МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О.В. Соколова, Г.А. Омельяненко, В.О. Тищенко

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання», «Спорт», «Фітнес та рекреація»

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О.В. Соколова, Г.А. Омельяненко, В.О. Тищенко

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання», «Спорт», «Фітнес та рекреація»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № 5 від 22.12.2022

Запоріжжя
2022

УДК 796:612.76(076.5)
С 594

Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання», «Спорт», «Фітнес та рекреація» Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 57 с.

У запропонованому авторами виданні подано зміст лабораторних робіт з курсу «Біомеханіка фізичних вправ» відповідно до робочої програми. Для його унаочнення використано рисунки, схеми, графіки, таблиці та формули. Для діагностики рівня засвоєння знань запропоновано питання для самоконтролю.

Видання сприятиме засвоєнню передбачених програмою знань і формуванню навичок із проведення біомеханічного аналізу рухової діяльності людини.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт», які навчаються за освітньо-професійними програмами «Фізичне виховання», «Спорт», «Фітнес та рекреація» денної та заочної форм здобуття освіти.

Рецензент
М.В. Маліков, д-р біолог. наук, професор, декан факультету фізичного виховання, здоров’я та туризму

Відповідальний за випуск
А.П. Конох, д-р пед. наук, професор, завідувач кафедри теорії та методики фізичної культури і спорту

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень…….. 4
Передмова…..5
Лабораторне заняття № 1
Зчитування координат точок відліку по кінограмах фізичної вправи і складання таблиць координат.....8
Лабораторне заняття № 2
Побудова біокінематичної схеми (проміру) фізичної вправи за даними таблиці координат.....9
Лабораторне заняття № 3
Складання хронограм руху тіла спортсмена за матеріалами кінозйомки фізичної вправи.....11
Лабораторне заняття № 4
Визначення лінійних швидкостей руху біоланок тіла спортсмена за біокінематичною схемою фізичної вправи.....13
Лабораторне заняття № 5
Визначення лінійних прискорень точок біоланок тіла спортсмена за біокінематичною схемою фізичної вправи.....16
Лабораторне заняття № 6
Визначення кутової швидкості руху біоланок за біокінематичною схемою фізичної вправи.....18
Лабораторне заняття № 7
Визначення кутового прискорення біоланок за біокінематичною схемою фізичної вправи.....21
Лабораторне заняття № 8
Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним способом (додаванням сил тяжіння).....24
Лабораторне заняття № 9
Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) аналітичним способом (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона).....28
Контрольні питання з дисципліни «Біомеханіка».....33
Рекомендована література.....36
Додатки 38

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

– теоретичні відомості

– зверніть увагу

– прочитайте

– виконайте вправу

? – питання для самоконтролю

ПЕРЕДМОВА

Курс «Біомеханіка» належить до нормативних дисциплін циклу професійної підготовки бакалаврів спеціальності «Фізична культура і спорт», які навчаються за освітньо-професійними програмами «Фізичне виховання», «Спорт», «Фітнес та рекреація».

Біомеханіка як навчальна дисципліна вивчає рухи людини, механічні й біологічні причини їх виникнення, особливості виконання в різних умовах, розглядає рухові дії як систему взаємопов'язаних активних рухів і положень тіла. Розуміння фізичної сутності рухів та особливостей управління ними вкрай важливо для вчителя фізичного виховання та тренера. Використання основних понять про рух, простір і час, законів механіки дозволяє професійно застосувати методи навчання фізичних вправ, удосконалювати організацію тренувального процесу. Цим пояснюється актуальність дисципліни й необхідність її усвідомленого вивчення.

Біомеханіка як єдина система знань сформувалася порівняно недавно, проте рухи людини та тварин завжди привертали увагу науковців. Виникненню біомеханіки як самостійної науки сприяв розвиток фізичних і біологічних знань, а також техніки.

Основою для засвоєння програмного матеріалу з курсу «Біомеханіка» є знання, набуті під час вивчення анатомії людини, спортивної морфології та спортивної метрології. Крім того, дисципліна має тісні міжпредметні зв'язки з фізикою, математикою, біологією, фізіологією, біохімією, теорією та методикою фізичного виховання і спортивного тренування.

Метою викладання курсу «Біомеханіка» є ознайомлення студентів з біомеханічними основами техніки рухових дій та тактики рухової діяльності; формування системи теоретичних знань і практичних навичок проведення біомеханічного аналізу рухової діяльності людини, необхідних для здійснення науково обґрунтованого навчально-тренувального процесу з фізичного виховання різних категорій населення; забезпечення спеціальної професійно-технічної підготовки студентів; формування теоретичних знань і практичних умінь і навичок.

Основними завданнями вивчення курсу є усвідомлення загальних закономірностей будови та функцій рухового апарату; ознайомлення зі специфікою рухової діяльності людини, а також особливостями біодинаміки фізичних вправ у різних видах спорту; набуття наукових уявлень про сутність рухових дій.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Біомеханіка» студент повинен набути таких *результатів навчання* та *компетентностей*:

У разі успішного завершення курсу студент *зможе*:

- самостійно проводити біомеханічний аналіз в обраному виді спорту;
- вільно оперувати понятійно-категоріальним апаратом курсу;
- обраховувати координати точок біоланок тіла людини;;

- будувати біокінематичну схему фізичної вправи;
- складати лінійні та кругові хронограми;
- аналізувати часову структуру фізичної вправи;
- визначати лінійні та кутові швидкості і прискорення;
- розраховувати кінематичні характеристики рухової діяльності людини;
- визначати динамічні і енергетичні характеристики рухів людини;
- визначати загальний центр тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним способом;
- визначати загальний центр тяжіння тіла (ЗЦТТ) аналітичним способом;
- визначати кінематичні, динамічні та енергетичні особливості рухової діяльності людини при виконанні фізичних вправ;
- використовувати результати біомеханічного аналізу в навчально тренувальному процесі і оздоровчих заняттях з фізичної культури.

Інтегральна компетентність:

• здатність розв'язувати складні спеціалізовані завдання та практичні проблеми у сфері фізичної культури і спорту або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів наук з фізичного виховання і спорту, та характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

• здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями;
• здатність працювати в команді;
• здатність планувати та управляти часом;
• здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;
• навички використання інформаційних і комунікаційних технологі;
• навички міжособистісної взаємодії;
• здатність бути критичним і самокритичним;
• здатність діяти на основі етичних міркувань (мотивів);
• здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Спеціальні (фахові, предметні):

• здатність забезпечувати формування фізичної культури особистості;
• здатність застосувати отримані теоретичні знання для збирання, систематизації та класифікації експериментальних даних з метою проведення біомеханічного контролю і аналізу рухової діяльності;
• здатність до самостійно аналізу й узагальнення отриманих результатів для надання конкретних рекомендацій і прогнозів;
• здатність використовувати теоретичні знання і практичні навички при проведенні вимірів і тестів в системі біомеханічного контролю за тренувальною і змагальною діяльністю у видах спорту;
• здатність володіти інструментальними методами вимірювань;
• здатність використовувати основні поняття про рух, простір і час, закони механіки з метою професійного застосування і вдосконалення методів навчання фізичним вправам;

- здатність до організації оздоровчо-рекреаційної рухової активності різних груп населення;
- здатність зміцнювати здоров’я людини шляхом використання рухової активності, раціонального харчування та інших чинників здорового способу життя;
- здатність застосовувати знання про будову та функціонування організму людини;
- здатність використовувати спортивні споруди, спеціальне обладнання та інвентар;
- здатність застосовувати сучасні технології управління суб’єктами сфери фізичної культури і спорту;
- здатність до безперервного професійного розвитку.

Запропоноване авторами навчальне видання сприятиме ознайомленню студентів з біомеханічними основами фізичних вправ, зокрема основами спортивної техніки, усвідомленню складності людських рухів, засвоєнню знань, необхідних для правильного застосування фізичних вправ як засобу фізичного виховання та вдосконалення рухової діяльності, а також якісній підготовці до лабораторних занять і контрольних заходів. Значну увагу приділено в ньому біомеханічному аналізу, що являє собою один із способів вивчення рухової діяльності людини, біомеханічним методам вивчення рухових дій.

До кожного лабораторного заняття запропоновано питання для контролю, які спрямовані на закріплення теоретичних положень біомеханіки.

При написанні навчального видання враховано сучасний стан біомеханіки й тенденції її розвитку як науки й навчальної дисципліни. Крім того, використано науковий і педагогічний досвід провідних фахівців у галузі біомеханіки, серед яких Д.Д. Донський, В.М. Зaціорський, А.М. Лапутін, Р.Ф. Ахметов, В.Л. Уткін, В.О. Кашуба, Т.О. Хабінець, М.О. Носко та ін.

Лабораторне заняття № 1

Тема: Зчитування координат точок відліку за кінограмами фізичної вправи і складання таблиць координат.

Мета: 1. Навчитися креслити таблицю координат.
2. Навчитися зчитувати координати точок відліку в кожній позі спортсмена на кожному кадрі кінограми.
3. Скласти таблицю координат.

Обладнання: 1. Кінограма фізичної вправи.
2. Вимірювальні прилади: вимірювальна лінійка, косинці, олівець.

Короткі теоретичні відомості

Розташування тіла спортсмена (і його біоланок) у просторі є біокінематичною (просторовою) характеристикою. Завданням біокінематики є опис можливих переміщень окремих біоланок або всього тіла спортсмена відносно обраної системи відліку (система координат). Складання таблиці координат є підставою для подальшої побудови проміру (біокінематичної схеми – схематичного зображення досліджуваних поз спортсмена на одному аркуші паперу), а також для розрахунку швидкостей і прискорень обраних точок відліку, тому її треба будувати точно. У таблиці координат кількість рядків по горизонталі повинна дорівнювати кількості поз на промірі, кількість вертикальних стовпчиків має відповідати подвійному числу пунктів відліку: для координат по осях абсцис і ординат. Див. додатки № 1 і 2.

Порядок виконання практичного завдання

1. Накреслити таблицю координат (додаток № 2).
2. На кожний знімок кінограми нанести прямокутну плоску систему координат (додаток № 1).
3. Позначити точками: центр ваги голови й місця проєкції суглобів спортсмена, що підлягають вивченню.
4. Провести зчитування координат.
5. Заповнити таблицю координат.

Питання для контролю

1. Поясніть призначення таблиці координат.

2. Розкрийте послідовність складання таблиці координат.
3. Що описують просторові характеристики?
4. Що таке координати точки, тіла?
5. Що таке переміщення точки, тіла?
6. Назвіть одиниці відліку відстані.
7. Розкрийте сутність поняття «переміщення точки».
8. Розкрийте сутність поняття «траєкторія точки».

Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 60-63.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 17-24.

3. Біомеханіка спорту: підручник /Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. [та ін.]. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 24-26, 181-183.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.19-20.

5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.18-19.

Лабораторне заняття № 2

Тема: Побудова біокінематичної схеми (проміру) фізичної вправи за даними таблиці координат.

Мета: Навчитися знаходити за координатами положення точок відліку тіла і схематично креслити пози спортсмена на одному аркуші паперу в прямокутній плоскій системі координат.

Обладнання: 1.Таблиця координат досліджуваних точок: центра тяжіння голови і місць проєкції суглобів спортсмена, що підлягають вивченню.
2. Міліметровий папір.
3. Вимірювальні прилади: лінійка, косинці, транспортири, олівці, циркуль.

Короткі теоретичні відомості

Рухи тіла людини можна вважати вивченими, якщо відомий спосіб, завдяки якому визначається її положення в будь-який момент часу в досліджуваному просторі. При вивченні спортивної техніки перед дослідником постають складні завдання, пов'язані з визначенням взаєморозташування окремих біоланок або біокінематичних пар, а також усього тіла спортсмена в площині.

Біокінематична схема (промір) може бути складена і по кіноплівці, для чого після вибору масштабу замальовують зображення поз спортсмена на міліметровому папері.

Промір дозволяє кількісно визначити розташування точок тіла та зміну їх положення через однакові інтервали часу (при кінозйомці). Див. додаток № 3.

Порядок виконання практичного завдання

1. Обрати масштаб.
2. Нарисувати на міліметровому аркуші паперу прямокутну систему координат (додаток № 4).
3. Нанести точки місць проєкції (їх координати) центра ваги голови й досліджуваних суглобів на міліметровий папір по кожному кадру кінограми.
4. З'єднати отримані точки й позначити номери кадрів.

Питання для контролю

1. Що таке біокінематична схема?
2. Поясніть, з якою метою будується біокінематична схема фізичної вправи.
3. Назвіть основні принципи побудови біокінематичної схеми.
4. Розкрийте послідовність складання біокінематичної схеми.
5. Перелічіть види реєстрації кінематичних характеристик.
6. Поясніть, з якою метою проводиться аналіз структури руху.

Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С.53-58, 66-69.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 151-156.

3. Біомеханіка спорту: підручник /Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. [та ін.]. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 24-26, 168-180..

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.19-20.

5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С. 18-19.

Лабораторне заняття № 3

Тема: Складання хронограм руху тіла спортсмена за матеріалами кінозйомки фізичної вправи.

Мета: Навчитися самостійно досліджувати часову структуру окремих рухових дій у системі цілісної фізичної вправи.

Обладнання: 1. Біокінематична схема фізичної вправи або кінограми.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, транспортири, косинці, кольорові олівці, міліметровий папір.

Короткі теоретичні відомості

Хронограма необхідна для точної характеристики часової структури фізичної вправи. Вона показує час виконання рухових фаз у загальній кінематичній структурі біокінематичної системи фізичної вправи. Хронограми бувають лінійними та круговими.

У лінійній хронограмі тривалість фази визначається відрізком прямої, довжина якої пропорційна кількості кадрів, що відносяться до даної фази руху. У круговій хронограмі тривалість фази визначається довжиною дуги кола, пропорційною кількості кадрів даної фази руху.

Вивчення взаємозв'язку часових характеристик кінематичної структури фізичної вправи становить інтерес для вирішення багатьох теоретичних проблем біомеханіки та для обґрунтування методики навчання спортивної техніки в обраному виді спорту. Хронограми фізичних вправ можна порівнювати зі зразковим виконанням, знаходити помилки в спортивній техніці та вдосконалювати процес навчання спортсменів.

Порядок виконання практичного завдання

1. Переглянути кіноплівку, кінограму чи кінематичну схему фізичної вправи (див. додаток № 1).
2. Розподілити вправи на рухові фази.
3. Скласти таблицю спостережень. Позначити назви фаз (див. додаток № 5).
4. Внести в третю графу таблиці номери кадрів, що відповідають кожній фазі окремо.
5. Записати кількість часових інтервалів у кожній фазі (Н).
6. Вирахувати тривалість кожної фази за формулою:

$$T = \frac{H}{12},$$

де Н – кількість часових інтервалів у кожній фазі.

7. Побудувати лінійну хронограму рухових фаз досліджуваної фізичної вправи, у якій відрізки прямої повинні відповідати кількості часових інтервалів (Н), тобто тривалості виконання рухових фаз (додаток № 6).
8. Побудувати кругову хронограму (додаток № 6), у якій довжина кола С повинна відповідати довжині лінійної хронограми, тобто кількості часових інтервалів (Н). Невідомим тут є радіус кола, який можна визначити за формулою: $C = 2\pi R$, звідки: $R = C/2\pi$

При побудові кругової хронограми можна використовувати кутовий масштаб, де «одиничний кут» розраховується за формулою:

$$\angle\varphi = \frac{360}{N},$$

N – загальна кількість часових інтервалів.

? Питання для контролю

1. Що таке хронограма фізичної вправи?
2. Поясніть, як побудувати лінійну хронограму.
3. Поясніть, як побудувати кругову хронограму.
4. Яке значення має дослідження часових характеристик руху для вивчення спортивної техніки?
5. Охарактеризуйте системи відліку часу.
6. Часові характеристики.
7. Дайте визначення поняття «момент часу».
8. Як визначається тривалість руху?
9. Що називається руховою фазою?
10. Що характеризують темп і ритм руху?

☝ Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 21-22.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 24-25; 156-158.

3. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 26-31, 205-210.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С. 18, 20-21.

5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С. 17-19

Лабораторне заняття № 4

Тема: Визначення лінійних швидкостей руху біоланок тіла спортсмена за біокінематичною схемою фізичної вправи.

Мета: Навчитися самостійно визначати швидкості точок біоланок тіла спортсмена за біокінематичною схемою.

Обладнання: 1. Біокінематична схема фізичної вправи.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, косинці, олівці та міліметровий папір.

Короткі теоретичні відомості

Швидкість руху великих біоланок тіла спортсмена є важливим показником, оскільки вказує на обсяг м'язового навантаження і може визначати характер участі окремих м'язових груп у досліджуваних рухових діях. У досліджуваному змінному русі розрізняють початкову ($V_о$), кінцеву ($V_к$) і миттєву ($V_м$) швидкості, а також середню, що визначається за формулою:

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

де S – весь шлях руху від початкового положення до кінцевого, Δt – тривалість руху.

Якщо на схемі виміряти відстань між першим і третім положенням шуканої точки й розділити на час проходження цієї відстані, то можна одержати миттєву швидкість точки в той момент, коли вона знаходилася в другому положенні. Отже, для одержання точних даних шляху рух за схемою вимірюється через одну точку, тобто між 1 і 3, 2 і 4 положеннями тощо. Після цього відстань між точками, виміряну за біокінематичною схемою, множать на розмір, зворотний масштабу схеми M). Масштаб визначають за формулою:

$$M = \frac{\ell}{L}$$, де ℓ – розмір на фотографії,
L – справжній розмір об'єкта.

Час проходження ділянки, що вимірюється, прямо пропорційний кількості інтервалів між точками (A) і обернено пропорційний частоті кінозйомки (B), тобто $\Delta t = A/B$.

Якщо об’єкт знімався зі швидкістю 12 кадрів за секунду, то на переміщення шуканої точки з першого положення в третє знадобилося 2/12 с. У результаті основна формула для визначення швидкості руху шуканої точки чи біоланки може мати такий вигляд:

$$V_м = \Delta S \frac{B}{M \cdot A}$$ або $V_м = \Delta S \cdot K$, де ΔS – відстань між точками,

K – коефіцієнт для розрахунку швидкості, $K = \frac{B}{M \cdot A}$

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. Переглянути біокінематичну схему (промір) фізичної вправи (додаток № 4).
2. Визначити траєкторії точок біоланок.
3. Підготувати таблиці для внесення даних (див. табл. 4.1, додатки № 7 і 8).

Таблиця 4.1

Результати виміру біомеханічних характеристик фізичної вправи

№ з/п	Шлях-відстань між точками ΔS, м	М	А	В	Швидкість точки, $V_{м,}$ м/с
1	2	3	4	5	6

4. За траєкторіями виміряти відстань між усіма точками, розташованими одна від одної на відстані 2 інтервалів (додаток № 4). Дані записати в графу таблиці навпроти номера пропущеної точки (додаток № 7,8).

5. Вирахувати коефіцієнт К для розрахунку швидкості.

6. Знайти швидкість шуканої точки в кожному проміжному положенні, помноживши цифрові дані графи 2 таблиці на К.

7. Результати розрахунків використати для креслення графіка швидкостей (додаток № 7,8).

8. Розрахувати середню швидкість двома способами:

а) знайти середнє арифметичне миттєвих швидкостей;

б) виміряти довжину всієї траєкторії та розділити на проміжок часу, що дорівнює тривалості руху.

? Питання для контролю

1. Розкрийте сутність таких понять, як «середня швидкість», «миттєва швидкість».
2. Який рух називають рівнозмінним?
3. Яка послідовність і хід роботи при визначенні лінійних швидкостей?
4. Охарактеризуйте просторово-часові характеристики.
5. Що таке швидкість точки і тіла?
6. Як визначити миттєву та середню швидкість точки за біокінематичною схемою?

Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 22.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 24-27; 159-170; 173-182.

3. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С.31-33, 184-189, 197-200.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.21.

5. Соколова О.В. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.20.

Лабораторне заняття № 5

Тема: Визначення лінійних прискорень точок біоланок тіла спортсмена за біокінематичною схемою фізичної вправи.

Мета: Навчитися визначати прискорення точок біоланок тіла спортсмена.

Обладнання: 1. Біокінематична схема фізичної вправи.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, косинець, олівці та міліметровий папір.

Короткі теоретичні відомості

При будь-якому виді руху всяка зміна швидкості біоланки чи його точки характеризується прискоренням. Величина, яка чисельно дорівнює зміні швидкості за одиницю часу, називається *прискоренням руху*. Прискорення руху можна визначити формулою:

$$a = \frac{V_к - V_o}{\Delta t}$$

Як і шлях, час, швидкість і прискорення є важливою біокінематичною характеристикою досліджуваної фізичної вправи. Водночас прискорення пов'язане не тільки з біокінематичними характеристиками, але і з динамікою руху людини

$$a = \frac{F}{m},$$ де F – прикладена сила, m – маса тіла

Враховуючи те, що в біомеханіці маса постійна, то за прискоренням можна зробити висновок про величину зусилля, яке прикладає спортсмен. Прискорення можна визначити, якщо відома швидкість точок біоланок або всього тіла за формулою:

$$a = \frac{\Delta V \cdot B}{A},$$

де ΔV – різниця швидкостей двох положень точки чи біоланки тіла;

B – частота кінозйомки;

A – кількість інтервалів між положенням шуканої точки чи біоланки на біокінематичній схемі.

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. Переглянути результати вимірів у таблиці до практичного заняття № 4 (див. додатки № 7 і 8).
2. Скласти таблиці для внесення результатів вимірів і подальшого визначення прискорення (див. табл. 5.1, додаток № 9).

Таблиця 5.1

Результати виміру біомеханічних характеристик фізичної вправи

№ точок	Швидкість точки $V_м$, м/с	Різниця ΔV, м/с	Прискорення точки a, м/с^2
1	2	3	4

3. У графу 2 таблиці 5.1 (додаток № 9) перенести результати практичної роботи № 4.
4. За даними попередньої роботи визначити різницю швидкостей.
5. Дані записати у відповідну графу таблиці (додаток № 9).
6. Обчислити прискорення, поділивши кожне значення у графі 3 (ΔV) на тривалість проміжку часу, за який відбувається зміна швидкості ($\Delta t = A/B$).
7. За отриманими даними побудувати графік прискорень: на осі У в довільному масштабі відкласти значення прискорення, на осі Х – номери положення кожної точки чи біоланки на траєкторії послідовно в часі (додаток № 10).

? Питання для контролю

1. Дайте визначення поняття «прискорення».
2. Поясніть, як визначити лінійне прискорення точок біоланок.
3. Яке прискорення точки називається позитивним, а яке негативним?
4. Охарактеризуйте біокінематичні пари й ланки.
5. Назвіть та охарактеризуйте ступені волі руху в біокінематичних ланцюгах.
6. Перелічіть види роботи м'язів.

Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 14-16, 23.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 24-27; 159-170; 173-182.

3. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін.. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С.34, 48-57, 190-200.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.21, 34-41.

5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С. 20, 33-39.

Лабораторне заняття № 6

Тема: Визначення кутової швидкості руху біоланок за біокінематичною схемою фізичної вправи.

Мета: Навчитися визначати кутову швидкість окремих біоланок і всього тіла спортсмена при обертальних рухах.

Обладнання: 1. Біокінематична схема фізичної вправи.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, циркулі, косинці, транспортири, олівці.

Короткі теоретичні відомості

Рух, при якому всі точки тіла описують коло відносно нерухомої осі (прямої, яка проходить через дві нерухомі точки тіла), називають *обертальним*. Кут, на який повертається біоланка чи тіло спортсмена при обертальному русі називають кутом повороту, або кутовим переміщенням $\Delta\varphi$. Одиницею кутового переміщення є радіан – центральний кут, довжина дуги якого дорівнює радіусу цієї дуги (1 рад. = 53,7°; ; 1° = 0,0175 рад.).

Кутова швидкість характеризується розміром кута, на який повертається тіло за одиницю часу. Модуль кутової швидкості в обертальному русі дорівнює відношенню кутового переміщення до тривалості переміщення.

$$W = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

В оцінці деяких гімнастичних вправ, як і в деяких інших видах спорту, швидкість обертання тіла спортсмена визначають кількістю обертів на перекладині за 1 хв. Залежність між кутовою швидкістю та частотою обертів виражається формулою $W = 2\pi\nu$, де ν – частота обертів.

Кутова швидкість визначається шляхом ділення кута повороту між двома сусідніми положеннями ($\Delta\varphi$) на часовий інтервал, за який змінилося положення.

$$W = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t},$$

$$\Delta t = \frac{A}{B}, \quad \text{де} \quad A - \text{кількість часових інтервалів між точками;}$$
$$B - \text{частота кінозйомки.}$$

$$W = \Delta\varphi \frac{B^* 0{,}0175}{A} = \Delta\varphi \cdot K \text{ (рад/с)}, \quad (1)$$

$$\text{де } K = \frac{B^*0{,}0175}{A}$$

Розмір лінійної швидкості прямо пропорційний відстані точки від осі обертання. Лінійну швидкість біоланок при відомій кутовій швидкості визначають за формулою:

$$V = W \cdot r, \text{ де } r - \text{радіус обертання}$$

При вивченні великого обертання на перекладині до уваги береться обертання всього тіла.

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. Переглянути біокінематичну схему фізичної вправи. Див. додаток № 11.

2. Скласти таблицю виміру кутових швидкостей (табл. 6.1, додаток № 12).

Таблиця 6.1

Результати виміру біомеханічних характеристик фізичної вправи

№ точок	Кут відхилення, ∠φ, град	Кутове переміщення Δφ, град	Кутова швидкість W, рад/с
1	2	3	4

3. Визначити на біокінематичній схемі центр обертання біоланки чи всього тіла спортсмена (додаток № 11).

4. Через центр обертання біоланки чи тіла спортсмена провести систему прямокутних декартових координат.

5. Транспортиром виміряти кути відхилення шуканої біоланки від координатної осі та записати дані в графу 2 таблиці (додаток № 12).

6. Кут, описаний шуканою точкою біоланки чи всього тіла спортсмена, визначити шляхом віднімання обмірюваних кутів. Дані записати в графу 3 таблиці.

7. За формулою (1) визначити кутову швидкість. Результати записати в графу 4 таблиці.

8. За даними графи 4 таблиці 6.1 (додаток № 12) через центр обертання в обраному масштабі на міліметровому папері накреслити систему полярних координат на площині. Для визначення полярних координат будь-якої точки досліджуваної біоланки чи тіла спортсмена встановлюють довільну числову вісь. На початку координат цієї осі вибирають точку О (полюс). Для визначення положення шуканої точки досить вказати два числа: R – полярний радіус (дорівнює відстані від цієї точки до полюса) і φ – кут повороту біоланки від полярної осі (полярний кут) (додаток № 13).

9. За даними графи 4 таблиці 6.1 на систему координат навпроти кожного номера положення шуканої точки на радіусі нанести значення кутових швидкостей в обраному масштабі (додаток № 13). Отримані точки з'єднати лінією, у результаті чого має утворитися полярна діаграма. Див. додаток № 11.

? Питання для контролю

1. Який рух називається обертальним?
2. Що таке кутова швидкість?
3. У яких одиницях вимірюється кутова швидкість?
4. Поясніть залежність між лінійною і кутовою швидкостями обертового тіла.
5. Як визначити кутову швидкість на біокінематичній схемі фізичної вправи?
6. Як побудувати полярну діаграму кутових швидкостей?

Література

1. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 24-27; 170-182.

2. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 35-36, 201-204.

3. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С. 19-20.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.18.

Лабораторне заняття № 7

Тема: Визначення кутового прискорення біоланок за біокінематичною схемою фізичної вправи.

Мета: Навчитися визначати кутове прискорення біоланок і всього тіла при обертальних рухах.

Обладнання: 1. Біокінематична схема фізичної вправи.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, олівці, косинці, транспортири.
3. Міліметровий папір.

Короткі теоретичні відомості

Однією з найважливіших біокінематичних характеристик обертального руху окремих ланок і всього тіла спортсмена є кутове прискорення. При змінному обертанні відношення збільшення кутової швидкості за визначений проміжок часу до його тривалості називається *кутовим прискоренням*, що визначається відношенням різниці кутових швидкостей у початковий і кінцевий моменти до проміжку часу між цими моментами:

$$\varepsilon = \frac{W - W_o}{\Delta t} \text{ рад/с}^2$$

$$\text{Дійсне прискорення } \varepsilon = \frac{dW}{dt},$$

де d – збільшення (відповідно до швидкості та часу)

Коли біоланка чи тіло спортсмена обертаються рівномірно й лінійні швидкості його точок постійні, вектори даних швидкостей, що відповідають дотичним до окружностей, змінюють напрямок. Характерним показником зміни цього напрямку швидкості є доцентрове прискорення ($a_{дц}$), що прямо пропорційне квадрату кутової швидкості даної точки тіла спортсмена та її радіуса обертання $a_{дц} = W^2 R$.

При обертанні тіла спортсмена зі змінною швидкістю змінюється не тільки її напрямок, але і модуль. При вивченні обертального руху показники кутового прискорення дозволяють виконати ряд завдань біодинаміки даної фізичної вправи, оскільки кутове прискорення входить в один із множників, що визначають момент обертання тіла. $M_{обр}$, що дорівнює моменту інерції j, помноженому на кутове прискорення $M_{обр} = j \cdot \varepsilon$

З урахуванням того, що кутові швидкості біоланок і точок тіла спортсмена були визначені за біокінематичною схемою раніше у попередній практичній роботі, формула для кутових прискорень має такий вигляд:

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta W \cdot B}{A},$$ де A – кількість часових інтервалів між точками

B – частота кінозйомки

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. У графу 2 таблиці 7.1 (додаток № 14) перенести результати практичної роботи № 6 (додаток № 12). Визначити різниці кутових швидкостей біоланок за даними графи 2 (додаток № 14). Із зазначеного нижче числа в таблиці (через один інтервал) розраховується вказана вище величина. Дані записати в графу 3 таблиці виміру кутових прискорень (табл. 7.1, додаток № 14).

Таблиця 7.1

Результати виміру біомеханічних характеристик фізичної вправи

№ точок	Кутова швидкість W, рад/с	Різниця кутових швидкостей ΔW, рад/с	Кутове прискорення ε, рад/с^2
1	2	3	4

2. Знайти прискорення шуканих біоланок або всього тіла спортсмена, для чого необхідно різниці кутових швидкостей, записані в графі 3, поділити на час:

$$\Delta t = \frac{A}{B}$$

Дані записати в графу 4 (додаток № 14).

3. Накреслити радіальний графік кутового прискорення (додаток № 15). За нуль береться місце перетину радіуса з окружністю. На відповідних положеннях точки шуканої біоланки вказують значення кутових прискорень: негативні – поза колом, позитивні – всередині. Після того як точки будуть з'єднані плавною лінією, на графіку утвориться радіальна діаграма кутового прискорення. Див. додаток № 11.

? Питання для контролю

1. Що являє собою кутове прискорення?
2. Поясніть, чому дорівнює сумарне лінійне прискорення обертового тіла.
3. Що таке момент обертання тіла?
4. Як виконується робота з визначення кутового прискорення?

☝ Література

1. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 24-27; 170-182.

2. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С.35-36.

3. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.9-20.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.18.

Лабораторне заняття № 8

Тема: Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним методом (додаванням сил ваги).

Мета: 1. Навчитися визначати центри тяжіння (ЦТ) біоланок тіла людини та загальні центри тяжіння (ЗЦТ) окремих біокінематичних пар.
2. На основі цього визначити положення загального центра тяжіння всього тіла (ЗЦТТ) спортсмена в обраній для вивчення позі.

Обладнання: 1. Фотограми пози спортсмена.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, олівці, косинці,а також зошит.

Короткі теоретичні відомості

Для біокінематичного вивчення раціональності спортивної техніки (в інерційній системі) велике значення має визначення загального центра тяжіння (ЗЦТТ) спортсмена. Поняття ЗЦТТ необхідне для визначення умов рівноваги в статичному положенні та при вивченні дії застосованих зовнішніх сил. Щоб визначити зв'язок сил з рухами, необхідно знати маси ланок та їх взаємне розташування. На досліджуваних фотограмах це можна визначити, знаючи відносну вагу ланок і положення їх центрів тяжіння.

Відносна вага ланки визначається у відсотках до ваги всього тіла.

Центр тяжіння ланки – це уявна точка, до якої докладена рівнодіюча сила тяжіння всіх частин ланки. ЦТ ланки визначається за анатомічними орієнтирами (голова, кисть) або за відстанню її від осі проксимального суглоба (за радіусом центра тяжіння), або за пропорцією (тулуб, стопа). Ці дані були визначені в дослідженнях О. Фішера і Н. Бернштейна (див. табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Відносна вага та розташування центрів тяжіння біоланок тіла

Назва ланки	Відносна вага (Р) у %	Розташування ЦТ біоланки
Голова	7	Над верхнім краєм зовнішнього слухового отвору
Тулуб	43	На лінії між серединами осей плечових і тазостегнових суглобів на відстані 0,44 від плечової осі

Плече	3	На відстані 0,47 від осі плечового суглоба
Передпліччя	2	На відстані 0,42 від осі ліктьового суглоба
Кисть	1	П'ястково-фаланговий суглоб 3-го пальця
Стегно	12	На відстані 0,44 від осі тазостегнового суглоба
Гомілка	5	На відстані 0,42 від осі колінного суглоба
Стопа	2	На лінії між п'ятковим бугром і 2-м пальцем на відстані 0,44 від п’яти

Отже, ЦТ окремої ланки на фотограмі буде на лінії, що з'єднує проєкції суглобів, у точці, визначеній шляхом множення довжини всієї ланки на вказаний у таблиці індекс (від проксимального суглоба) або в зазначених орієнтирах.

Рівнодіюча сили тяжіння біокінематичних пар, тобто загальний центр тяжіння, знаходиться на лінії, що з’єднує їх ЦТ і дорівнює сумі сил тяжіння ланок. ЦТ двох ланок буде розташований ближче до важчої ланки. Наприклад, ЗЦТ стегна й гомілки (див. рис. 8.1) розташований на лінії, що з'єднує їх ЦТ. Цю лінію варто розподілити на 17 частин, оскільки 12% -відносна вага стегна й 5% -відносна вага гомілки.

Точка ЗЦТ знаходиться біля 5-ї частини, починаючи від ЦТ стегна. За цим же принципом знаходять ЦТ інших біоланок у вказаній послідовності. Див. додаток № 16.

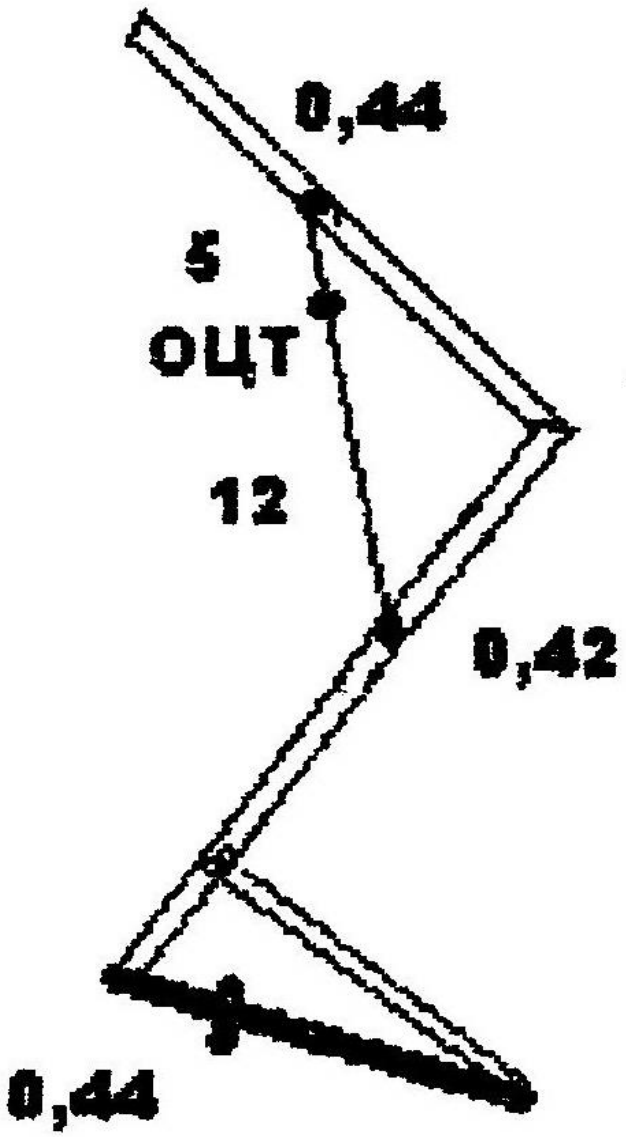


Рисунок 8.1 – Визначення ЗЦТ стегна й гомілки графічним методом (додаванням сил ваги)

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. Зробити фотографування й виконати в збільшеному масштабі фотограми пози спортсмена одночасно (двома апаратами) в сагітальній і фронтальній площинах або ж дослідити наявну фотограму (додаток № 1). Ознайомитися з таблицю відносної ваги й розташування центрів тяжіння ланок тіла.

2. Позначити на фотограмах положення проєкцій осей великих суглобів. Виміряти довжину кожної ланки, помножити на відповідне відносне значення

радіуса центра тяжіння й нанести точки, що відповідають центрам тяжіння всіх ланок (відраховуючи від проєкції проксимального суглоба).

3. Знайти рівнодіючі сили тяжіння біокінематичних пар: спочатку ЗЦТ плеча й передпліччя, потім – ЗЦТ отриманого значення та кисті (ЗЦТ усієї руки). В аналогічній послідовності визначити ЗЦТ усієї ноги. Якщо положення спортсмена не симетричне, то необхідно визначити ЗЦТ для всіх кінцівок окремо. При симетричному положенні в подальших розрахунках вага кінцівок подвоюється. Визначення ЦТ тулуба робиться на прямій лінії, що з'єднує плечовий і тазостегновий суглоби. Потім досліджується ЗЦТ голови й тулуба (50% ваги тіла), так само ЗЦТ усіх кінцівок – рук і ніг. Отримані дві точки необхідно з'єднати відрізками й розділити пополам (вага всіх кінцівок дорівнює половині ваги тіла). Це і є ЗЦТТ досліджуваного спортсмена (додаток № 17).

? Питання для контролю

1. Що таке момент інерції?
2. Чим визначаються інерційні властивості біоланок і всього тіла?
3. Поясніть, як визначити масу біоланки.
4. Де знаходиться і як визначити ЦТ біоланки?
5. Як визначити ЗЦТ двох біоланок?
6. Де знаходиться ЗЦТТ при основній стійці?
7. Де знаходиться ЗЦТТ при стійці «міст»?

☝ Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 23-24, 71-86.

2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 122-140; 186-188.

3. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 40-45, 92-93, 215-219.

4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С. 35-36.

5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.33-34.

Лабораторне заняття № 9

Тема: Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) аналітичним методом (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона).

Мета: Визначити положення загального центра тяжіння (ЗЦТТ) тіла спортсмена способом додавання моменту сил тяжіння.

Обладнання: 1. Фотограми пози спортсмена.
2. Вимірювальні прилади: лінійка, олівці, косинці, міліметровий папір.

Короткі теоретичні відомості

Загальний центр тяжіння тіла знаходиться в точці прикладених рівнодіючих усіх сил тяжіння, що діють на нього. Положення ЗЦТТ визначає умови рівноваги спортсмена або траєкторію його переміщення при виконанні динамічних фізичних вправ.

Визначення положення загального центра тяжіння тіла способом додавання моментів сил тяжіння базується на теоремі Варіньона: сума моментів сил відносно будь-якого центра дорівнює моменту суми цих сил (їх рівнодіючої) відносно того ж центра. Іншими словами, момент рівнодіючої сили відносно будь-якої довільно обраної осі дорівнює сумі моментів відповідних сил відносно тієї ж осі.

Як відомо, момент сили – це ступінь обертаючої дії сили на тіло. Він визначається шляхом множення сили на її плече. Виходячи з цього, можна визначити моменти сили всіх біоланок, оскільки з даних О. Фішера і Н. Бернштейна відома відносна вага (сила тяжіння) кожної біоланки й можна обчислити розташування ЦТ окремих ланок (див. табл. 9.1).

Плече сили буде дорівнювати відстані від ЦТ до будь-якої осі в довільно нанесеній на фотограму досліджуваного об'єкта системі координат. Усі розрахунки можна провести на фотограмі, але для зручності обчислення та контролю отримані дані можна подати у вигляді таблиці.

Загальний центр тяжіння тіла по осі – X розраховується за формулою Варіньона $P_{ТІЛА}X_{ЗЦТТ} = P_iX$, звідки:

$$X_{ЗЦТТ} = \frac{P_iX}{Pтіла}$$

Таблиця 9.1

Визначення положення загального центра тяжіння (ЗЦТТ) тіла аналітичним методом (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона)

№ з/п	Частини тіла (біоланка)	Віднос. вага біоланки в % (Р)	Абсциса ЦТ біоланки (Х), мм	Ордината ЦТ біоланки (Y), мм	Момент сил	
					P_iX	P_iY
1	Голова	7				
2	Тулуб	43				
3	Плече праве	3				
4	Плече ліве	3				
5	Передпліччя праве	2				
6	Передпліччя ліве	2				
7	Кисть права	1				
8	Кисть ліва	1				
9	Стегно праве	12				
10	Стегно ліве	12				
11	Гомілка права	5				
12	Гомілка ліва	5				
13	Стопа права	2				
14	Стопа ліва	2				
Все тіло (Р)		100			$\Sigma P_iX=$	$\Sigma P_iY=$

Так само визначається $Y_{ЗЦТТ}$. Якщо відносну вагу подати не у відсотках, а в сотих частках одиниці, то після складання моментів сил ділити їх на вагу не потрібно.

Прикладом для обчислення ЗЦТТ можуть стати розрахунки з визначення загального центра тяжіння верхньої кінцівки (див. табл. 9.2 і рис. 9.1).

Осі ОХ і ОУ обрані довільно, як і масштаб. Центри тяжіння окремих біоланок проставлені за принципом, описаним у попередньому занятті.

Для визначення ЗЦТ усієї руки аналітичним методом усі необхідні виміри представимо в таблиці:

Таблиця 9.2

Визначення положення загального центра тяжіння руки аналітичним методом (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона)

№ з/п	Частини тіла	Відносна вага в % (P_1)	Абсциса ЦВ ланки (X)	Ордината ЦВ ланки (Y)	Момент сили	
					P_1X	P_1Y
1	Плече	3	2	6	6	18
2	Передпліччя	2	5	3	10	6
3	Кисть	1	9	3	9	3
Уся рука (Р) = 6					$\Sigma P_1X=25$	$\Sigma P_1Y=2$

На основі теореми Варіньона можна записати таке рівняння:
$P\ X_{ЗЦТ} = P_1X$, звідки:

$$X_{ЗЦТ} = \frac{P_1X}{P}$$

Таке ж рівняння необхідно скласти і для значення $Y_{ЗЦТ}$.
Підставимо значення вимірів:

$$X_{ЗЦТ} = \frac{25}{6} = 4{,}1 \text{ мм} \qquad Y_{ЗЦТ} = \frac{27}{6} = 4{,}5 \text{ мм}$$

У точці перетину цих координат і знаходиться потрібне розташування загального центра тяжіння всієї руки, позначеного на рисунку 9.1.

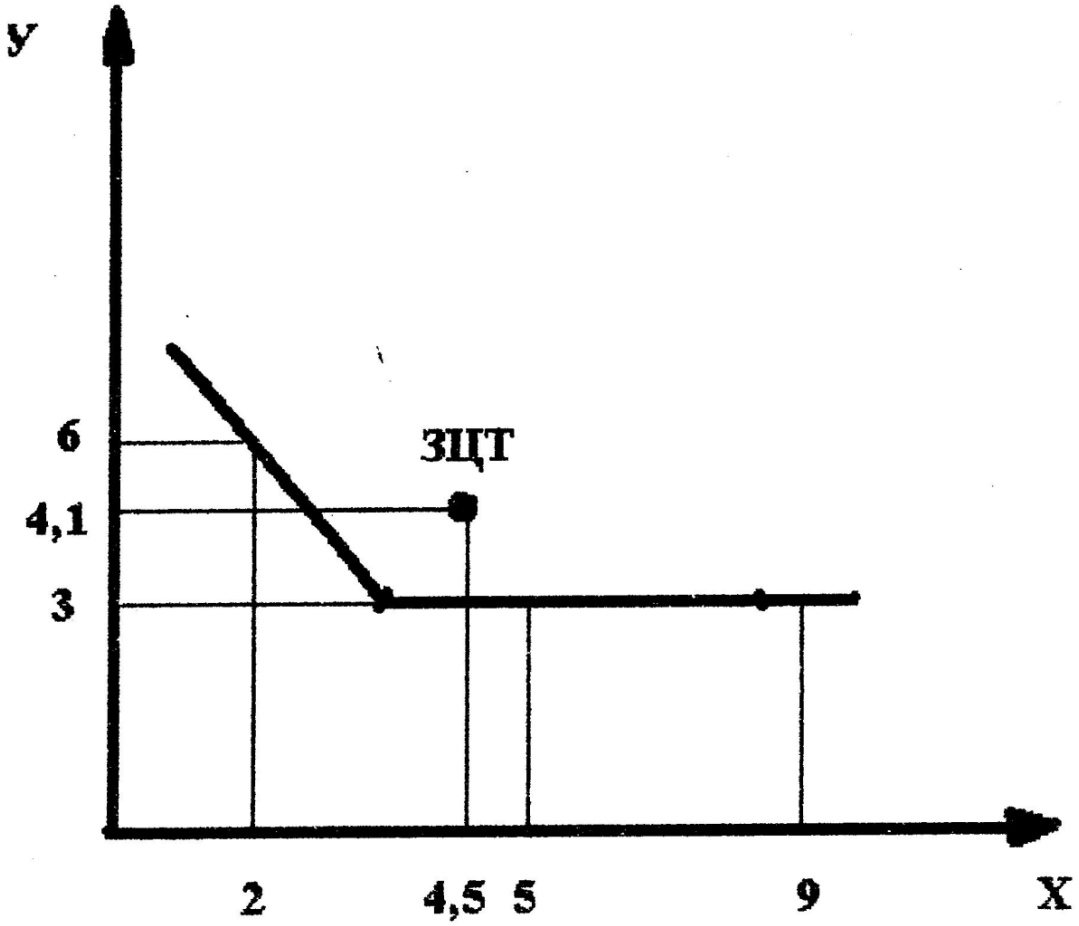


Рисунок 9.1 – Визначення загального центра тяжіння руки аналітичним методом (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона)

✍ Порядок виконання практичного завдання

1. На фотограмі пози спортсмена: а) відмітити положення проєкцій осей великих суглобів і знайти положення ЦТ усіх ланок; б) із довільного центра провести осі координат X і Y (див. додаток № 18).
2. Скласти таблицю розрахунку координат ЗЦТТ спортсмена в досліджуваній позі. Внести в неї значення відносних ваг окремих ланок. Обчислити координати ЦТ ланок і внести їх в таблицю. Розрахувати моменти сил тяжіння кожної ланки, додати моменти сил тяжіння (окремо по осі X і Y) і поділити на відносну вагу тіла. Див. додаток № 19.
3. Нанести на фотограму положення ЗЦТТ за знайденими координатами. Законспектувати в зошитах для практичних занять Сила і момент сили.

? Питання для контролю

1. Дайте визначення поняття «сила».
2. Розкрийте сутність поняття «момент сили».
3. Дайте визначення теореми Варіньона.
4. Який порядок визначення загального центра тяжіння тіла аналітичним методом?
5. Назвіть сили, прикладені до ланок людини.
6. Які ви знаєте сили дії середовища?
7. Поясніть роль сил в рухах людини.

☝ Література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. С. 25-27, 87-91.
2. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. С. 122-140; 182-186.
3. Біомеханіка спорту : підручник /Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. С. 40-45, 94, 211-214.
4. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. С.21-23.
5. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. С.20-22.

Питання для закріплення та актуалізації знань із дисципліни «Біомеханіка»

1. Структура аналізу рухової діяльності людини.
2. Тестування в біомеханіці.
3. Режими скорочення м’язів. Крива Хілла.
4. Стійкість. Біомеханіка стійкості.
5. Часові характеристики, взаємозв’язок тривалості та темпу рухів.
6. Біомеханічні якості м’язів.
7. Біомеханіка силових і швидкісних якостей. Взаємозв’язок цих рухових якостей.
8. Просторово-часові характеристики руху людини.
9. Взаємозв’язок біомеханіки з іншими науками.
10. Педагогічне оцінювання в біомеханіці. Форми шкал у педагогічному оцінюванні.
11. Просторові характеристики руху людини.
12. Групові взаємодії м’язів. Роль м’язів антагоністів у руховій діяльності.
13. Залежність рухових можливостей від тіло будови.
14. Кругова хронограма фізичної вправи.
15. Різновиди роботи м’язів.
16. Біомеханічні тренажери.
17. Ланки тіла як важелі. Різновиди важелів. Умови рівноваги важелів.
18. Кінематичні характеристики рухової діяльності людини.
19. Прогностична інформативність показників моторики. Ювенільний та дефінітивний вік.
20. Визначення кутової швидкості та кутового прискорення біоланок тіла людини за кінограмою фізичної вправи.
21. Геометрія мас тіла людини. Її кількісне відображення.
22. Методи реєстрації біомеханічних характеристик.
23. Функціональний та системно-структурний підходи до аналізу рухової діяльності.
24. Тестування рухових якостей.
25. Особливості біомеханічних характеристик поступового й обертового рухів.
26. Біомеханічні характеристики та їх класифікація.
27. Руховий вік. Акселерати й ретарданти.
28. Визначення лінійних швидкостей біоланок спортсмена за матеріалами кінозйомки.
29. Динамічні характеристики рухів людини.
30. Рухові переваги. Коефіцієнт латеральної переваги.

31. Кінематичні особливості рухів людини.
32. Зовнішні та внутрішні умови рухової діяльності людини.
33. Відносність механічного руху. Системи підрахунку відстані.
34. Момент інерції. Мас-інерційні характеристики.
35. Ланки тіла як важелі 1-го та 2-го роду. Умови рівноваги важелів.
36. Біомеханіка витривалості. Засоби підвищення витривалості.
37. Визначення загального центру тяжіння тіла графічним методом.
38. Просторово-часові характеристики.
39. Біокінематична схема (промір) Принцип її побудови.
40. Оптимізація рухової діяльності. Оптимальний варіант. Критерії оптимальності.
41. Автоматизація біомеханічного контролю.
42. Просторово-часові характеристики. Середня й миттєва швидкості.
43. Мета проведення аналізу часової структури фізичних вправ. Хронограма фізичної вправи.
44. Біомеханічний контроль як елемент системи комплексного контролю у фізичному вихованні та спортивно-оздоровчій діяльності.
45. Типи похибок при проведенні біомеханічного контролю.
46. Геометрія мас тіла людини. Мас-інерційні характеристики. Центр тяжіння та центр мас тіла людини.
47. Руховий апарат людини. Біокінематичні ланки й пари. Біомеханічна система.
48. Повна механічна робота при руховій діяльності людини.
49. Принцип визначення лінійної швидкості та прискорення ланок тіла людини за матеріалами кінозйомки.
50. Біокінематичні пари й ланцюги. Особливості закритих і відкритих ланцюгів.
51. Вікові зміни рухових можливостей.
52. Зовнішні та внутрішні сили, що впливають на напрямки та швидкість рухів людини.
53. Поняття про біомеханіку. Предмет і завдання біомеханіки.
54. Поступові та обертові рухи. Особливості біомеханічних характеристик поступового й обертового руху.
55. Метод аналітичного визначення загального центру тяжіння тіла (ЗЦТ) тіла (додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона).
56. Основні напрями біомеханіки: загальна, диференціальна, прикладна.
57. Точність вимірювання. Різновиди помилок.
58. Відносність механічного руху.
59. Динамічні характеристики руху людини.
60. Руховий апарат людини. Біокінематичні ланки й пари. Біомеханічна

система.

61. Енергетичні характеристики.
62. Біокінематична схема (промір) та її використання в біомеханіці.
63. Шкали вимірювань та одиниці вимірювань.
64. Динамічні характеристики руху людини.
65. Поступові та обертові рухи. Рівномірний, прискорений та рівноприскорений рух.
66. Просторові характеристики рухів людини.
67. Оптимізація рухової діяльності людини. Критерії оптимальності.
68. Хронограма фізичної вправи. Лінійна та кругова хронограма.
69. Часові характеристики.
70. Чинники, які визначають рухові можливості людини.
71. Сенситивні періоди розвитку рухових якостей і рухових навичок.
72. Особливості взаємодії процесів дозрівання та навчання.

Використана література

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. 124 с.

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

3. Біомеханіка спорту : підручник / Рибак О.Ю., Рибак Л. І., Виноградський Б.А. та ін. Львів : ЛДУФК ім. Івана Боберського, 2021. 268 с.

4. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. 320 с.

5. Вибрані лекції з біомеханіки : метод. посіб. для студентів ЛДУФК ім. І. Боберського / Рибак О.Ю., Рибак Л.І. Львів, 2017. 131 с.

6. Костюкевич В.М. Спортивна метрологія : навч. посіб. для студентів факультетів фізичного виховання пед. університетів. Вінниця : ДОВ «Вінниця» ВДПУ, 2001. 183 с.

7. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 99 с.

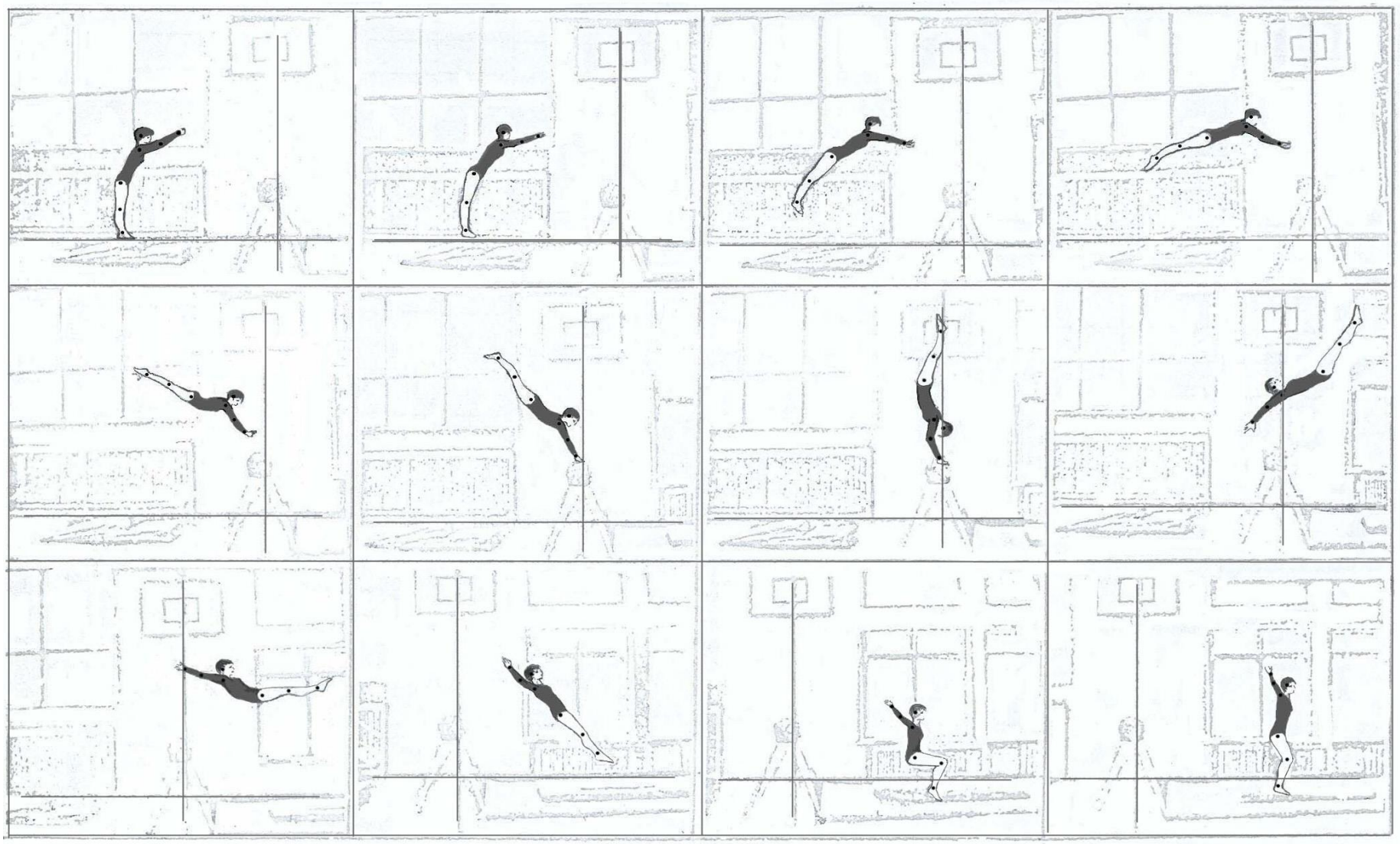
8. Соколова О.В., Омельяненко Г.А., Тищенко В.О. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2020. 96 с.

9. Соколова О.В. Біомеханіка : метод. рекомендації до практичних занять для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напрямів підготовки «Фізичне виховання», «Спорт», «Здоров’я людини». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2013. 55 с.

10. Хмельницька І.В. Біомеханічний відеокомп’ютерний аналіз спортивних рухів : метод. посіб. Київ : Наук. світ, 2002. 56 с.

11. Язловецький В.С., Бріжатий О.В. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Кіровоград : КДПУ, 2002. 191 с.

ДОДАТОК № 1



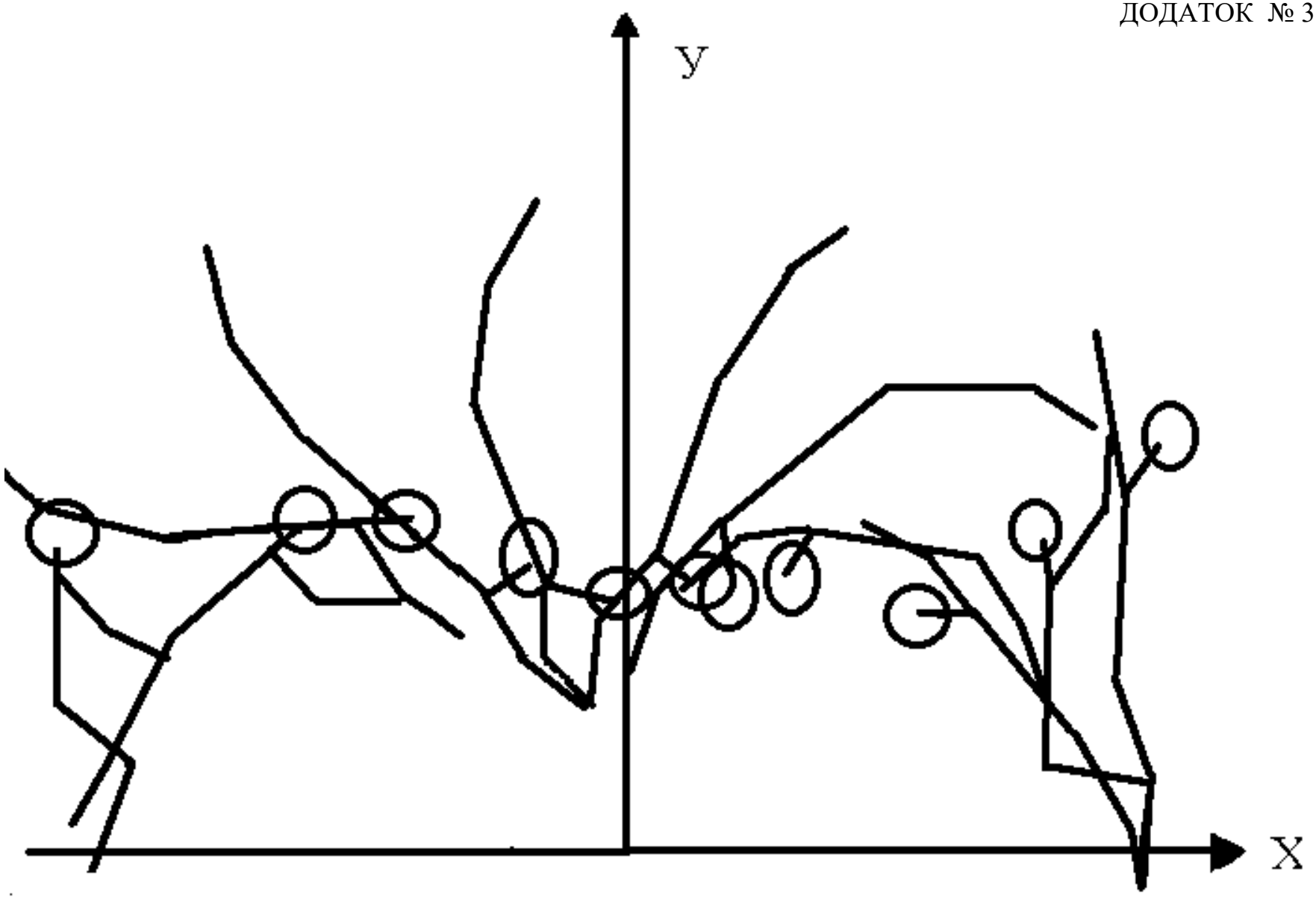
ДОДАТОК № 2

ТАБЛИЦЯ

координат точок даної фігури (системи на кінограмі)

№ з/п	Номери кадрів	ЦВ голови		Плечовий суглоб		Ліктьовий суглоб		Променевозап'ястний суглоб		Тазостегновий суглоб		Колінний суглоб		Гомілковостопний суглоб		ЦТ стопи	
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y

ДОДАТОК № 3



ДОДАТОК № 4

БІОКІНЕМАТИЧНА СХЕМА (ПРОМІР) ФІЗИЧНОЇ ВПРАВИ ЗА ДАНИМИ ТАБЛИЦІ КООРДИНАТ

ДОДАТОК № 5

ТАБЛИЦЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

№ з/п	Назви фаз	Номери кадрів	Кількість часових інтервалів	Тривалість фаз у секундах

ДОДАТОК № 6

ЛІНІЙНА ТА КРУГОВА ХРОНОГРАМИ РУХОВИХ ФАЗ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ФІЗИЧНОЇ ВПРАВИ

ДОДАТОК № 7

Результати виміру лінійних швидкостей руху

№ з/п	Шлях-відстань між точками ΔS, м	M	A	B	Швидкість точки, $V_{м,}$ м/с

Графік лінійних швидкостей руху

ДОДАТОК № 8

Результати виміру лінійних швидкостей руху

№ з/п	Шлях-відстань між точками ΔS, м	M	A	B	Швидкість точки, $V_{м,}$ м/с

Графік лінійних швидкостей руху

ДОДАТОК № 9

Результати виміру лінійних прискорень руху

_____

№ точок	Швидкість точки $V_м$, м/с	Різниця ΔV, м/с	Прискорення точки а, м/с^2

Результати виміру лінійних прискорень руху

_____

№ точок	Швидкість точки $V_м$, м/с	Різниця ΔV, м/с	Прискорення точки а, м/с^2

ДОДАТОК № 10

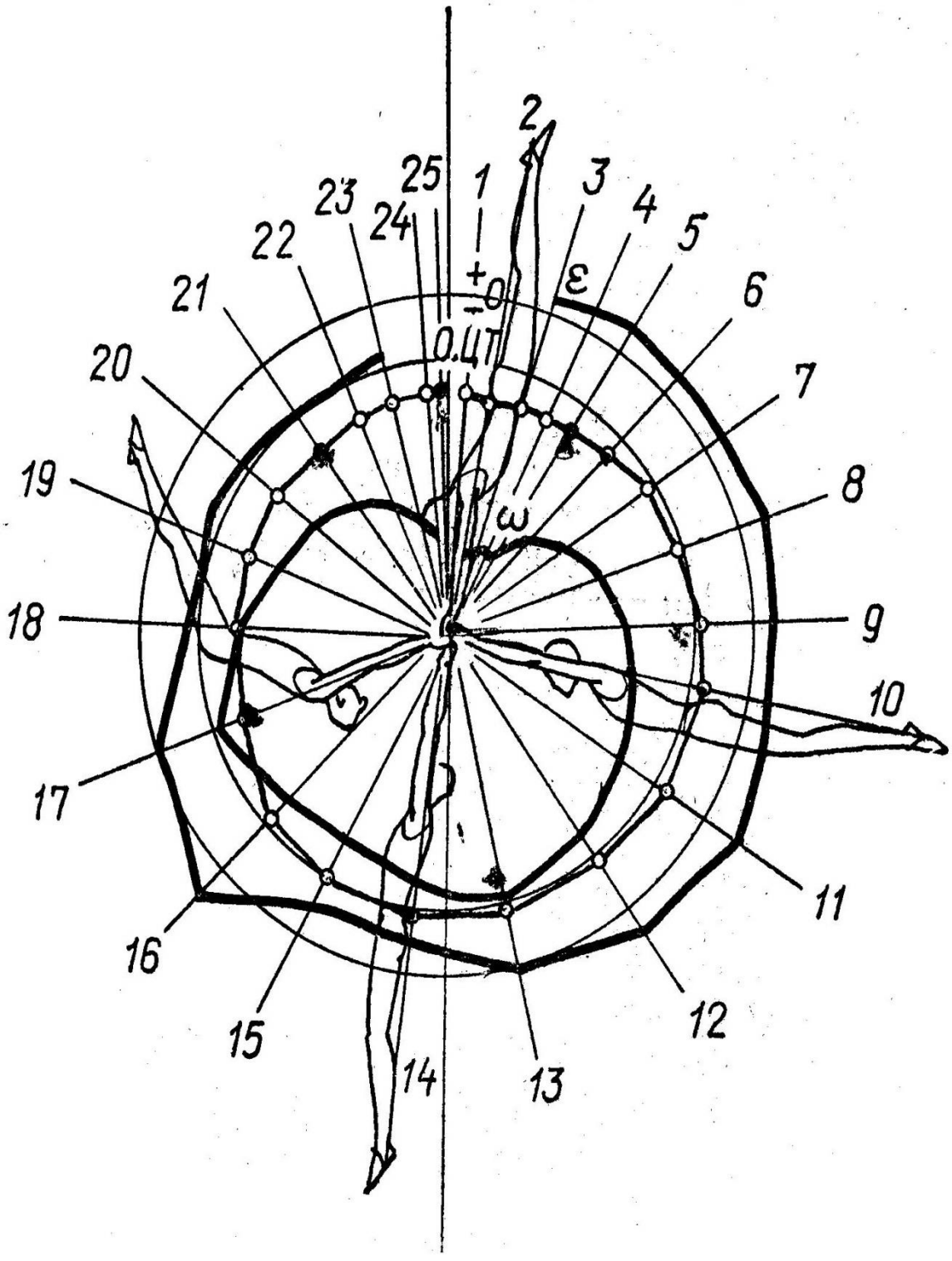
ГРАФІК
лінійних прискорень руху

_____

_____

ДОДАТОК № 11

КУТОВІ ГРАФІКИ:
ЗЦТ - положень загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ), W- кутової швидкості, ∑ - кутового прискорення



ДОДАТОК № 12

Результати виміру
кутової швидкості положень загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ)

№ точок	Кут відхилення, ∠φ, град	Кутове переміщення Δφ, град	Кутова швидкість W, рад/с

ДОДАТОК № 13

ГРАФІК
кутової швидкості положень загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ)

ДОДАТОК № 14

Результати виміру
кутового прискорення положень загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ)

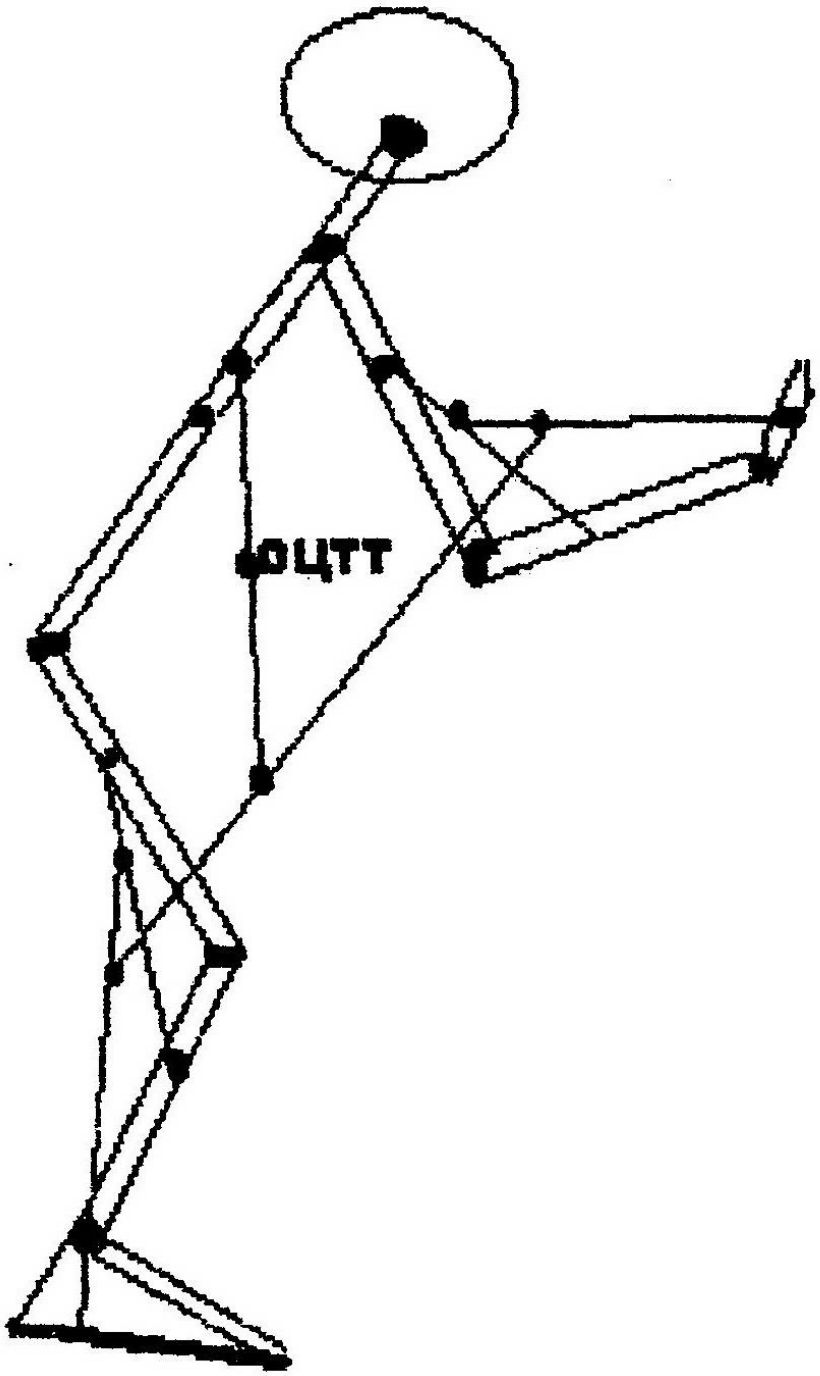
№ точок	Кутова швидкість W, рад/с	Різниця кутових швидкостей ΔW, рад/с	Кутове прискорення ε, рад/с^2

ДОДАТОК № 15

ГРАФІК
кутового прискорення положень загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ)

ДОДАТОК №16

Приклад визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним методом (додаванням сил ваги)

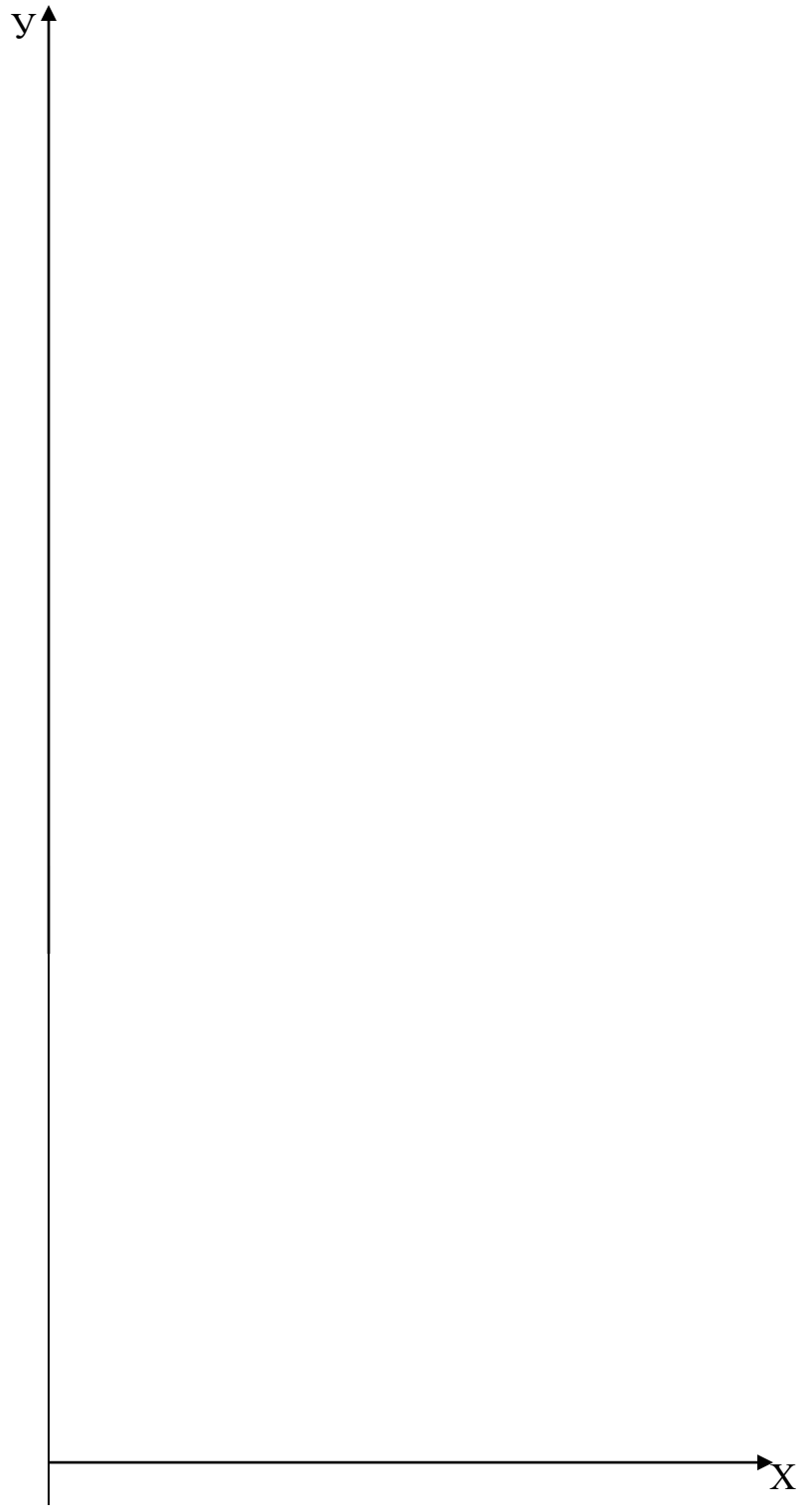


ДОДАТОК № 17

Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним методом (додаванням сил ваги)

ДОДАТОК № 18

Визначення положення загального центра тяжіння тіла (ЗЦТТ) аналітичним методом(додаванням моментів сил тяжіння за теоремою Варіньона)



ДОДАТОК № 19

Таблиця для визначення загального центра тяжіння тіла аналітичним методом

№ з/п	Частини тіла (біоланки)	Відносна вага біоланки у %	Абсолютна вага біоланки (Р), кг	Довжина біоланки, мм	Відстань від проксимального кінця до центра тяжіння біоланки, мм	Абсциса центра тяжіння біоланки (х), мм	Рj × хj, кг* мм	Ордината центра тяжіння ланки (у), мм	Рj × уj, кг* мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Голова	7							
2	Тулуб	43			(0,44)				
3	Плече праве	3			(0,47)				
4	Плече ліве	3			(0,47)				
5	Передпліччя праве	2			(0,42)				
6	Передпліччя ліве	2			(0,42)				
7	Кисть права	1			(0,5)				
8	Кисть ліва	1			(0,5)				
9	Стегно праве	12			(0,44)				
10	Стегно ліве	12			(0,44)				
11	Гомілка права	5			(0,42)				
12	Гомілка ліва	5			(0,42)				
13	Стопа права	2			(0,44)				
14	Стопа ліва	2			(0,44)				
15	Σ								

Х зцтт = ---------- У зцтт = ----------

Навчально-методичне видання

(*українською мовою*)

Соколова Ольга Валентинівна
Омельяненко Галина Анатоліївна
Тищенко Валерія Олексіївна

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Фізична культура і спорт»
освітньо-професійних програм «Фізичне виховання»,
«Спорт», «Фітнес та рекреація»

Рецензент *М.В. Маліков*
Відповідальний за випуск *А.П. Конох*
Коректор *О.В. Соколова*