2.6. Лабораторна робота № 5

Загальний центр тяжіння (ЗЦТ) тіла людини визначають як точку прикладання рівнодійних сил тяжіння, які діють на нього. Положення ЗЦТ обумовлюється анатомо-фізіологічними особливостями тіла людини, позою, функціонуванням дихальної, травної та інших систем, які забезпечують переміщення значної маси речовини в організмі. Координати ЗЦТ можна розглядати як функцію від положення центрів тяжіння (ЦТ) усіх біоланок. Біоланки тіла людини, як правило, мають складну геометричну форму; крім того, їхні маси розподіляються не симетрично по відношенню до ЦТ. Положення ЦТ окремих біоланок визначається через положення ЦМ.

В учбових розрахунках можна використати середні значення ваги й положення ЦТ окремих біоланок тіла людини, які приведені у табл. 5.1.

Оскільки ЗЦТ тіла людини розглядається як точка прикладання рівнодійної сил тяжіння біоланок, які направлені вертикально донизу і між собою паралельні, то завдання визначення положення ЗЦТ зводиться до знаходження рівнодійної паралельних сил.

З теоретичної механіки відомо, що кожні дві паралельні сили, що спрямовані в один бік, мають рівнодійну до них паралельну й направлену у той же бік. Модуль цієї рівнодійної дорівнює сумі модулів складових сил, а точка прикладання рівнодійної ділить відрізок між точками прикладання сил на частини обернено пропорційні величинам цих сил.

Отже, сили тяжіння будь-яких сусідніх біоланок (наприклад, плеча й передпліччя) можуть бути розглянуті як система двох паралельних сил (рис. 5.1). Тоді ЗЦТ плеча й передпліччя буде знаходитись на лінії, яка з'єднує їх ЦТ. Початок вектора рівнодійної буде в точці, що поділяє цю лінію у відношенні обернено пропорційному величинам сил тяжіння плеча й передпліччя.

Таблиця 5.1

*Відносна вага та розміщення ЦТ ланок тіла людини*

Назва ланки	Відносна вага, %	Розміщення ЦТ ланки
Голова	7	Верхній край зовнішнього слухового отвору
Тулуб	43	На лінії між осями плечових та кульшових суглобів на відстані 0,44 від плечової осі
Плече	3	0,47 від проксимального кінця
Передпліччя	2	0,42 від проксимального кінця
Кисть	1	П'ястково-фаланговий суглоб третього пальця
Стегно	12	0,44 від проксимального кінця
Гомілка	5	0,42 від проксимального кінця
Стопа	2	На лінії між п'ятковим бугром і другим пальцем на відстані 0,44 від п'ятки

Якщо таким способом можна графічно визначити ЗЦТ двох сусідніх біоланок, то, очевидно, не складатиме труднощів знаходження ЗЦТ усіх біоланок тіла.

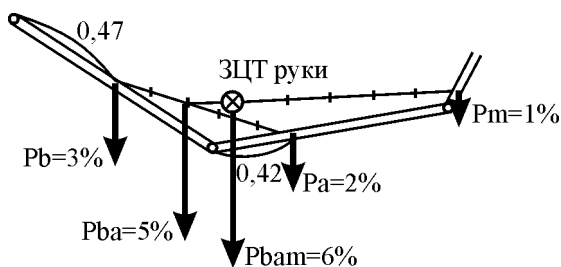


Рис. 5.1. Схема визначення положення ЗЦТ ланок руки графічним способом.

### Порядок виконання роботи

1. Користуючись даними звітної таблиці лабораторної роботи №4, перевірити положення ЦТ плеча, передпліччя,

## 2.6. Лабораторна робота № 5

стегна, гомілки і стопи для кожної пози спортсмена на біокінематичній схемі рухової дії.

2. Знайти положення ЗЦТ двох сусідніх ланок (наприклад, плеча й передпліччя, або стегна й гомілки). Для цього відрізком з'єднати їх ЦТ, виміряти довжину і поділити його на частини обернено пропорційні величинам сил тяжіння біоланок. Положення ЗЦТ кожної пари біоланок визначити за формулою:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{l-x}{x};$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – вага (маса) досліджуваних ланок;  $l$  – відстань між ЦТ ланок;  $x$  – відстань від ЦТ однієї з ланок до їх загального центру тяжіння.

3. При знаходженні положення ЗЦТ ноги отримані координати ЗЦТ стегна й гомілки таким же чином просувати з координатами ЦТ стопи.

4. Визначити координати ЗЦТ руки та ноги для поз 7- 9 на біокінематичній схемі. Значення координат ЗЦТ занести до звітної таблиці. Розрахункові дані контрольного прикладу представлені на рис. 5.2 й у табл. 5.2.

5. Розкрити переваги та недоліки цього методу дослідження.

### Контрольні питання

1. Дати визначення поняттям ЗЦМ і ЗЦТ.
2. Розкрити сутність теореми про рівнодійну двох паралельних сил, спрямованих в один бік.
3. Які відсоткові співвідношення мають вагові показники ланок і сегментів тіла людини?
4. Яка відносна відстань ЦТ кожної з ланок до її проксимального кінця?
5. Яка послідовність виконання робіт по визначенню положення ЗЦТ тіла людини графічним способом?

### Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 186-188.

2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М: Просвещение, 1975. – С. 93-96, 227-229.
3. Донской Д.Д., Заиорский В.М. Биомеханика. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 58-66.
4. Козлов И.М., Иванова Г.П. Практикум по биомеханике: Учебное пособие для ИФК. – Л.: Физкультура и спорт, 1980. – 120 с.
5. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – С. 87-94.
6. Уткин В.Л. Измерения в спорте (Введение в спортивную метрологию). – М.: ГЦОЛИФК, 1978. – 199 с.

Таблица 5.2

П о з а	Координати ЗЦТ біолонок тіла спортсмена			
	Плече–передпліччя (рука)		Стегно–гомілка–стопа (нога)	
	X	Y	X	Y
7	-27	117	11	57
8	-5	113	33	61
9	14	113	50	66

Таблица 5.2

Звітна таблиця

П о з а	Координати ЗЦТ біолонок тіла спортсмена			
	Плече–передпліччя (рука)		Стегно–гомілка–стопа (нога)	
	X	Y	X	Y
7				
8				
9				

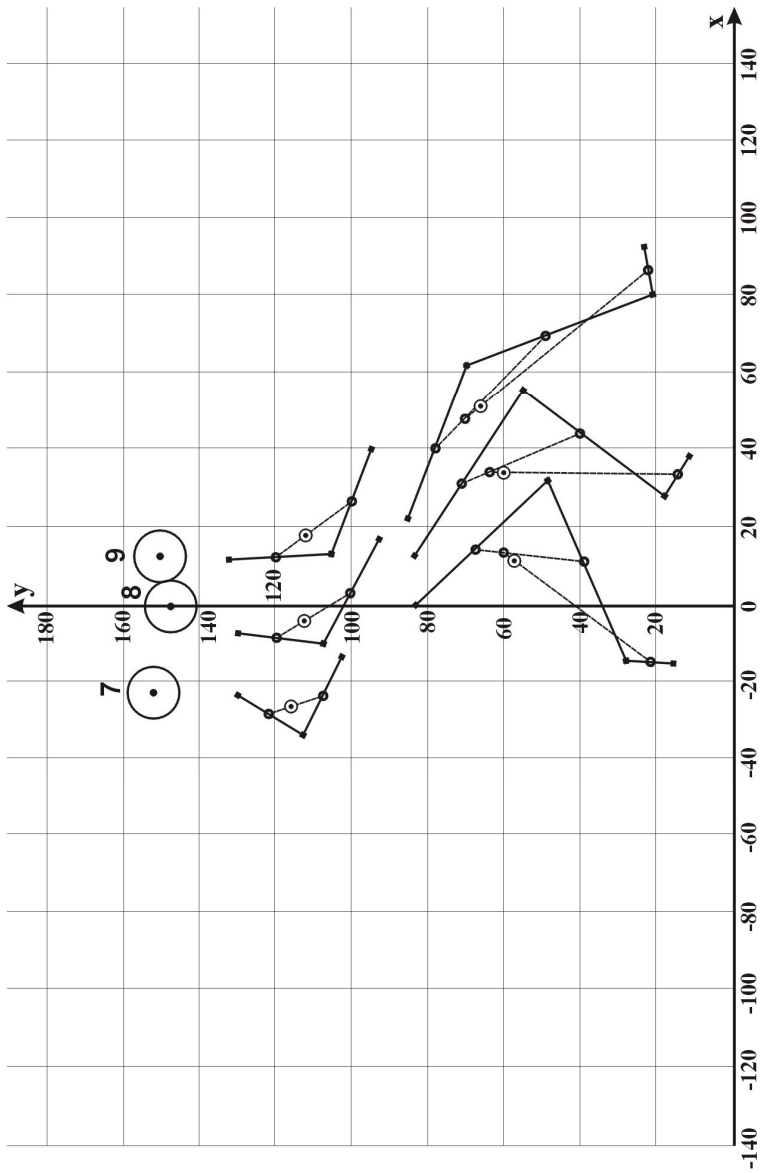


Рис. 5.2. Графічний спосіб визначення положення ЦТ руки й ноги на біокінематичній схемі стрибка у висоту.  
Примітка: ⊙ – ЦТ руки та ноги.

## 2.7. Лабораторна робота № 6

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРУ МАСИ ТІЛА ЛЮДИНИ АНАЛІТИЧНИМ СПОСОБОМ

Мета роботи: навчитись аналітично визначати положення загального центру маси тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеограма досліджуваної фізичної вправи, біокінематична схема, таблиця координат ЦМ ланок і сегментів, вимірювальні лінійки, олівці.

#### Теоретичні відомості

Як і в попередній лабораторній роботі допускаємо, що положення ЗЦМ і ЗЦТ збігаються. Якщо при знаходженні ЗЦТ графічним способом використовують правило складання паралельних сил, то визначення ЗЦТ тіла аналітичним способом засноване на складанні моментів сил тяжіння за *теоремою Варіньона: Момент рівнодіючої сили відносно певної осі рівний алгебраїчній сумі моментів складових сил відносно тієї ж осі.*

Для визначення координат ЗЦТ у декартовій системі відліку ХОУ використовують формули:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{P}; \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{P},$$

де X, Y – відповідні координати ЗЦТ у вибраній системі відліку ХОУ,

X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub> – відповідні координати центрів тяжіння (ЦТ) окремих ланок тіла людини в тій же системі відліку,

P – вага всього тіла людини,

P<sub>i</sub> – вага окремих ланок тіла людини,

n – загальне число ланок тіла людини, прийнятих при розрахунках ЗЦТ.

## 2.7. Лабораторна робота № 6

Розглянемо для прикладу складання моментів сил тяжіння для трьох ланок ноги (рис. 6.1). Визначимо довільно центр, відносно якого будемо розраховувати моменти сил тяжіння (точка  $O$ ), проведемо з нього дві взаємно перпендикулярні вісі  $OX$  і  $OY$ , виберемо певний масштаб. Позначимо сили тяжіння ланок як  $P_f$ ,  $P_s$ ,  $P_p$ , а координати ЦТ ланок –  $X_f$ ,  $Y_f$ ,  $X_s$ ,  $Y_s$  і  $X_p$ ,  $Y_p$ . Рівнодійну цих сил тяжіння позначимо як  $P_{fsp}$ , а шукану координату точки прикладання рівнодійної (ЗЦТ) –  $X_{fsp}$ . Тоді момент сили тяжіння стегна відносно вибраної точки  $O$  по осі  $X$  дорівнює добутку  $P_f \cdot X_f$ , момент сили тяжіння гомілки –  $P_s \cdot X_s$ , момент сили тяжіння стопи –  $P_p \cdot X_p$ , а момент їх рівнодійної –  $P_{fsp} \cdot X_{fsp}$ . Згідно теореми Вариньона матимемо:

$$P_f \cdot X_f + P_s \cdot X_s + P_p \cdot X_p = P_{fsp} \cdot X_{fsp}.$$

З цієї рівності визначимо координату  $X_{fsp}$  загального центру тяжіння:

$$X_{fsp} = \frac{P_f \cdot X_f + P_s \cdot X_s + P_p \cdot X_p}{P_{fsp}}.$$

Підставляючи у рівняння замість координат  $X$  ЦТ ланок їх координати  $Y$ , знаходимо координату  $Y$  ЗЦТ ноги:

$$Y_{fsp} = \frac{P_f \cdot Y_f + P_s \cdot Y_s + P_p \cdot Y_p}{P_{fsp}}.$$

### Порядок виконання роботи

1. Вибрати початок координат на біокінематичній схемі рухової дії за центр моменту сил тяжіння (точка  $O$ ).

2. За формулами додавання моментів сил визначити координати ЗЦТ руки та ноги для 7-9 поз на біокінематичній схемі. При розрахунках значення ваги (маси) та координат ЦТ ланок спортсмена взяти зі звітних таблиць до лабораторної роботи №4.

3. Занести до звітних таблиць 1 і 2 результати проміжних обчислень моментів сил тяжіння ланок та значення координат ЗЦТ.

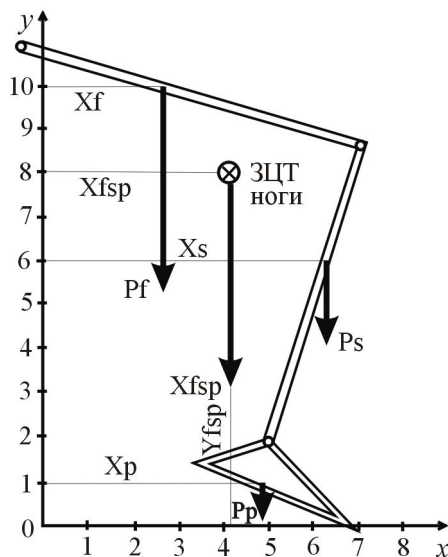
4. Порівняти значення координат ЗЦТ, отримані аналі-



тичним і графічним способами. Розкрити переваги й недоліки кожного з цих способів дослідження.

Контрольні питання

1. Що таке плече сили, що таке момент сили?
2. Розкрити сутність аналітичного способу визначення положення ЗЦТ.
3. Який зміст теореми Варіньона?
4. Яка послідовність виконання робіт при визначенні положення ЗЦТ тіла людини аналітичним способом?



Мал. 6.1. Схема визначення положення ЗЦТ ланок ноги аналітичним способом.

2.7. Лабораторна робота № 6

*Розрахунок положення ЗЦТ руки*

П о з а	Моменти сил тяжіння				Вага, %	Координати ЗЦТ	
	Pb·Xb	Pa·Xa	Pb·Yb	Pa·Ya		Pba	Xba
7	2,16·(-28)	1,3·(-25)	2,16·123	2,16·109	4,3	-27	118
8	2,16·(-8)	1,3·2	2,16·120	2,16·100	4,3	-4,9	112,4
9	2,16·9	1,3·24	2,16·120	2,16·101	4,3	14,6	112,8

Таблиця 6.2

*Розрахунок положення ЗЦТ ноги*

П о з а	Моменти сил тяжіння						Вага, %	Координати ЗЦТ	
	Pf·Xf	Ps·Xs	Pp·Xp	Pf·Yf	Ps·Ys	Pp·Yp		Pfsp	Xfsp
7	11,3·14	3,46·12	1,1·(-15)	11,3·67	3,46·39	1,1·22	20,4	11,5	57,8
8	11,3·31	3,46·44	1,1·(-15)	11,3·67	3,46·40	1,1·22	20,4	30,6	58,9
9	11,3·40	3,46·70	1,1·88	11,3·78	3,46·49	1,1·18	20,4	50	67,5

Звітна таблиця 1

*Розрахунок положення ЗЦТ руки*

П о з а	Моменти сил тяжіння						Вага, %	Координати ЗЦТ	
	Pb·Xb	Pa·Xa	Pm·Xm	Pb·Yb	Pa·Ya	Pm·Ym		Pbam	Xbam
7									
8									
9									

Звітна таблиця 2

*Розрахунок положення ЗЦТ ноги*

П о з а	Моменти сил тяжіння						Вага, %	Координати ЗЦТ	
	Pf·Xf	Ps·Xs	Pp·Xp	Pf·Yf	Ps·Ys	Pp·Yp		Pfsp	Xfsp
7									
8									
9									

Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапутіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 122-140.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 74-80, 229-230.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика: Учебник для ин-тутов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 61-68.
4. Кашуба В.А. Современные методы измерения осанки человека // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Збірник наукових праць / Під ред. С.С. Єрмакова. – Харків, ХДАДМ, 2002. – № 11. – С. 51-56.
5. Лапутин А.Н. Биомеханика физических упражнений. – К.: Вища школа, 1976. – С. 39-44.
6. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – С. 61-64.
7. Практикум по биомеханике: Пособие для ин-тутов физ. культ. / Под общ. ред. И.М. Козлова. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – С. 17-20, 39-40.
8. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399 с.

## 2.8. Лабораторна робота № 7

## РОЗРАХУНОК ЗА КООРДИНАТАМИ ЛІНІЙНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТА ПРИСКОРЕНЬ

Мета роботи: навчитись за координатами розраховувати швидкості та прискорення точок тіла спортсмена.

Матеріали та обладнання: кінограма або відеограма досліджуваної фізичної вправи, біокінематична схема, таблиця координат ЗЦТ руки і ЗЦТ ноги спортсмена, ЕОМ.

Теоретичні відомості

*Швидкість – це міра зміни положення точки тіла в просторі з плином часу. Вона вимірюється відношенням пройденого шляху  $\Delta S$  до затраченого часу  $\Delta t$ :*

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

Швидкість зручно визначати через її проєкції на осі ОХ і ОУ:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2},$$

де  $V$  – швидкість точки,  $V_x$  – горизонтальна складова швидкості,  $V_y$  – вертикальна складова швидкості:

$$V_x = \frac{\Delta X}{\Delta t}, \quad V_y = \frac{\Delta Y}{\Delta t}.$$

У біомеханіці при розрахунку швидкостей використовується спосіб різниць. *Сутність способу різниць полягає в тому, що швидкість точки характеризують її переміщенням за час, рівний міжкадровому інтервалу.* Наприклад, середня швидкість (горизонтальна складова) на ділянці шляху між 1-ю і 2-ю позами дорівнює

$$V_{x_{1-2}} = \frac{\Delta'X_{1-2}}{\Delta t_{1-2}} \approx \Delta'X_{1-2},$$

де  $\Delta t = 1/N$ ;  $N$  – частота зйомки (кадри в секунду).

Будемо вважати її миттєвою горизонтальною швидкістю в момент часу між 1-ю і 2-ю позами. Отже,

$$\Delta X_{1-2} = X_2 - X_1,$$

де переміщення або величина чисельника у формулі швидкості, або, як її називають, „перша різниця” –  $\Delta X$ . Таким само способом розраховують миттєву швидкість по горизонталі й вертикалі всіх досліджуваних точок кінограми.

*Прискорення* – це міра зміни швидкості з плином часу. Прискорення вимірюється відношенням приросту швидкості  $\Delta V$  до часу  $\Delta t$ , витраченому на цей приріст. Прискорення, як і швидкість, зручно розраховувати за двома складовими – горизонтальною і вертикальною.

У біомеханіці прискорення точки характеризують зміною її швидкості за час, рівний міжкадровому інтервалу, тобто також використовують спосіб різниць. Наприклад,

$$a_{x_{1-3}} = \frac{V_{x_{2-3}} - V_{x_{1-2}}}{\Delta t} \approx \Delta'' x_{1-3},$$

де  $a_{x_{1-3}}$  – прискорення точки в 2-й позі;

$V_{x_{2-3}}$  і  $V_{x_{1-2}}$  – швидкість точки відповідно між 2-ю і 3-ю та 1-ю і 2-ю позами;

$\Delta'' X_{1-3} = \Delta' X_{2-3} - \Delta' X_{1-2}$  – різниця перших різниць, або „друга різниця”;

$\Delta t$  – тривалість одного міжкадрового інтервалу.

Отже, *перша різниця  $\Delta' X$*  – це величина чисельника у формулі швидкості, виражена в одиницях довжини. Перша різниця – це не сама швидкість, однак вона прямо пропорційна швидкості. *Друга різниця  $\Delta'' X$*  – це величина чисельника у формулі прискорення, виражена в одиницях довжини. Вона також прямо пропорційна прискоренню.

Таким чином, якщо нас цікавлять не абсолютні значення швидкостей і прискорень, а тільки те, як саме і коли вони змінюються, можна не проводити розрахунок до кінця, а розглядати тільки різниці.

### Порядок виконання роботи

2.8. *Лабораторна робота № 7*

1. Використовуючи результати лабораторних робіт № 5 і № 6, заповнити колонки координат (X і Y) ЗЦТ руки й ЗЦТ ноги у звітній таблиці для поз 7-9. Розрахувати перші різниці для цих точок  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  (по горизонталі й вертикалі). Для цього з координати точки в наступній позі відняти координату точки в попередній позі й записати отримане значення в рядок проміжної пози в колонці перших різниць  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  (швидкостей).

2. Маючи заповнену колонку перших різниць для ЗЦТ руки й ЗЦТ ноги, таким само прийомом розрахувати другі різниці  $\Delta^2 X$  і  $\Delta^2 Y$  (прискорення).

3. Перевірити виконання розрахунків на контрольному прикладі (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

*Координати, швидкості та прискорення ЗЦТ ланцюгів*

По-за	ЗЦТ руки						ЗЦТ ноги					
	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta^2 X$	$\Delta^2 Y$	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta^2 X$	$\Delta^2 Y$
7	-27	118					12	58				
			22	-6					19	1		
8	-5	112			-2	7	31	59			0	8
			20	1					19	9		
9	15	113					50	68				

Звітна таблиця

*Координати, швидкості та прискорення ЗЦТ ланцюгів*

По-за	ЗЦТ руки						ЗЦТ ноги					
	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta^2 X$	$\Delta^2 Y$	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta^2 X$	$\Delta^2 Y$
7												
8												
9												

Розрахунки для руки:

$$\Delta'X_{7-8} = X_8 - X_7 = -5 - (-27) = 22 \text{ см};$$

$$\Delta'X_{8-9} = X_9 - X_8 = 15 - (-5) = 20 \text{ см};$$

$$\Delta'X_{7-9} = \Delta'X_{8-9} - \Delta'X_{7-8} = 20 - 22 = -2 \text{ см};$$

$$\Delta'Y_{7-8} = Y_8 - Y_7 = 112 - 118 = -6 \text{ см};$$

$$\Delta'Y_{8-9} = Y_9 - Y_8 = 113 - 112 = 1 \text{ см};$$

$$\Delta''Y_{7-9} = \Delta'Y_{8-9} - Y'_{7-8} = 1 - (-6) = 7 \text{ см}.$$

Розрахунки для ноги:

$$\Delta'X_{7-8} = X_8 - X_7 = 31 - 12 = 19 \text{ см};$$

$$\Delta'X_{8-9} = X_9 - X_8 = 50 - 31 = 19 \text{ см};$$

$$\Delta''X_{7-9} = \Delta'X_{8-9} - \Delta'X_{7-8} = 19 - 19 = 0;$$

$$\Delta'Y_{7-8} = Y_8 - Y_7 = 59 - 58 = 1 \text{ см};$$

$$\Delta'Y_{8-9} = Y_9 - Y_8 = 68 - 59 = 9 \text{ см};$$

$$\Delta''Y_{7-9} = \Delta'Y_{8-9} - Y'_{7-8} = 9 - 1 = 8 \text{ см}.$$

Контрольні питання

1. Що таке швидкість?
2. Що таке прискорення?
3. У чому сутність методу різниць для визначення швидкостей і прискорень?
4. Що таке перша різниця і що таке друга різниця?
5. Як із першої різниці одержати значення швидкості?
6. Як із другої різниці одержати значення прискорення?

Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 165-169.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 67-69, 219-221.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 61-64.
4. Кашуба В.А. Современные методы измерения осанки человека // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Збірник

## 2.8. *Лабораторна робота № 7*

---

- наукових праць / Під ред. С.С. Єрмакова. – Харків, ХДАДМ, 2002. – № 11. – С. 51-56.
5. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – С. 83-98.
  6. Практикум по биомеханике: Пособие для ин-тутов физ. культ. / Под общ. ред. И.М. Козлова. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – С. 17-20, 39-40.
  7. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399 с.



## Лабораторна робота № 8

### ПОБУДОВА КІНЕМАТИЧНИХ ГРАФІКІВ КООРДИНАТ, ШВИДКОСТЕЙ І ПРИСКОРЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Мета роботи: навчитись будувати графіки залежності кінематичних характеристик із часом; вивчити взаємозв'язок у змінах кінематичних характеристик.

Матеріали та обладнання: таблиці координат, швидкостей та прискорень ЗЦТ руки та ЗЦТ ноги випробовуваного, міліметровий папір, вимірювальні лінійки, олівці.

#### Теоретичні відомості

*Кінематичні графіки показують зміну величини кінематичних характеристик (координат, швидкостей та прискорень) із плином часу. Якщо їх розташувати на аркуші паперу один під одним, з однаковим масштабом і початком вісі часу, то можна порівнювати зміни цих кінематичних характеристик у часі.*

Побудова та послідуочий аналіз графіків дає можливість оцінювати значення кінематичних характеристик не тільки у фіксовані моменти часу, які представлені у таблицях, але й у будь-які моменти часу міжкадрових інтервалів. Використання цього методу суттєво підвищує точність біомеханічних досліджень, особливо при обробці кінограм та відеоматеріалів із низькою частотою зйомки.

При аналізі кривих та при відтворенні їх більш точного виду користуються наступними *правилами графічного диференціювання*.

1. Якщо змінна величина (функція) зростає, то її похідна додатна. Наприклад, якщо координата точки з часом збільшується, то швидкість *цієї точки додатна, або, якщо зростає швидкість точки, то додатнім буде прискорення.*

2. Якщо ж функція спадає, то її похідна від'ємна. Наприклад, якщо координата точки з часом зменшується (рух

## 2.9. Лабораторна робота № 8

---

відбувається у протилежному напрямі), то швидкість від'ємна; якщо швидкість точки зменшується, то її прискорення у цей час від'ємне.

3. Якщо функція постійна, похідна її рівна нулю. Наприклад, координата точки з часом не змінюється – швидкість рівна нулю; швидкість постійна – прискорення немає.

4. При екстремальних значення функції (максимум чи мінімум) похідна її рівна нулю. Наприклад, якщо у певний момент часу швидкість досягла максимуму, то, очевидно, перед цим вона зростала, а після цього почала спадати. Таким чином, дана точка на вісі часу характеризується переходом від прискорення до уповільнення, отже, прискорення в ній рівне нулю.

5. В точках „перегину” функції похідна має або максимальне, або мінімальне значення. Наприклад, перехід через нульове значення графіка швидкості (перетин осі ОХ), відповідає або максимуму, або мінімуму на графіку прискорення.

Ці правила не важко перевірити, розглядаючи, наприклад, кінематичні графіки горизонтальних характеристик, які представлені на рис. 8.1.

### Порядок виконання роботи

1. Накреслити на аркуші міліметрового паперу координатні сітки для побудови графіків вертикальних і горизонтальних характеристик ЗЦТ руки та ЗЦТ ноги випробовуваного. Перед цим необхідно визначити у таблицях координат, швидкостей і прискорень їх найбільші та найменші значення, щоб установити розміри шкал на вертикальній осі для кожної характеристики і вибрати відповідний масштаб. Для збільшення масштабу зображення і кращої виразності графіків розмітку осей можна розпочати зі значень близьких до мінімальних.

На горизонтальній осі відкласти рівні відрізки, які відповідають інтервалам часу між кадрами (наприклад, один міжкадровий інтервал – 50 мм).

2. За даними таблиці із лабораторної роботи № 7 побудувати графіки кінематичних характеристик  $Y$ ,  $\Delta Y$  і  $X$ ,  $\Delta X$  для ЗЦТ ноги, а також  $Y$ ,  $\Delta Y$  і  $X$ ,  $\Delta X$  для ЗЦТ руки. Нанести на координатні сітки точки та сполучити їх прямими лініями.

3. Проаналізувати криві та, використовуючи правила графічного диференціювання, надати їм природного вигляду.

#### Контрольні питання

1. Які графіки називають кінематичними?
2. Дати визначення основних кінематичних характеристик.
3. Сформулювати основні правила графічного диференціювання.
4. Яка залежність між ходом графіків переміщення та швидкостей?
5. Яка залежність між ходом графіків швидкостей та прискорень?

#### Література

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – С. 122-140.
2. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – С. 58-71, 221-223.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика: Учебник для ин-тутов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 61-64.
4. Лапутин А.Н. Биомеханика физических упражнений. – К.: Вища школа, 1976. – С. 39-44.
5. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – С. 113-116.
6. Практикум по биомеханике: Пособие для ин-тутов физ. культ. / Под общ. ред. И.М. Козлова. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – С. 17-20, 39-40.
7. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399 с.

2.9. Лабораторна робота № 8

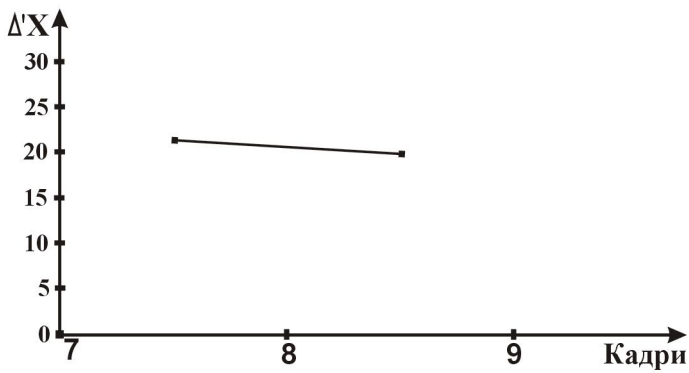
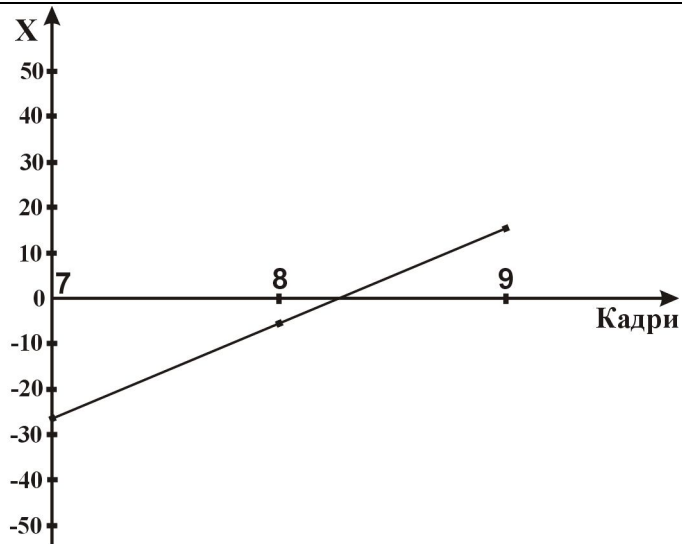


Рис. 8.1. Кінематичні графіки горизонтальних характеристик ЗЦТ руки.

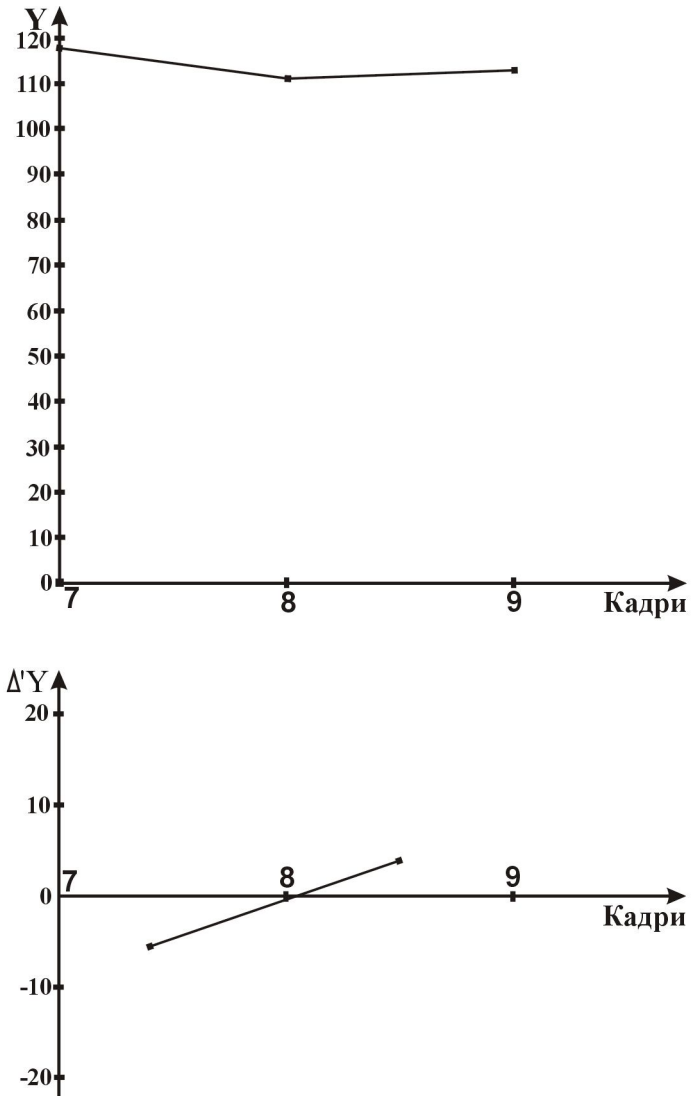
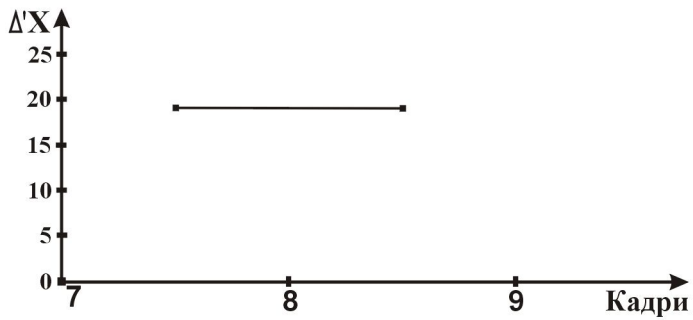
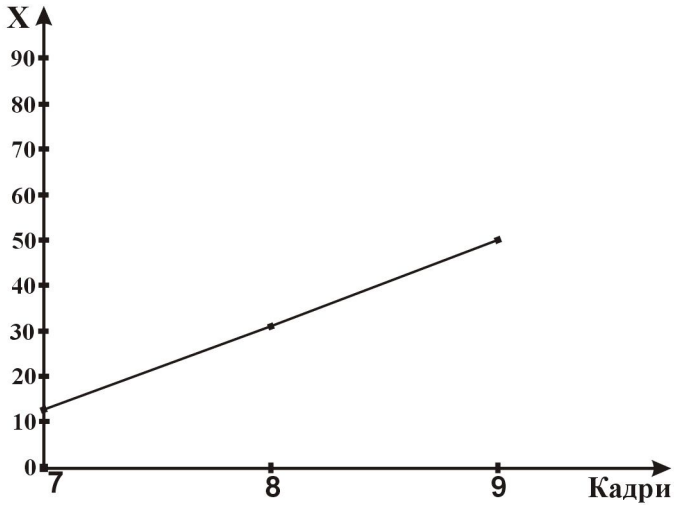


Рис. 8.2. Кінематичні графіки вертикальних характеристик ЗЦТ руки.

2.9. Лабораторна робота № 8

---



*Рис. 8.3. Кінематичні графіки горизонтальних характеристик ЗЦТ ноги.*

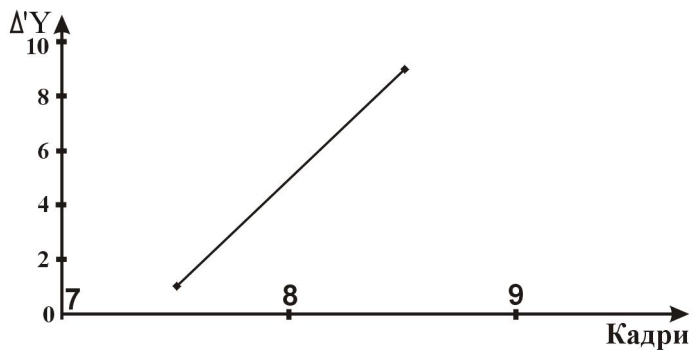
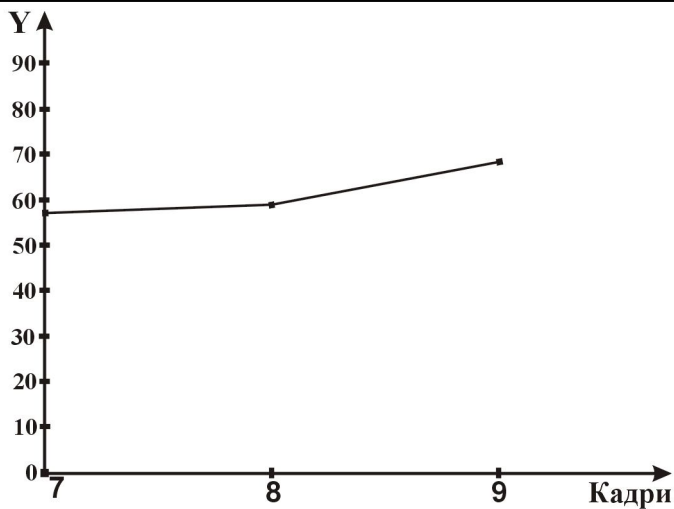


Рис. 8.4. Кінематичні графіки вертикальних характеристик ЗЦТ ноги.

## **Розділ 3. ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА ЕКЗАМЕНУ**

### **3.1. Питання колоквіуму з розділів механіки за середню школу**

#### ОСНОВИ КІНЕМАТИКИ

##### Розділ 1. Загальні відомості про рух

1. Основне завдання механіки. Поступальний рух тіл. Матеріальна точка.
2. Положення тіла в просторі. Система координат.
3. Переміщення.
4. Про векторні величини.
5. Проекції вектора на координатні осі. Дії над проекціями.
6. Прямолінійний рівномірний рух. Швидкість.
7. Графічне зображення руху.
8. Відносність руху.
9. Про систему одиниць.

##### Розділ 2. Прямолінійний нерівномірний рух

10. Швидкість при нерівномірному русі.
11. Прискорення. Рівноприскорений рух.
12. Переміщення при прямолінійному рівноприскореному русі.
13. Вільне падіння тіл. Прискорення вільного падіння.

##### Розділ 3. Криволінійний рух

14. Переміщення й швидкість у криволінійному русі.
15. Прискорення в рівномірному русі по колу.
16. Рух на обертовому тілі.

#### ОСНОВИ ДИНАМІКИ

##### Розділ 4. Закони руху

17. Тіла та їх оточення. Перший закон Ньютона.
18. Взаємодія тіл. Прискорення тіл під час їх взаємодії.
19. Інертність і маса тіл.



20. Сила. Другий закон Ньютона.
21. Третій закон Ньютона.
22. Про що ми дізнаємося із законів Ньютона?
23. Як вимірюють силу?

#### Розділ 5. Сили в природі й рухи тіл

24. Сила пружності.
25. Рух тіла під дією сили пружності.
26. Сила всесвітнього тяжіння.
27. Сила тяжіння.
28. Вага тіла. Невагомість.
29. Сила тертя. Тертя спокою.
30. Сила тертя ковзання.
31. Рух тіла під дією кількох сил.
32. За яких умов тіло рухається поступально? Центр тяжіння тіла.

#### ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

##### Розділ 6. Закон збереження імпульсу

33. Сила та імпульс.
34. Закон збереження імпульсу.

##### Розділ 7. Закон збереження енергії

35. Робота сили (механічна робота).
36. Робота сил, прикладених до тіла, і зміна його швидкості.
37. Робота сили тяжіння.
38. Потенційна енергія тіла, піднятого над Землею.
39. Робота сили пружності.
40. Закон збереження повної механічної енергії.
41. Робота сили тертя і механічна енергія.
42. Потужність.
43. Рух рідин (і газів) по трубах. Закон Бернуллі.

##### Література

1. Кікоїн І.К., Кікоїн А.К. Фізика: Підручник для 9 класу середньої школи. – К., 1992.

### 3.2. Питання комп'ютерного тесту

Нижче приведені варіанти 50 тестових питань із різним вибором відповідей на них. Запропоновані питання дозволяють проаналізувати ступінь засвоєння й обсяг знань студентів із розділів „Біомеханічні характеристики тіла людини і його рухів” та „Опорно-руховий апарат як біомеханічна система”.

1. Що таке біомеханічна система?
  - Модель тіла людини.
  - Кістково-м'язовий апарат.
  - Раціональний спосіб виконання руху.
  - Біодинамічний повнозв'язаний механізм.
  - Правильної відповіді тут немає.
2. Біокінематична пара розглядається як ...
  - Рухливе з'єднання двох кісткових ланок.
  - Нерухоме з'єднання двох кісток.
  - Два близько розміщені м'язи.
  - М'язи-синергісти.
  - Правильної відповіді тут немає.
3. Біокінематичні ланцюги – це ...
  - З'єднання ряду біокінематичних пар.
  - Нерухоме з'єднання кісток.
  - Близько розміщені пари м'язів.
  - Послідовне з'єднання кісток кістяка.
  - Багатосуглобні м'язи.
4. Що собою представляє тіло, яке закріплене у визначеній точці й має можливість обертатися навколо осі, що проходить через цю точку?
  - Маятник.
  - Важіль.
  - Ланцюг.
  - Ланка.
  - Гвинт.
5. У чому сутність „золотого правила” механіки?
  - Закон рівності робіт.

- Удосконалення руху.
  - Взаємодія м'язів.
  - Закон залежності сили від швидкості.
  - Закон залежності сили від відстані.
6. Скільки ступенів вільності руху має кулястий суглоб?
- Шість.
  - Три.
  - Одну.
  - Дві.
  - Чотири.
7. Скільки ступенів вільності руху має одноосьовий суглоб?
- Шість.
  - Три.
  - Одну.
  - Чотири.
  - Дві.
8. Якими властивостями володіє м'яз як фізичне тіло?
- Хімічними.
  - Біологічними.
  - Механічними.
  - Фізіологічними.
  - Електричними.
9. Якими властивостями володіє м'яз як живий орган?
- Фізико-хімічними.
  - Біологічними.
  - Тепловими.
  - Біохімічними.
  - Хімічними.
10. Як називається механічна властивість м'яза згодом подовжуватися, незважаючи на те, що напруга його не змінюється?
- Пружність.
  - В'язкість.
  - Релаксація.
  - Повзучість.

- Збудливість.
11. Як проявляється збудження м'яза в ізотонічному режимі скорочення?
    - Довжина м'яза зменшується, напруга не змінюється.
    - Довжина м'яза постійна, напруга збільшується.
    - Довжина м'яза збільшується, напруга постійна.
    - Довжина м'яза зменшується, напруга зменшується.
    - Довжина м'яза збільшується, напруга зменшується.
  12. Як проявляється збудження м'яза в режимі ізометричної напруги?
    - Довжина м'яза постійна, напруга збільшується.
    - Довжина м'яза постійна, напруга постійна.
    - Довжина м'яза зменшується, напруга збільшується.
    - Довжина м'яза зменшується, напруга зменшується.
    - Довжина м'яза збільшується, напруга зменшується.
  13. Як проявляється збудження м'яза в ауксотонічному режимі скорочення?
    - Довжина м'яза постійна, напруга збільшується.
    - Довжина м'яза постійна, напруга зменшується.
    - Довжина м'яза змінюється, напруга постійна.
    - Довжина м'яза зменшується, напруга збільшується.
    - Довжина м'яза змінюється, напруга змінюється.
  14. Скільки ланок складають механічну модель тіла людини за М.О. Беруштейном?
    - П'ятнадцять.
    - Дванадцять.
    - Дев'ять.
    - Чотирнадцять.
    - Сімнадцять.
  15. Як називаються межі, у яких м'яз може виконувати свою функцію в даному русі?
    - Зона активності.
    - Акцентована ділянка руху.
    - Максимальна ізометрична напруга.
    - Максимальна довільна сила.

- Правильної відповіді тут немає.
16. Від чого залежить напруга м'яза?
- Від довжини м'яза.
  - Від анатомічного поперечника.
  - Від фізіологічного поперечника.
  - Від зовнішнього навантаження.
  - Від типу будови м'яза.
17. При використанні важеля одержують ...
- Виграш у силі, програш у роботі.
  - Виграш у відстані, програш у силі.
  - Виграш у роботі, програш у відстані.
  - Програш у силі, програш у відстані.
  - Програш у роботі, програш у силі,
18. Коли характеристики обчислюють чи вимірюють, то вони – ...
- Якісні характеристики.
  - Геометричні характеристики.
  - Біомеханічні характеристики.
  - Фізичні характеристики.
  - Кількісні характеристики
19. Як називаються характеристики, що розкривають форму й характер рухів?
- Інерційні.
  - Кінематичні.
  - Динамічні.
  - Силові.
  - Правильної відповіді тут немає.
20. Характеристика, яка дозволяє визначити проміжні положення тіла, що рухається, – це ...
- Траскторія руху.
  - Амплітуда руху.
  - Переміщення тіла.
  - Відстань руху тіла.
  - Період руху тіла.

21. По якій формулі обчислюється величина виштовхувальної сили?
- $F = \rho g V$ .
  - $F = ma$ .
  - $F = -ma$ .
  - $F = kN$ .
  - $F = C_p S v^2$ .
22. Часова міра співвідношення частин рухів – це ...
- Момент часу.
  - Тривалість руху.
  - Темп руху.
  - Ритм руху.
  - Фаза руху.
23. Темп – часова міра руху, що розкриває ...
- Коли почався й закінчився рух.
  - Як довго тривав рух.
  - Частоту виконання руху.
  - Як погоджені рухи в часі.
  - Швидкість виконання руху.
24. Якщо величина швидкості точки стає більше (без зміни напрямку), то прискорення буде ...
- Від'ємним.
  - Нормальним.
  - Додатним.
  - Доцентровим.
  - Радіальним.
25. По якій формулі обчислюється сила лобового опору?
- $F = ma$ .
  - $F = kN$ .
  - $F = C_p S v^2$ .
  - $I = \Sigma m r^2$ .
  - Правильної відповіді тут немає.
26. Просторово-часова міра руху (швидкість зміни положення тіла) – це ...
- Ритм руху.
  - Прискорення руху.

- Траєкторія руху.
  - Імпульс сили.
  - Швидкість руху.
27. По якій формулі обчислюється момент інерції тіла?
- $S = F\Delta t$ .
  - $A = F\Delta s$ .
  - $F = kN$ .
  - $I = \Sigma mr^2$ .
  - Правильної відповіді тут немає.
28. По якій формулі обчислюється величина енергії пружної деформації?
- $K = mv$ .
  - $E = mv^2/2$ .
  - $E = I\omega^2/2$ .
  - $E = kx^2/2$ .
  - $M = I\epsilon$ .
29. Взаємне розташування ланок – це ...
- Кістяк.
  - Біокінематична схема.
  - Біокінематичний ланцюг.
  - Поза.
  - Біокінематичні пари.
30. Яка механічна характеристика вказує на кількість речовини й інертність тіла?
- Об'єм тіла
  - Маса тіла
  - Сила інерції.
  - Густина тіла.
  - Коефіцієнт пружності
31. Коли подовжня вісь ланки описує конічну поверхню (у кулястому суглобі), такий рух оцінюють як ...
- Відхиляючий.
  - Зворотно-поступальний.
  - Відносний.
  - Переносний.

- Коловий.
32. Яка величина прямо пропорційна діючій силі й обернено пропорційна масі тіла?
- Прискорення.
  - Швидкість.
  - Час.
  - Робота.
  - Потужність.
33. Якою латинською буквою прийнято позначати ліктьовий суглоб на біокінематичній схемі?
- f.
  - p.
  - d.
  - a.
  - s.
34. Що є мірою інертності тіла при обертальному русі?
- Момент інерції тіла.
  - Маса тіла.
  - Кутове прискорення тіла.
  - Інерція.
  - Прискорення.
35. Кількісна міра механічного впливу одного тіла на інше в даний момент часу – це ...
- Тиск.
  - Момент інерції.
  - Енергія.
  - Механічний рух.
  - Сила.
36. Міра, вимірювана добутком маси тіла і його швидкостей, – це ...
- Кількість руху.
  - Прискорення.
  - Темп руху.
  - Інертність тіла.
  - Робота.



37. Виберіть кінематичну характеристику руху:
- Кількість руху.
  - Кінетичний момент.
  - Кінетична енергія.
  - Імпульс сили.
  - Швидкість.
38. Сила, із якою середовище (вода чи повітря) перешкоджає руху тіла в ньому, – це ...
- Сила, що виштовхує.
  - Піднімальна сила.
  - Сила ваги.
  - Лобовий опір.
  - Сила інерції.
39. За яким показником визначається вид рівноваги?
- Координацією рухів.
  - Масою тіла.
  - Статичною роботою м'язів.
  - Дією сили пружності.
  - Положенню ЗЦМ.
40. Рівновага, при якій тіло повертається в попереднє положення при будь-якій відхиленні, – це ...
- Стійка.
  - Обмежено-стійка.
  - Нестійка.
  - Байдужа.
  - Правильної відповіді тут немає.
41. Що є основним джерелом механічної енергії тіла людини?
- Скелетні м'язи.
  - Серцево-судинна система.
  - Трубчасті кісти.
  - Адинозинтрифосфат.
  - Серцевий м'яз.
42. Як називається дія сили, при якій має місце лише деформація тіла(прискорення немає)?
- Статична.

- Динамічна.
  - Додатна.
  - Від'ємна.
  - Механічна.
43. Силу, із якою тіло внаслідок притягання до Землі тисне на опору чи розтягує підвіс, називають ...
- Вагою тіла.
  - Силою тиску.
  - Силою пружності.
  - Опорною реакцією.
  - Силою пружної деформації.
44. Як називається міра протидії опори при дії на неї тіла, яке знаходиться з нею в контакті?
- Напруга опори.
  - Реакція опори
  - Сила тертя.
  - Опір.
  - Тиск.
45. Найбільш сформовані й визначальні закономірності взаємодій підсистем у системі – це ...
- Структура системи рухів.
  - Якість системи.
  - Системні властивості рухів.
  - Суглобні рухи.
  - Класифікація системи руху.
46. Основні стійкі закономірності взаємозв'язку рухів у просторі і в часі – це ...
- Кінематична структура системи рухів.
  - Динамічна структура системи рухів.
  - Інформаційна структура системи рухів.
  - Узагальнена структура системи рухів.
  - Механічна структура системи рухів.
47. Процес узгодження рухів – це ...
- Координація.
  - Динамічність.
  - Рефлексія.
  - Саморегуляція.

- Правильної відповіді тут немає.
48. Ізометрична напруга, ізотонічне й ауксотонічне скорочення – це ...
- Режими роботи м'язів.
  - Типи м'язів.
  - Властивості м'язів.
  - Види роботи м'язів.
  - Правильної відповіді тут немає.
49. Вироблені склад і послідовність рухів – це ...
- Програма керування.
  - Рухове завдання.
  - Модулювання.
  - Команда.
  - Мета управління.
50. Коли сили прикладені по обидві сторони від вісі обертання (точки опори), то важіль називається ...
- Двохплечим.
  - Одноплечим.
  - Важелем II-го роду.
  - Простим.
  - Складним.

### 3.3. Контрольні питання для підготовки до екзамену

#### ЗАГАЛЬНА БІОМЕХАНІКА

##### Вступ

1. Предмет біомеханіки. Поняття про форми руху матерії. Об'єкт пізнання біомеханіки. Область вивчення біомеханіки.
2. Практичне застосування біомеханіки у фізичному вихованні. Завдання біомеханіки.
3. Основні етапи розвитку біомеханіки. Механічний, функціонально-анатомічний і фізіологічний напрями розвитку біомеханіки. Системно-структурний підхід.

##### Опорно-руховий апарат людини як біомеханічна система

1. Механічні властивості кісток і суглобів.
2. Біоланки тіла людини. З'єднання біоланок: біокінематичні пари й ланцюги.
3. Ступені вільності біокінематичних пар і ланцюгів.
4. Біоланки як важелі, умови їх рівноваги та прискореного руху.
5. Особливості застосування „золотого правила” механіки до рухів людини.
6. Геометрія мас тіла людини. Центри мас окремих ланок і загальний центр маси тіла людини. Моменти інерції тіла. Центр об'єму та центр поверхні тіла.
7. М'язи – головне джерело забезпечення механічного руху людини. Механічні моделі будови м'язів. Біомеханічні властивості м'язів.
8. Прояви активності м'язів. Режими, види та різновиди роботи м'язів.
9. Механічні, анатомічні й фізіологічні умови прояву сили тяги м'язів.
10. Групова взаємодія м'язів. Поняття про руховий механізм.
11. Біомеханічна система, її будова та властивості.

Біомеханічні характеристики рухів людини

1. Просторові характеристики. Системи відліку для визначення положення тіла у просторі.
2. Часові характеристики. Системи відліку часу. Темп і ритм руху.
3. Просторово-часові характеристики поступального й обертального рухів тіла.
4. Кінематичні особливості рухів людини. Рухи: відносний, переносний, результируючий.
5. Поняття про інерцію. Інерційні характеристики тіла при поступальному та обертальному рухах.
6. Силкові характеристики: сила й момент сили, імпульс сили та імпульс моменту сили.
7. Особливості динаміки рухів людини. Сили зовнішні та внутрішні. Контактні і дистантні сили.
8. Сили інерції. Прояви сил інерції при виконанні фізичних вправ.
9. Сила тяжіння й вага тіла.
10. Сили реакції опори. Сили пружної деформації.
11. Сили дії середовища. Лобовий опір та виштовхувальна сила.
12. Сили тертя.
13. Енергетичні характеристики положення та руху тіла: робота, енергія, потужність.

Біомеханіка рухових якостей

1. Біомеханічна характеристика силових якостей.
2. Біомеханічна характеристика швидкісних якостей.
3. Біомеханічна характеристика витривалості.
4. Біомеханічна характеристика гнучкості.

Системи рухів у фізичних вправах і їх структура

1. Склад системи рухів. Часові й просторові елементи.
2. Структура системи рухів. Систематизуючі взаємозв'язки та взаємодія утворюючих систему елементів. Види структур.

3. Варіативність структури системи рухів у залежності від внутрішніх та зовнішніх умов. Координація як процес погодження рухів людини. Помилки у рухах та шляхи їх подолання.

#### Фізичні вправи як керовані системи

1. Людина як самокерована система. Управляюча й виконуюча підсистеми. Прямий і зворотний зв'язок.
2. Інформація як засіб управління. Зміст інформації. Передача інформації.
3. Рухове завдання як мета управління. Програма управління.
4. Управління рухами в умовах змін зовнішнього оточення та змін у внутрішньому середовищі.
5. Зміни у системах рухів при навчанні та тренуванні.

#### БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

##### Біомеханіка гімнастичних вправ

1. Умови рівноваги тіла та системи тіл. Види рівноваги.
2. Статичний і динамічний показники стійкості.
3. Умови стійкості тіла людини. Управляючі рухи гімнаста на збереження положення тіла.
4. Характеристика обертальних рухів у гімнастичних вправах. Механізм обертального руху тіла.
5. Зміна обертального руху тіла й системи тіл. Сили інерції Коріоліса.
6. Управління рухом навколо вісі при зміні та при збереженні кінетичного моменту тіла гімнаста.
7. Біомеханічний аналіз обертальних вправ, що виконуються на приладах, на підлозі та без опори.

##### Біодинаміка легкоатлетичних переміщень

1. Механізм відштовхування від опори.
2. Характеристика махових рухів. Фази махових рухів.
3. Циклічний характер крокових рухів. Фази крокових рухів.
4. Швидкість, довжина, частота й ритм кроків.

### Біодинаміка пересування на лижах

1. Пересування на лижах. Сили тертя. Прояви сил тертя при ковзанні та відштовхуванні.
2. Дія сили тяжіння при переміщенні лижника по горизонтальній лижні, при підйомі та при спуску. Біодинаміка способів підйому.
3. Прояви опору повітря при пересуванні на лижах. Біодинаміка стійок спуску.
4. Механізм відштовхування лижами. Махові рухи лижника при відштовхуванні.
5. Умови ефективного відштовхування палками.
6. Біодинаміка поперемінних лижних ходів.
7. Біодинаміка одночасних лижних ходів.
8. Біодинаміка ковзанярських лижних ходів.

### Біодинаміка плавання

1. Статична дія водного середовища на тіло плавця.
2. Динамічна взаємодія тіла плавця з водою.
3. Гребні рухи. Умови ефективності гребних рухів.
4. Біомеханічні особливості гребних рухів руками й ногами при різних способах спортивного плавання.

### Біодинаміка спортивних ігор

1. Переміщення зовнішніх тіл. Нарощування швидкості у біокінематичних ланцюгах, послідовність роботи м'язів.
2. Метальні рухи гравців. Передачі та кидки. Фази метальних рухів.
3. Ударні дії гравців. Фази ударної дії. Види ударних дій: подачі, передачі та нападаючі удари.
4. Біомеханічний аналіз кидків м'яча у баскетболі та гандболі.
5. Біомеханічний аналіз ударів по м'ячу у волейболі та футболі.

Біомеханічні методи вивчення рухів

1. Організація біомеханічних досліджень. Завдання та методики дослідження, основні етапи дослідження.
2. Реєстрація кінематичних характеристик.
3. Реєстрація динамічних характеристик.
4. Визначення координат точок тіла спортсмена за кінограмою фізичної вправи.
5. Побудова біокінематичної схеми рухової дії за координатами точок тіла спортсмена.
6. Визначення положення загального центру маси тіла графічним способом.
7. Визначення положення загального центру маси тіла аналітичним способом.
8. Розрахунок лінійних швидкостей та прискорень.
9. Розрахунок кутових швидкостей та прискорень.
10. Побудова кінематичних графіків та їх аналіз.
11. Побудова лінійних хронограм.



### ЛІТЕРАТУРА

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001. – 319 с.
2. Бранков Г. Основы биомеханики. – М.: Мир, 1981. – С. 20-21.
3. Гагин Ю.А., Кичайкин Н.Б., Погосян Л.Г. Методические указания по выполнению расчетно-аналитических работ по биомеханике. Часть IV. – Л.: ГЦОЛИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1976. – С. 34-49.
4. Гернет М.М., Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции. – М.: Машиностроение, 1969. – 246 с.
5. Годик М.А. Спортивная метрология: Учебник для институтов физической культуры. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – С. 26-28.
6. Гросс Х.Х. Педагогическая кинезиология – новое направление в спортивной педагогике и биомеханике // Теория и практика физической культуры. – 1979. – № 9. – С. 7-10.
7. Дал-Монте А., Фаина М. Специальные требования к оценке функциональных возможностей спортсменов // Наука в олимпийском спорте. – 1995. – № 1. – С. 30-38.
8. Донской Д.Д. Биомеханика. – М.: Просвещение, 1975. – 239 с.
9. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика: Учебник для ин-тутов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
10. Донской Д.Д., Филиппов В.К., Нижник А.П. Киноциклографический метод исследования техники физических упражнений // Теория и практика физической культуры. – 1975. – № 4. – С. 6-9.
11. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика опорно-двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 141 с.

12. Зациорский В.М., Селуянов В.Н. Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека и их взаимосвязь с антропометрическими признаками // Вопросы антропологии. – М.: МГУ, 1979. – Вып. 62. – С. 45.
13. Кашуба В.А. Современные методы изменения осанки человека // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Збірник наукових праць / Під ред. С.С. Єрмакова. – Харків, ХДАДМ, 2002. – № 11. – С. 51-56.
14. Кашуба В.А. Биомеханика осанки. – К.: Олимпийская литература, 2003. – 279 с.
15. Козлов И.М., Иванова Г.П. Практикум по биомеханике: Учебное пособие для ИФК. – Л.: Физкультура и спорт, 1980. – 120 с.
16. Лапутин А.Н. Биомеханика физических упражнений. – К.: Вища школа, 1976. – 88 с.
17. Лапутин А.Н. Обучение спортивным движениям. – К.: Здоров'я, 1986. – 214 с.
18. Лапутин А.Н., Кашуба В.А. Формирование массы и динамика гравитационных взаимодействий тела человека в онтогенезе. – К.: Знання, 1999. – 202 с.
19. Лапутин А.Н., Хапко В.Е. Биомеханика физических упражнений. – К.: Радянська школа, 1986. – 131 с.
20. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 232 с.
21. Практикум по биомеханике: Пособие для ин-тугов физ. культ. / Под общ. ред. И.М. Козлова. – М.: Физкультура и спорт, 1980. – 106 с.
22. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений: Учеб. пособие для студентов фак. физ. культуры и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание». – М.: Просвещение, 1989. – 210 с.
23. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399 с.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	3
Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ КУРС .....	7
1.1. Предмет, завдання й методи біомеханіки .....	7
1.2. Розвиток біомеханіки як науки .....	9
1.3. Тіло людини як біомеханічна система .....	14
1.4. Біомеханічна характеристика рухів людини .....	18
1.5. Біомеханічні властивості м'язів .....	31
1.6. Біомеханічні основи техніки й тактики фізичних вправ .....	32
1.7. Сучасні методи біомеханічного аналізу рухових дій .....	40
1.8. Технічні засоби навчання руховим діям і тренажерні системи .....	45
Розділ 2. ПРАКТИЧНИЙ КУРС .....	49
2.1. Організація роботи та правила техніки безпеки на заняттях із біомеханіки фізичних вправ .....	49
2.2. Лабораторна робота № 1 .....	53
2.3. Лабораторна робота № 2 .....	60
2.4. Лабораторна робота № 3 .....	66
2.5. Лабораторна робота № 4 .....	70
2.6. Лабораторна робота № 5 .....	81
2.7. Лабораторна робота № 6 .....	87
2.8. Лабораторна робота № 7 .....	92
2.9. Лабораторна робота № 8 .....	97
Розділ 3. ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА ЕКЗАМЕНУ .....	104
3.1. Питання колоквиуму з розділів біомеханіки за середню школу .....	104
3.2. Питання комп'ютерного тесту .....	106
3.3. Контрольні питання для підготовки до екзамену ...	116
ЛІТЕРАТУРА .....	121

Навчальний посібник

**Ахметов Рустам Фагимович**

# **БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ**

Підписано до друку 30.02.2004. Формат 60x88/16. Папір офісний.  
Гарнітура Times New Roman Суг. Друк різнографічний.  
Умовн. друк. арк. 9,4.