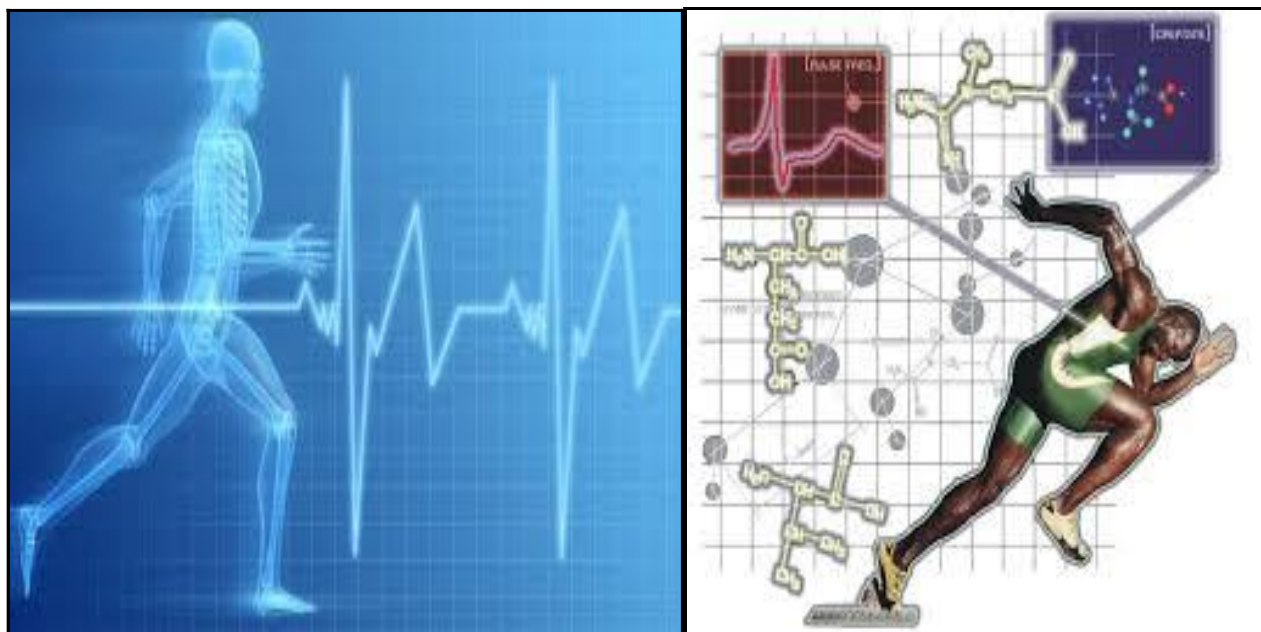




МЯГЧЕНКО О.П.

БІОМЕХАНІКА ЛЮДИНИ

**Підручник для студентів
факультетів фізичного виховання
вищих навчальних закладів
третього та четвертого рівнів акредитації**



**БЕРДЯНСЬК
2015**

Про автора



Мягченко Олександр Петрович, кандидат хімічних наук (доктор філософії в галузі хімії), закінчив фізико-математичний факультет Бердянського державного педагогічного інституту зі спеціальності «Математика», біологічний факультет Донецького державного університету зі спеціальності «Біологія», факультет управління зі спеціальності «Менеджмент організацій» Азовського регіонального інституту управління. Працював начальником науково-дослідницької лабораторії Бердянського виробничого об'єднання зі жнивварок. З 1990 року – доцент Бердянського державного педагогічного інституту, в якому з 1994 по 1996 роки завідував кафедрою природознавства, а з 2005 по 2011 роки кафедрою екології та природознавства. З 1996 по 2005 роки працював в Азовському регіональному інституті управління (м. Бердянськ) при Запорізькому державному університеті на посаді професора кафедри менеджменту готельного, туристичного сервісу. В 1997 році отримав вчене звання професора Міжнародної кадрової академії.

Відмінник народної освіти, має відзнаки Міністерства освіти і науки України “За наукові досягнення” та за розвиток вищої освіти нагороджений відзнакою ім. “Петро Могила”. Оpubліковано 240 наукових робіт, з них в галузі хімії комплексних сполук - 45, в тому числі 10 авторських свідоцтв про винаходи, в сфері екології 195 наукових публікацій, в тому числі 18 навчально-методичних посібників, з яких 7 мають гриф Міністерства освіти і науки України. Автор підручника “Основи екології” з грифом МОНУ та співавтор підручників «Екологія рідного краю» для 9 та 10 класів середньої школи. Автор 6 навчальних посібників з екології та безпеки життєдіяльності людини для студентів вищих навчальних закладів, які мають гриф Міністерства освіти і науки України.

В 1994 році обраний дійсним членом Нью-Йоркської академії наук (США), з 1995 року академік екології Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності (м. Санкт-Петербург, Росія). Працює в галузі екології Азовського моря, соціальної екології, а також хімічної екології, зокрема у сфері розробки хімічних протекторів на основі кремнійорганічних метилідів піридинію, імідазолу та піразолу для захисту культурних рослин від несприятливих екологічних факторів.

УДК 577.
ББК 20.1
М99

Рекомендовано вченими радами факультету фізичного виховання Бердянського державного педагогічного університету та міжнародного екологічного фонду «Азовське море» до друку і використанню студентами вищих навчальних закладів

Рецензенти:

Баштаник Петро Іванович – кандидат технічних наук, доцент Українського державного хіміко-технологічного університету

Кузьменко Микола Якович – професор Українського державного хіміко-технологічного університету, доктор хімічних наук

Кушнірюк Сергій Георгієвич - кандидат наук з фізичного виховання та спорту, професор , працівник фізичної культури і спорту України, олімпійський чемпіон

М99

Мягченко О.П.

Біомеханіка, 115 стор., 10,0 друк. арк., 7 рис, 8 табл., 22 літ. джерел.

Зміст навчального посібника “Основи екології” розрахований на один семестр, розкриває зв’язки з іншими науками, зокрема з фізикою, біологією, біохімією людини, безпекою життєдіяльності людини - навчальними дисциплінами, які складають основу сучасної екології та формує уявлення про загальну її структуру. Викладені теоретичні основи сучасної екології, її методи досліджень, наведена термінологія, основні поняття сучасної екології та існуючі тенденції у здійсненні заходів щодо збереження природи. Приділено значної уваги прикладній екології.

Запропонований підручник складається з теоретичної та практичної частин. Наведено 14 схем практичних робіт, які подані у Додатку 1, у додатку 2 подана інформація, необхідна для виконання практичних робіт. Підручник об’ємом 215 стор. складає 12,4 друкарських аркушів, містить 34 рис. та 28 табл., 17 літературних джерел. Після додатків наведені алфавітний та предметний покажчики, глосарій. Все це полегшує сприйняття курсу, сприяє засвоєнню теоретичного матеріалу і націлює студента на отримання високого рівня знань, потрібного у майбутній фаховій діяльності.

Бердянськ: Азовпринт 2016 р. - 215 с., 34 рис., 28 табл., 17 літер. джерел

↑ Мягченко О.П.

Редактор: Соколова Т.І.

	Стор
Передмова	3
Розділ 1. Теоретичні основи сучасної біомеханіки	9
1.1. Основи історії виникнення, розвитку біомеханіки людини	9
1.2. Біомеханіка як сучасна наука, її структура, значення у спорті	10
1.3. Сучасний етап розвитку біомеханіки	12
1.4. Біомеханіка як навчальна і наукова дисципліна про рухи	13
1.5. Напрями та зміст спортивної біомеханіки	15
Практична робота №1: “Історія виникнення та розвитку біомеханіки людини як сучасної прикладної науки”	17
1.6. Основні поняття, напрями та методи досліджень у сучасній біомеханіці	17
Практична робота №2: “Основні поняття, напрями та методи досліджень у сучасній біомеханіці	20
1.7. Апаратурні комплекси та вимірювальні пристрої, які використовуються у біомеханіці	21
1.7.1. Контактні та безконтактні методи	21
1.7.2. Електротензодинамографія	22
1.7.3. Стабілографія	23
1.7.4. Міотонографія	24
1.7.5. Електроміографія	24
1.8. Безконтактні методи досліджень і контролю за станом рухів	26
1.9. Основні сучасні методи досліджень у біомеханіці	28
1.9.1. Соматометрія або антропометрія	28
1.9.2. Фотограмметрія	28
1.9.3. Оптична комп’ютерна томографія	29
1.9.4. Кінезіологічні методи досліджень	29
1.9.5. Електромеханічні методи	30
1.9.6. Клініко-фізіологічні методи функціональної діагностики	31
1.9.7. Калориметрія як показник енергетичних функцій організму	31
1.9.8. Електроміографія	32
1.9.9. Клінічна біомеханіка	32
Практична робота № 3: “Основні сучасні методи досліджень рухів та вимірювання результатів дослідження біокінематичних характеристик”	36
1.10. Системи координат у біомеханічних характеристиках рухів людини	37
1.11. Основи біомеханічного аналізу	39
Практична робота № 4: “Роль біомеханічного аналізу у фізичних навантаженнях та реєстрації біокінематичних характеристик тіла людини”	41
1.11. Математичні методи обробки результатів досліджень у спортивній біомеханіці	41
1.12.1. Поняття про варіаційні ряди, їх властивості	43
1.12.2. Коефіцієнт кореляції	43
1.12.3. Довірчі інтервали та оцінка достовірності коефіцієнта кореляції	43
1.12.4. Квадратична та кубічна дисперсії	45
1.12.5. Оцінка достовірності вимірюваних значень	45
1.12.6. Алгоритм розрахунків коефіцієнта кореляції та коефіцієнтів прямої лінійної регресії	47
1.12.7. Планування досліджень	48
Практична робота № 5: «Математичні методи обробки результатів досліджень у спортивній біомеханіці»	49
1.13. Фізичні основи біомеханічних характеристик опорно-рухових функцій тіла людини	49
Практична робота № 6: «Вимірювання та обчислення об’єктивних показників стану організму людини»	52
1.13.1. Локомоторні рухи людини	52
1.13.2. Біомеханічні властивості кісток, суглобів	54
1.13.3. Методи визначення геометрії мас частин тіла людини	55
1.13.4. Аналітичні методи розрахунків геометрії мас частин тіла людини	58
Практична робота № 7: «Вимірювання та обчислення геометрії мас частин тіла людини та	

	експериментальні методи визначення загального центра мас тіла, його окремих біоланок»	
1.14.	Біомеханічні характеристики м'язів та їх механічні, біохімічні властивості	61
1.15.	Ланки тіла як важелі та маятники	64
1.16.	Біостатика тіла людини	67
1.17.	Кінематичні та динамічні характеристики рухів тіла людини	69
1.17.1.	Енергетичні характеристики рухів	72
1.17.2.	Кінематичні характеристики рідинних і газоподібних тіл	73
1.17.3.	Динамічні властивості рухів	74
1.17.3.1.	Динаміка ходьби та бігу	75
	Практична робота № 8: «Біостатика тіла людини, біодинаміка рухових дій, вимірювання фізичних, біокінематичних характеристик тіла та визначення основних характеристик організму як біомеханічної системи, зокрема кровоносної»	
1.18.	Рухи навколо вісів. Центр тяжіння тіла людини та його роль у рухах	76
	Практична робота № 9: «Визначення центра тяжіння та його ролі у рухах»	79
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ПРИКЛАДНОЇ БІОМЕХАНІКИ		80
2.1.	Роль біомеханіки у плануванні фізичних навантажень	80
2.2.	Поняття про біомеханічне моделювання рухів	82
2.2.1.	Визначення модельних характеристик спортсменів	84
2.2.2.	Класифікація осіб за рівнем спортивної обдарованості	85
2.2.3.	Біомеханічні основи побудови фізичних вправ	86
	Практична робота № 10: «Прикладна біомеханіка та її роль у плануванні фізичних навантажень, моделюванні рухів, біомеханічні основи побудови фізичних вправ»	91
2.3.	Кінематика ходьби та бігу. Топографія працюючих м'язів.	91
2.3.1.	Оптимізація ходьби та бігу	93
2.3.2.	Енергетика ходьби та бігу	94
2.4.	Біодинаміка пересування при педалюванні	95
2.4.1.	Біомеханічні, біохімічні особливості велоспорту	95
2.5.	Особливості рухів у водних видах спорту	96
2.5.1.	Морфологічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні	97
2.5.2.	Біохімічні особливості організму спортсменів плавців	99
2.6.	Біодинаміка пересування ковзанням на лижах	100
2.7.	Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам	101
2.8.	Біомеханічна структура фізичних вправ та енерговитрати спортсменів, їх харчування	105
	Практична робота № 11: «Кінематика ходьби та бігу. Біомеханічні особливості велоспорту та біодинаміка пересування на велосипеді, біомеханічні особливості плавання, ковзання на лижах».	
	Практична робота № 12: «Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам та енерговитрати спортсменів при різноманітних рухах»	
	Заключення	110
	Література	

3 ПЕРЕДМОВА

Зміст курсу “Біомеханіка людини” формує уявлення про загальну структуру сучасної науки “Біомеханіка” про рухи людини, зв’язки з іншими науками, які складають її основу – анатомія людини, фізіологія людини, біохімія людини, педагогіка, математичне моделювання, безпека життєдіяльності. У лекційному матеріалі викладені теоретичні основи сучасної біомеханіки, її термінологія, основні поняття, сучасні тенденції в здійсненні заходів щодо збереження біологічної сталості.

Мета курсу - надати сучасні уявлення, тривкі знання про структуру, властивості, закономірності розвитку вчення про біомеханічну активність людини.

Завдання курсу - сформувати уявлення про структуру сучасного вчення про біомеханіку як комплексну, інтегративну науку, основу якої складають біологічні, екологічні, математичні науки та ієрархію її рівнів, механізми її забезпечення, адаптацію людини до змін оточуючого середовища: соціально-екологічного – як результату конкуренції, неправильного відношення суспільства, кожної людини до природи, до власного організму.

Місце дисципліни. Курс “Біомеханіка людини” - комплексна, інтегративна наука, основу якої складають біологічні, медичні, екологічні, математичні науки. Такий підхід у викладанні матеріалу дає можливість сформувати у студента цілісне уявлення про досліджуваний об’єкт – рухальну активність людини, її частин тіла, їх зв’язки із зовнішнім - екологічним та внутрішнім середовищем.

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ «БІОМЕХАНІКА ЛЮДИНИ»

ВСТУП

Програма навчання нормативної навчальної дисципліни “БІОМЕХАНІКА” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів напрямку 6.030101 – фізичне виховання та 6.010203 – здоров’я людини

Розділ 1. Теоретичні основи сучасної біомеханіки.

Тема 1. Вступ в основи біомеханіки людини. Предмет і методи біомеханіки. Об’єкт вивчення, історія розвитку, завдання курсу, зв’язки з іншими науками, дисциплінами. Фізичні, хімічні основи процесів життєдіяльності. Значення біомеханічних навантажень у фізичній, спортивній діяльності. Роль простих, складних речовин в організмі у життєвих процесах. Біомеханічні основи життя. Особливості механічних рухів людини. Лабораторні методи біомеханічного аналізу, їх значення для визначення стану людини. Поняття про механічні рухи. Формування біомеханіки як сучасної науки, її структура, значення. Причини необхідності розвитку біомеханіки як сучасної науки. Розвиток біомеханіки спорту. Становлення теорії біомеханіки спорту та її значення у цьому П.Ф. Лесгафта, І.М. Сеченова, А.А. Ухтомського, М. А. Бернштейна.

Тема 2. Сучасний етап розвитку біомеханіки. Біомеханіка як навчальна і наукова дисципліна про рухи. Основні поняття, напрями та методи досліджень у сучасній біомеханіці. Біомеханічні методи дослідження у спорті: оптичні – кіно- та циклозйомка, механо-електричні методи, динамографічні – тензометрія, вектординамографія, спідографія та акселерографія; електроміографія. Основи математичного моделювання рухів. Апаратні комплекси та вимірювальні пристрої, які використовують у сучасній біомеханіці. Класифікація методів. Поняття про контактні та безконтактні пристрої, прилади, їх особливості. Контактні прилади: електротензодинамографія, міотонографія, електроміографія. Безконтактні пристрої: кіно-, фото, відеоапаратура, її особливості застосування у процесі контролю за станом рухів. Основні сучасні методи досліджень за біомеханічною активністю людини. Біомеханічні методи досліджень у спорті. Роль об’єктивних показників організму в його біомеханічних властивостях. Соматометрія або антропометрія. Фотограмметрія. Оптична комп’ютерна томографія. Кінезіологічні методи

досліджень. Електромеханічні методи. Клініко-фізіологічні методи функціональної діагностики. Калориметрія як показник неенергетичних функцій організму. Електроміографія. Клінічна біомеханіка.

Тема 3. Системи координат у біомеханічних характеристиках рухів людини та математичні методи обробки результатів досліджень у біомеханіці спорту. Причини необхідності використання координат, коротка історія їх застосування. Координати руху. Види координат. Просторові характеристики – координати тіла, точки – лінійні, кутові. Необхідність одночасного використання координат – прямокутних, полярних, сферичних для оцінки рухів, вирішення різноманітних просторових завдань. Роль координат у спортивній біомеханіці, їх практичне значення у спортивній та змагальній практиці. Поняття про варіаційні ряди, їх властивості. Коефіцієнт кореляції як міра тривалості звязків у системі та його оціночні результати достовірності. Довірчі інтервали та оцінка достовірності коефіцієнта кореляції. Квадратична та кубічна дисперсії. Оцінка достовірності виміряних значень. Алгоритм розрахунків коефіцієнта кореляції та коефіцієнтів прямолінійної регресії. Планування досліджень.

Тема 4. Біомеханічні, анатомічні, фізичні, біохімічні характеристики тіла людини та її рухів. Поняття про фізичний зміст кінематичних та динамічних характеристик рухів тіла людини. Кінематичні характеристики рухів. Системи обліку відстанів, часу. Поступальні та кутові рухи. Просторово-часові характеристики: момент часу, швидкість – середня та кутова, прискорення – лінійне, кутове, нормальне. Рух як результат зміни положення тіла у просторі та часі. Основні біокінематичні характеристики – траєкторії, форми рухів, час та шлях, швидкість, прискорення руху. Момент інерції тіла. Траєкторії рухів, їх види та фізичний зміст. Швидкість тіла, швидкість руху, миттєві швидкості, середня швидкість. Закони рухів та одиниці вимірювання. Характеристики рівномірного та рівнозмінного рухів. Миттєва швидкість. Прискорений та уповільнений рух. Обертальний рух. Характеристики обертального руху – кутова швидкість, доцентрове прискорення, прискорення відцентрове. Кутова та лінійна швидкості, прискорення. Тангенціальне, доцентрове та відцентрове прискорення. Рух тіла у полі тяжіння, його впливи на рухальну активність людини. Динамічні властивості рухів. Поняття про роботу, потужність, енергію. Рекуперація - відновлення механічної енергії під час руху. Енергетичні характеристики рухів – кінетична, потенційна енергії як характеристики стану тіла. Динамічні, інерційні характеристики рухів людини – маса, центр мас, момент інерції тіла, радіус інерції. Силкові характеристики – поняття сили, момент сили, імпульс сили, кінетичний момент. Енергетичні характеристики: робота сили, кінетична і потенціальна енергії, потужність, коефіцієнт дії. Кінематичні та динамічні характеристики рухів тіла людини. Впливи гравітаційного, магнітного, електромагнітного полів на людину, її здоров'я, фізичну активність. Поняття про медичні типи погоди, їх впливи на самопочуття людини.

Фізичний зміст кінематичних характеристик рідинних і газоподібних тіл у біомеханіці. Біомеханічні властивості кровоносною та дихальною систем. Динамічні властивості рухів. Динаміка ходьби та бігу. Кінематичні характеристики рідинних і газоподібних тіл. Фізичний зміст кінематичних характеристик рідинних і газоподібних тіл у біомеханіці. Поняття про гідро-, аеродинаміку рухів. Тиск. Поняття про пружність об'єма тіла. Закон Паскаля, закон Архімеда. Динамічні характеристики тіл. Закон Бернуллі, закон Торічеллі, закон та формула Стокса.

Тема 5. Будова і функції рухового апарату як біомеханічної, біохімічної системи рухів. Поняття про ступінь свободи рухів. Біодинаміка м'язів, їх властивості. Стан кровоносною системи як показник рухових можливостей організму. Біокінематичні ланки, їх сполучення – незамкнені, замкнені, розгалуженні. Ланки тіла як як ричаги та маятники. Біодинаміка м'язів, їх механічні властивості. Механіка м'язового скорочення. Вплив навантаження на механічні показники м'язового скорочення. Потужність, робота, енергія м'язового скорочення. Залежність енергопродукції м'язового скорочення від біомеханічних показників. Механічні, анатомічні, фізіологічні умови тяги м'язів. Функціональні групи м'язів. Синергізм і антагонізм у їх роботі. Біомеханічні системи опірно-рухового апарату. Енергетичне забезпечення рухів м'язів.

Тема 6. Локомоторні рухи людини та роль біомеханічних властивостей кісток і суглобів у локомоціях. Поняття про локомоторні рухи. Індивідуальні та групові особливості моторики.

Засоби контролю та самоконтролю в заняттях спортом. Система рухів та організація управління ними. Склад системи рухів – її елементи та підсистеми: просторові – елементарні та основні: часові – фази, періоди, цикли рухів. Рухальні характеристики: кінематичні, динамічні, інформаційні (сенсорні, ефекторні), узагальнені (фазові, ритмічні, координаційні) структури. Значення структур у системі рухів людини. Основні властивості м'язів та їх роль у біомеханічній активності людини. Пружність, твердість, жорсткість, міцність, релаксація. Біохімічні основи активності м'язів і кісток. Будова, властивості міокарда, його роль та значення у біомеханічній активності людини, зокрема фізичної працездатності. Причини руйнування міокарда та засоби запобігання. Біомеханічні характеристики м'язів та їх механічні, біохімічні властивості. Основні властивості м'язів, причини їх механічної активності. Роль актино-міозинових містків у біомеханічній активності м'язів. Залежність фізичної працездатності від біомеханічного стану м'язів, їх залежність від біохімічних процесів. Геометрія мас частин тіла людини.

Тема 7. Геометрія мас частин тіла людини. Опорно-руховий апарат людини як система кісткових важелів. Біокінематичні ланцюги та пари, їх будова та властивості, класифікація. Причини виникнення та формування теорії про геометрію мас частин тіла людини. Поняття про масу, її властивості. Центр мас, ваги, кількість руху, кінетичний момент. Голономні та неголономні системи. Поняття про стійкість тіла. Біодинамічні характеристики тіла, маси сегментів тіла. Обчислення маси сегментів тіла в залежності від його ваги та довжини. Аналітичні методи розрахунків геометрії мас частин тіла людини. Експериментальні методи визначення загального центра мас частин тіла та його біоланок. Ланки тіла як важелі та маятники. Фізичні характеристики ланок, важелів та маятників, їх роль в організмі людини. Важелі першого, другого та третього роду, їх функції. Поняття про ступені свободи

Тема 8. Біостатика тіла людини. Поняття про статику, як фізичний стан. Поняття про положення тіла та про позу як біомеханічні стани. Центр тяжіння тіла людини, його роль у рухах. Рух навколо вісів як криволінійний рух, його фізичний зміст і роль у біомеханічній активності тіла людини. Види рівноваги та їх фізичний зміст. Визначення центра тяжіння та його роль у рівновазі тіла. Кут стійкості, момент та коефіцієнт стійкості тіла. Визначення перекидного моменту як характеристики стійкості тіла. Загальний центр тяжіння, його значення, визначення. Теорема Варіньона для визначення ЗЦТ. Аналітичний або розрахунковий метод визначення загального центра тяжіння тіла людини. Визначення ЗЦТ за методом Фішера-Брауне, Базлера, Бернштейна.

Розділ 2. Основи прикладної біомеханіки.

Тема 9. Основи прикладної біомеханіки, її роль у плануванні досліджень, моделюванні рухів та розв'язанні рухових завдань. Поняття про прикладну біомеханіку, її досягнення та значення у спорті, фізичному вихованні. Зв'язки прикладної біомеханіки з технічними, прикладними науками, медичною практикою. Досягнення прикладної біомеханіки. Найважливіші напрями прикладної біомеханіки, які використовують у плануванні фізичних навантажень. Поняття про моделювання, зокрема біомеханічне, як систему та підсистему, надсистему рухів. Роль будови дії. Поняття про «Вхід» і «Вихід» у системі рухів, їх вплив на результативність рухових завдань. Інваріантність рухів. Роль теореми Еммі Нетер у принципах механіки, у моделюванні рухів. Визначення модельних характеристик спортсменів. Класифікація осіб за рівнем спортивної обдарованості. Фізіолого-біомеханічні характеристики спортивної обдарованості.

Тема 10. Біомеханічні основи побудови фізичних вправ. Кінематика ходьби та бігу як основа. фізичної вправи. Урахування топографії працюючих м'язів у розробці фізичної вправи. Енергетика ходьби та бігу як основа їх оптимізації. Біомеханічна класифікація фізичних вправ та їх ефективності при активних фізичних навантаженнях. Поняття про спортивну екологію, спортивний туризм як основні фактори покращання біомеханічного стану людини.

Тема 11. Біодинаміка пересування при педалюванні. Поняття про механічну будову велосипеда, його використання у спортивних змаганнях та як засобу пересування. Біомеханічні, біохімічні та анатомічні особливості велоспорту. **Особливості рухів у водних видах спорту.**

Види водного спорту, його відмінності від наземних видів. Морфологічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні. Біохімічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні. Біодинаміка пересування ковзанням на лижах і ковзанах. Лижі та ковзани, їх види та будова і як засоби пересування. Лижний та конькобіжний види спорту як основа зимових Олімпійських ігор. Особливості рухів при використанні лиж, ковзанів.

Тема 12. Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам. Біомеханічна структура фізичних вправ. Біомеханічні характеристики рухальних реакцій. Біомеханічна характеристика витривалості. Витривалість і способи її вимірювання. Стоннення та його біомеханічні, біохімічні причини. Біомеханічні основи економізації спортивної техніки. Особливості спортивної техніки у вправах, які вимагають великої витривалості. Енерговитрати спортсменів при їх навчанні рухам. Напрями розвитку систем рухів – інтеграція, диференціація, стабілізація та варіативність, стандартизація та індивідуалізація, довільність та автоматизм, фіксація та прогресування. Спортивна дія як система, якою управляють. Поняття про управління як систему. Управління та самоуправління. Зворотній зв'язок, його впливи на рухи. Прямі та зворотні зв'язки. Інформація, її склад і передача. Моделі системи рухів. Оптимізація управління рухами у спортивній техніці. Формування системи рухів та перебудова їх структур у процесі навчання і тренування. Спортивна дія як система якою управляють через: стан, поведінку. Мета управління, відхилення та корекція.

Орієнтовна модульна програма курсу
Тематика лекційних занять

№ з/п	Назви тем та їх анотований зміст	Кількість годин
№1	Поняття про біомеханіку людини, її сутність, історію виникнення та розвитку. Сучасний етап розвитку загальної біомеханіки як біомеханіки спорту.	2
2.	Основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки. Апаратурні комплекси та вимірювальні пристрої. Сучасні методи досліджень.	2
3.	Основи біомеханічного аналізу. Математичні методи обробки результатів досліджень.	2
4.	Фізичні основи біомеханічних властивостей опорно-рухового апарату людини.	2
5.	Основи геометрії мас тіла людини. Розрахунки геометрії мас частин тіла.	2
6.	Біомеханічні характеристики м'язів, їх механічні властивості. Ланки тіла як важелі та маятники.	2
7.	Біостатика тіла людини. Кінематичні та динамічні характеристики рухів людини, в тому числі рідинних і газоподібних тіл.	2
8.	Біодинаміка рухових дій. Динаміка ходьби та бігу. Рухи навколо вісів. Визначення центра тяжіння тіла, його значення у рухах людини.	2
9.	Основи прикладної біомеханіки, її роль у плануванні фізичних навантажень. Біомеханічні основи побудови фізичних вправ.	2
10.	Біодинаміка пересування при педалюванні. Біомеханічні, біохімічні особливості велоспорту.	2
11.	Морфологічні, біохімічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні.	2
12	Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам. Біомеханічна структура фізичних вправ. Енерговитрати спортсменів та їх харчування	2
	ВСЬОГО	24

Тематика практичних робіт

№ З/п	Назви тем та їх анотований зміст	Кіль- кість годин
№1	Поняття про біомеханіку людини, її сутність, історію виникнення та розвитку. Сучасний етап розвитку біомеханіки як біомеханіки спорту	2
2.	Основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки. Апаратурні комплекси та вимірювальні пристрої. Сучасні методи досліджень.	2
3.	Основи біомеханічного аналізу. Математичні методи обробки результатів досліджень. Фізичні основи біомеханічних властивостей опорно-рухового апарату людини.	4
4.	Основи геометрії мас тіла людини. Розрахунки геометрії мас частин тіла. Біомеханічні характеристики м'язів, їх механічні властивості. Ланки тіла як важелі та маятники.	2
5.	Біостатика тіла людини. Кінематичні та динамічні характеристики рухів людини, в тому числі рідинних і газоподібних тіл.	2
6.	Біодинаміка рухових дій. Динаміка ходьби та бігу. Рухи навколо вісів. Визначення центра тяжіння тіла, його значення у рухах людини.	2
7.	Основи прикладної біомеханіки, її роль у плануванні фізичних навантажень. Біомеханічні основи побудови фізичних вправ.	2
8.	Біодинаміка пересування при педалюванні. Біомеханічні, біохімічні особливості велоспорту.	2
9.	Морфологічні, біохімічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні.	2
10.	Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам. Біомеханічна структура фізичних вправ.	2
11.	Енерговитрати спортсменів та їх харчування	2
	ВСЬОГО	24

Орієнтовна тематика самостійної роботи студентів

№ з.п	Зміст самостійної роботи	Години
1	Історія виникнення та розвитку біомеханіки та сучасний етап її розвитку	2
2.	Сучасні апаратурні комплекси та вимірювальні пристрої., які використовують у методах досліджень біомеханічної активності людини	2
3.	Математичні методи обробки результатів біомеханічних досліджень	2
4.	Основи біомеханічного аналізу, його структура, значення	2
5.	Фізичні основи біомеханічних властивостей опорно-рухового апарату людини.	2
6.	Геометрія мас тіла людини та методи розрахунків геометрії мас частин тіла.	2
7.	Біомеханічні характеристики м'язів, їх механічні властивості. Ланки тіла як важелі та маятники.	2
8.		
9.		
10.		

11.	Поняття про біостатику тіла людини.	2
12.	Кінематичні та динамічні характеристики рухів людини, в тому числі	2
13.	рідинних і газоподібних тіл.	
14.	Основи прикладної біомеханіки, її роль у плануванні фізичних	2
15.	навантажень. Біомеханічні основи побудови фізичних вправ.	
16.	Біодинамічні особливості пересування при педалюванні.	2
17	Біомеханічні, біохімічні особливості велоспорту.	2
	Морфологічні, біохімічні особливості організму спортсменів, які спеціалізуються у плаванні.	2
	Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам.	2
	Біомеханічна структура фізичних вправ.	
	ВСЬОГО	34

В результаті вивчення дисципліни *студент повинен знати*: теоретичні основи сучасної біомеханіки людини, її термінологію, основні поняття, терміни, сучасні тенденції в здійсненні її розвитку, застосуванні у спортивній діяльності, фізичному вихованні.

Студент повинен уміти: застосовувати на практиці отримані знання, зокрема при проходженні педагогічної практики.

Структуру курсу “Біомеханіка людини” складають теоретичні та практичні частини – практичні роботи та довідкові матеріали, які необхідні для їх виконання. У додатках містяться матеріали для самостійної роботи – контрольні питання, модульні контрольні роботи. Все це полегшить сприйняття матеріалу. Важливими є практичні роботи, у процесі виконання яких студенти закріплюють отримані знання, знайомляться з різноманітними методами їх застосування.

Студент повинен опанувати теоретичний матеріал кожної теми курсу, виконати практичні, самостійні, контрольні та індивідуальні роботи, написати науково-реферативну роботу по одній з тем для самостійної роботи і захистити її.

За всі виконані роботи студент отримує бальні оцінки за кожний модуль – певний об’єм навчального матеріалу. В разі потреби студент може здавати екзамен і отримати оцінку в балах або за наступною національною шкалою:

Відповідність підсумкових семестрових бальних оцінок у національній шкалі. За міжнародною шкалою ECTS	За національною шкалою	За шкалою навчального закладу (як приклад)
A	Відмінно	90-100 балів
B	Добре	75-89 балів
C	Задовільно	60-74 бали
FX	Незадовільно з можливістю повторної перездачі	35-59 бали
F	Незадовільно з обов’язковим повторним курсом	1-34 бали

Виходячи з цих орієнтовних критеріїв, щоб отримати максимальний бал студент повинен набрати на аудиторних заняттях не менше 60 балів, з яких за рахунок виконання 12 тем практичних робіт бали – 36 балів (по 3 бали за кожну роботу). За усні або письмові відповіді на контрольні та тестові питання 24 бали – по 0,1 бали за кожну вірну відповідь на питання, яких в середньому 20 в кожній темі, а всього 12 тем. Отже – за виконані 12 практичних робіт – 36 бали, за контрольні роботи – 24 бали. Всього – 60. За відповіді при спілкуванні з викладачем, захист реферативних робіт – 10 балів. Інші 30 балів: загальна письмова підсумкова контрольна робота – 20 балів та тестова контрольна робота по одному з чотирьох варіантів для перевірки залишкових знань – 10 балів. Максимальний бал – 100. Викладач може застосовувати інші критерії оцінювання знань.

Автор вдячний рецензентам, всім хто надав корисні поради у викладенні матеріалу та виданні підручника.

Розділ 1. Теоретичні основи біомеханіки

1.1. Основи історії виникнення, розвитку біомеханіки

Механіка, як і біомеханіка - найдавніші галузі відповідно фізики та біології. Її витoki закладені роботами *Арістотеля, Галена, Леонардо да Вінчі, Бореллі*. Історія розвитку біомеханіки нерозривно пов'язана з історією техніки, фізики, біології та медицини, охороною праці, а також з історією фізичної культури і спорту. Досягнення цих наук визначили розвиток вчення про рух живих істот і передусім людини, без рухів якої неможлива її праця та безпека у будь якій трудовій діяльності. Тому вже в античні часи розпочали вивчення причин рухів людини, зокрема рабів як основної робочої сили, їх участі у спортивних змаганнях.

Біомеханіка - це сучасна комплексна інтегрована дисципліна, основу якої складають фізичні – механіка, динаміка, статика, гідродинаміка, аеродинаміка; біологічні – анатомія людини, фізіологія людини, біофізика; хімічні – біохімія людини; математичні науки – диференціальне, інтегральне обчислення, теорія вірогідностей, які використовують у біомеханіці спорту, інших науках. За їх допомогою досліджуються причини, процеси за якими виникає рух у живих об'єктах – клітинах, органах, живому тілі. Відомо, що рух – одна з основних ознак життя.

Сучасну біомеханіку не можна уявити без законів механіки, відкритих *Архімедом, Галілео Галілеєм, Ісааком Ньютоном, без Сеченова, Анохіна*, теорії рефлексів акад. Павлова, а в наш час і без сучасних комп'ютерних технологій.

Предмет вивчення біомеханіки, визначається її особливістю, специфічністю об'єкта пізнання - колом явищ і процесів, закономірність яких вивчають також інші науки - фізичні, біологічні, хімічні, соціальні. Отже, предметом вивчення біомеханіки є *рухальні можливості*, їх особливості у живому тілі, його частинах – внутрішніх органах, тканинах, клітинах, молекулах, атомах з яких вони складаються. *Предмет вивчення біомеханіки* – дослідження рухів тіла людини як єдиного цілого.

Об'єкт пізнання біомеханіки - рухові дії різноманітних частин тіла людини як системи, взаємно пов'язаних активних рухів і положень тіла, його частин. У тварин, людей рухаються не тільки частини тіла - органи опори і руху, а зміщуються, особливо при інтенсивних фізичних навантаженнях, внутрішні органи, рідини в судинах і порожнинах, повітря в дихальній системі. Але людина, на відміну від тварин, за *М. О. Бернштейном*, виконує не просто рухи, а завжди дії – сукупності осмислених рухів – результат рухів, що ведуть до певної мети, мають певний сенс. Тому людина виконує їх активно, цілеспрямовано, керуючи ними, причому всі рухи тісно взаємопов'язані і об'єднані у певні системи. Отже рух, *рухова дія* – надскладний психосоматичний процес, основу якого складають нейрохімічні, біофізичні та біохімічні реакції організму на різноманітні подразники – внутрішні та зовнішні, зокрема соціально-екологічного характеру.

Область дослідження біомеханіки - механічні та біологічні, біохімічні, психічні причини виникнення рухів і особливості їх виконання.

Рухи частин тіла людини представляють собою переміщення в просторі і часі, які виконуються в багатьох суглобах одночасно і послідовно. Рухи в суглобах за своєю формою і характером дуже різноманітні, вони залежать від дії безлічі прикладених сил. Всі рухи закономірно об'єднані в цілісні організовані дії, якими людина управляє за допомогою м'язів, в які поступають нервові імпульси. Оскільки людина виконує завжди осмислені дії, то її цікавить - як можна досягти мети, наскільки якісно і легко це виходить в даних умовах. Щоб результат був максимально ефективним і досягти його було найлегше, людина свідомо враховує і використовує умови, в яких треба діяти. Отже рух – це результат не тільки хімічних, біохімічних процесів, а й нервових – біоелектричних – психічних процесів. Через це біомеханіка людини суттєво відрізняється від біомеханіки тварин. Отже, сучасна біомеханіка вивчає також способи та умови виконання рухів, на які впливають як внутрішні, так і зовнішні фактори, наприклад погодні.

Ще *Арістотель* у своїй праці "Частини руху і переміщення тварин" заклав основи вчення про рухи, яке в подальшому, через 2300 років, назвали «Біомеханіка». У своїх наукових трактатах він описав тваринний світ і закономірності руху тварин і людини, охарактеризувавши частини тіла,

необхідні для переміщення в просторі (локомоції) – довільні та мимовільні рухи, мотивацію рухів тварин і людини, вплив опору навколишнього середовища, циклічність ходьби і бігу, здатність живих істот приводити себе в рух.

Певний внесок у розвиток біомеханіки зробив своїми 59 працями *Гіппократ* (460-356 роки до н.е.) – давньогрецький лікар античного часу, зокрема роботами «Вправление сочленений», «Раны головы», «Переломы». Він вважав, що на ефективність рухів впливають природні – кліматичні фактори, ставши засновником медичної географії.

Найвидатнішим вченим-медиком античного часу після *Гіппократа* є *Клавдій Гален* (131-201 рр. н. е.). Відповідно до світогляду того часу він розумів цілісність організму і писав: "У загальній сукупності частин, все знаходиться у взаємному порозумінні і ... все сприяє діяльності кожної з них". Вивчення нервів дозволило Галену зробити висновок про те, що вони за своїми функціональними особливостями діляться на три групи: 1) ті, що йдуть до органів почуття і виконують функцію сприйняття; 2) спрямовані до м'язів і викликають рухи; 3) йдуть до органів і охороняють їх від пошкодження. Основна його праця – «Про призначення частин людського тіла». Гален експериментально довів, що кінцівки поперемінно то згинаються внутрішніми, то розгинається зовнішніми м'язами. Аналізуючи їх функцію він, писав: "Задні волокна цих м'язів, що йдуть від сідничної кістки, зміцнюють ногу, напружуючи суглоб. Не менш сильно ця дія проводиться нижньою порцією волокон, що йдуть від лобкової кістки, до чого приєднується легкий обертальний рух всередину. Вище їх лежать волокна, які рухають стегно всередину точно також, як і верхні наводять і в той же час декілько піднімають стегно".

На розвиток біомеханіки в середині 15-16 століть мали істотний вплив дослідження *Леонардо да Вінчі* (1452-1519 р.р.), зокрема з теорії механізмів, тертя та інших питань. Вивчаючи функції органів, він розглядав тіло як зразок "природної механіки". Він першим описав ряд кісток та нервів, особливу увагу приділив проблемам порівняльної анатомії, прагнучи ввести експериментальний метод, крім фізики, і в біологію. Цей видатний художник, математик, механік, інженер першим висловив найважливішу для майбутньої біомеханіки думку: «Наука механіка тому настільки благородна і корисна більше всіх інших наук, що всі живі тіла, що мають здатність до руху, діють за її законами».

Його успіх як великого художника також чимало залежить від біомеханічної спрямованості його картин, в них детально промальована техніка руху. Його спостереження, важливі і в наші дні, а в середні 15-16 століття були революційними. Наприклад, його уявлення: "М'язи починаються і закінчуються завжди в дотичних кістках, і ніколи вони не починаються і не закінчуються на одній і тій же кістці, бо вони нічого не могли б рухати, хіба тільки самих себе". Він, безумовно, є засновником і *функціональної анатомії*, як складової частини біомеханіки. Він не тільки описав топографію м'язів, а й значення кожного м'яза для руху тіла.

1.2. Формування біомеханіки як сучасної науки, її структура, значення.

Засновником основ сучасної науки біомеханіки слід вважати італійського натураліста *Джованні Бореллі* - професор університетів у Мессіні (1649) та Пізі (1656). Крім робіт в галузі фізики, астрономії і фізіології, він розробляв питання анатомії і фізіології з позицій математики і механіки. Він показав, що рух кінцівок і частин тіла у людини і тварин при піднятті важких предметів, ходьбі, бігу, плаванні можна пояснити принципами механіки, першим витлумачив рух серця як м'язове скорочення, вивчаючи механіку руху грудної клітки, встановив пасивність розширення легенів. Найбільш відома його праця "Рух тварин" ("De Motu Animalium"), яка заснована на твердих біомеханічних принципах. У цій роботі він описав принципи м'язового скорочення і вперше представив математичні схеми руху. Він вперше використав біомеханічну модель для пояснення руху біомеханічної системи.

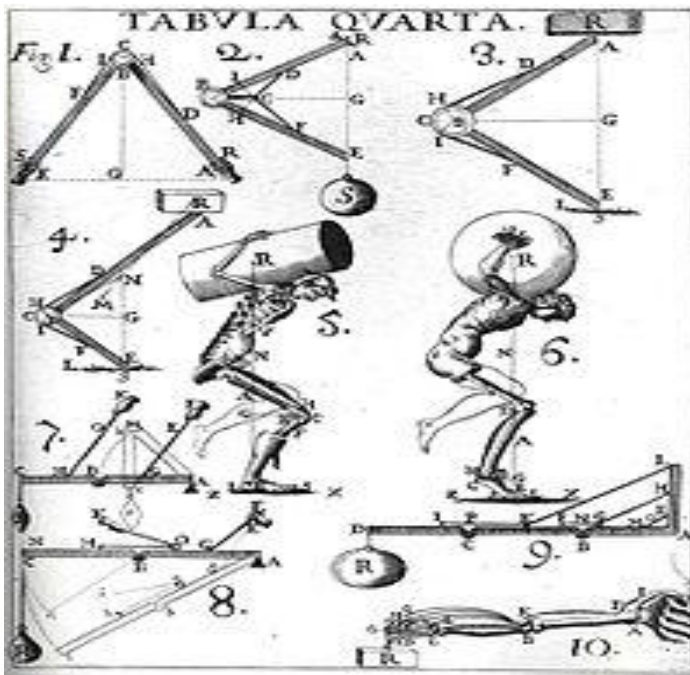


Рис. 1. Малюнок з книги Дж. Бореллі
“De motu animalium”

На рис. 1 з книги Дж. Бореллі «De motu animalium» (“Рухи тварин”) зображені системи важелів та схеми прикріплення м'язів при згинанні в суглобі і при розгинанні, скелетно-м'язова схема двох людей, які по різному утримують різний вантаж.

Новий поштовх розвитку біомеханіки надав французький фізіолог, винахідник і фотограф Етьєн Марей (1830 - 1904), застосувавши у 19 столітті метод кінофотозйомки для вивчення рухів людини. Так само вперше він застосував метод нанесення маркерів на тіло людини - прототип сучасної циклографії.

Важливою віхою в історії сучасної біомеханіки стали цикли фотографій Е. Майбриджа (1830-1904, США), знятих декількома камерами з різних точок. Серія фотографій ("Галопуючий кінь", 1887), показала надзвичайну красу пластики реальних рухів. З тих пір кінофотозйомка застосовується для аналізу рухів як один з основних методів дослідження біомеханіки.

Початок аналізу рухів людини поклали в Німеччині брати Вебер (1836). Перший тривимірний математичний аналіз людської ходи провели Вільгельм Браун та студент Отто Фішер в 1891 році. Методологія аналізу ходьби не змінилася до нашого часу. Крім того, Браун і Фішер першими почали вивчати масу, об'єм і центр мас тіла людини, провівши дослідження на трупах, і отримали дані, які тривалий час використовували як біомеханічний стандарт. Цим вони заснували розділ «Геометрія мас тіла людини». Ними був також запропонований метод визначення маси сегментів тіла і його об'єму, використовуючи занурення частин тіла у воду. Так були отримані дані вікових змін центрів мас тіла людини. Дослідження Брауна і Фішера поклали початок нового напрямку біомеханіки - біомеханіки ходьби, а період з другої половини XIX століття стали називати сторіччям ходьби.

Завданням біомеханіки є застосування результатів досліджень для подальшого розвитку розділів біології, фізики (механіки), професійної рухової дидактики (педагогіки), ергономіки, психомоторики, медицини, фізичної культури та спорту. Досягнення біомеханіки використовуються для медичної діагностики, створення замінників тканин і органів, для розробки методів та засобів, у тому числі тренажерів, призначених для розв'язання людиною складних рухових завдань, а також методів впливу на процеси у живих об'єктах, для створення методів аналізу та корекції природних, професійних (трудових) та спортивних рухів, для пізнання рухових можливостей людини і забезпечення оптимальних умов ефективного функціонування "людино-машинних" систем, при розробці методів захисту людини від несприятливих впливів механічних чинників зовнішнього середовища під час роботи в екстремальних умовах.

Таким чином, біомеханіка людини вивчає способи і умови виконання дій, рухів, засоби та методи оволодіння ними. Загальна задача вивчення рухів полягає в оцінці ефективності

докладання зусиль для досягнення поставленої мети. Будь-яке вивчення рухів, в кінцевому рахунку, спрямоване на те, щоб допомогти краще виконати певну дію. Біомеханіка досліджує, яким чином отримана механічна енергія руху і напруги може проявитися у робочому застосуванні.

Робочий ефект руху залежить від ефективності використання витраченої енергії. Для цього визначають, які сили характеризують корисну роботу, їх походження, місце прояву. Те ж саме повинно бути відомо про сили, які негативно впливають на рухи, знижуючи їх ефективність. Таке вивчення дає можливість зробити висновки про те, як підвищити ефективність дії, руху. При вирішенні загальної задачі біомеханіки виникають численні часткові (спеціальні) завдання, які не тільки передбачають безпосередню оцінку ефективності, але й впливають на результативність загальної задачі.

Важливим є *метод біомеханіки - системний аналіз і системний синтез рухів*, основу яких складають отримані кількісні характеристики, зокрема вимірювання частин тіла, його рухальних характеристик – швидкості, прискорення, силових показників руху, які складають основу кібернетичного моделювання рухів. *Біомеханіка* - наука експериментальна, емпірична, спирається на дослідне вивчення рухів. За допомогою приладів реєструються кількісні показники, наприклад траєкторії швидкості, прискорення, час виконання руху та інші фізичні характеристики, що дозволяють розрізняти рухи, порівнювати їх між собою. Розглядаючи такі характеристики, подумки можна розчленувати систему рухів на складові частини які встановлюють її склад. У цьому - суть системного аналізу біомеханічних властивостей м'язів.

Запитання для самоперевірки

1. Хто і в які часи заклав витoki біомеханіки?
2. Які закони, методи і завдання біомеханіки?
3. Що таке робочий ефект руху, від чого він залежить?
4. Яка роль Леонарда да Вінчі у розвитку біомеханіки?
5. Що таке метод біомеханіки, системний аналіз і системний синтез?

1.3. Новітній етап розвитку біомеханіки

Творцем теоретичної основи сучасної біомеханіки - вчення про рухову діяльність людини і тварин вважають радянського вченого - *Миколу Олександровича Бернштейна* (1896-1966). Він створив теорію багаторівневого *управління рухами*, у тому числі *локомоціями людини*, поклавши початок розвитку нових принципів розуміння життєдіяльності організму. Поставивши в центр уваги проблему активності організму по відношенню до середовища, Бернштейн об'єднав біомеханіку та нейрофізіологію в єдину науку *фізіологію рухів*. Поняття *М. А. Бернштейна* про рухові задачі як психічної основи дій людини відкрило шляхи вивчення вищих рівнів свідомості в руховій діяльності людини.

Зазнали докладного дослідження питання формування, будови та рішення рухових задач. Ці питання тісно пов'язані з будовою рухового апарата, складу дій як системи рухів. Ряд робіт Бернштейна присвячені вивченню динаміки м'язових сил і іннерваційної структури рухових актів. Він суттєво удосконалив техніку реєстрації та аналізу рухів, застосувавши нові методи - *кімоциклограмметрія*, *циклограмметрія*. Ідеї, які висловив *Бернштейн* у 30-х роках ХХ століття, передбачили основні положення розвитку *біокібернетики*. Він ввів чітке формулювання поняття про *зворотний зв'язок* в фізіології, а також про *порівневу організацію рухів*, про "*рефлекторне кільце*" у "*рефлекторній дузі*", засноване на трактуванні всієї системи відносин організму із середовищем як безперервного циклічного процесу.

У 1926 р. *М. А. Бернштейн* на основі результатів досліджень в біомеханічній лабораторії Центрального інституту праці видав труд "*Загальна біомеханіка*", як першої частини "*Основ вчення про рухи людини*". Важливо відзначити, що в підручнику "*Фізіологія людини*", виданому в 1946 р. під ред. *М. Е. Маршака*, було повністю представлено вчення Н. А. Бернштейна про координацію рухів, без якого неможливо і уявити сучасну біомеханіку, теорію праці та

спорту, *медичну біомеханіку*, яка є основою сучасних фізичних методів лікування, які застосовують в курортології, фізіотерапії.

В Україні розвиток біомеханіки відбувався під впливом ідей М. А. Бернштейна та його учня *Д.Д. Донського*, який у 1957 році видав спеціалізований підручник з біомеханіки, а в 1979 році він був перевиданий у співавторстві з *В.М. Заціорським*. Розвитку біомеханіки в Україні сприяло створення лабораторії біомеханіки у Київському державному інституті фізичної культури (КДІФК) та проведення у 1974 році першої Всесоюзної наукової конференції з біомеханіки. У 1981 році у КДІФК була створена перша в Україні кафедра біомеханіки, яку очолив *А.М. Лапутін*. Тепер такі кафедри плідно працюють у Львові, Харкові, Чернігові, Сумах. Це сприяло розвитку нового напрямку у вивченні рухів людини – виникла *«Дидактична біомеханіка»* та її прикладний напрям – *гравітаційне тренування*.

У 1996-1997 роках колектив кафедри біомеханіки Київського національного університету фізичного виховання і спорту (колишній КДІФК) взяв участь у спільному українсько-американському проєкті «Шатл-97», за яким відбувся політ першого українського космонавта на американському космічному кораблі «Шатл».

Сучасна біомеханіка - розділ природничих наук, що досліджує на основі механіко-інформаційних моделей і законів механіки - розділу сучасної фізики, механічні властивості живих тканин, окремих органів, їх систем, та організму в цілому, а також причини, від яких залежать механічні явища. Біомеханічні дослідження охоплюють різні рівні організації живої матерії: біологічні макромолекули – білки, жири, вуглеводи, РНК, ДНК, які складають основу клітин, тканин, органів, системи органів, а також цілі організми та їх спільноти.

Біомеханіка людини - наука комплексна, вона включає в себе найрізноманітніші знання інших наук, таких як: механіка та математика, функціональна анатомія і фізіологія, біохімія людини, вікова анатомія, педагогіка і теорія фізичної культури. Важливим розділом біомеханіки є *кінематика*, яка вивчає геометричні характеристики частин тіла, їх взаємозалежності, які впливають на виникнення руху.

Слід врахувати і те, що будь-який рух людини відбувається у певному середовищі, яке не завжди відповідає медико-екологічним вимогам. Тому біг у так званому “свіжому повітрі” біля потужних хімічних, металургійних підприємств, автомобільних трас з інтенсивним рухом може давати негативні результати – підвищується втрата, в організм потрапляють і накопичуються отруйні речовини, зокрема бензопірени, диоксини, які містяться в автомобільних, промислових викидах. Отже низька якість екологічного стану навколишнього середовища негативно впливає на біомеханічну активність людини, спортсмена.

Великого розвитку набула біомеханіка у фізичній культурі та спорті – *біомеханіка спорту*. У цій галузі більш наочно виявляються рухові можливості людини. *Біомеханіка фізичних вправ* вивчає рухові системи людини та її рухові акти - вправи під час занять фізичною культурою і спортом з метою забезпечити раціональні методи фізичного виховання населення і створити міцні наукові основи сучасної системи підготовки спортсменів високої кваліфікації.

Запитання для самоперевірки

1. Які науки складають основу сучасної біомеханіки?
2. Хто є засновником новітньої науки “Біомеханіка”?
3. Коли і чому виникла біомеханіка як наука і навчальна дисципліна?
4. Який вчений першим застосував термін “Біомеханіка”?
5. Яка область вивчення біомеханіки, що таке функціональна анатомія?
6. Який внесок Клавдія Галена, Леонарда да Вінчі у розвиток біомеханіки?

1.4. Біомеханіка як навчальна і наукова дисципліна про рухи

Рухи людини - одне з найскладніших явищ у світі. Вони складні не тільки тому, що в її руховій діяльності проявляються дуже непрості функції органів руху, але й тому, що в них відбивається її свідомість, як функція найбільш високоорганізованої матерії - мозку. Роль рухів у житті людини

виключно велика. Через рухи вона змінює навколишню природу. У процесі змін розвивається і організм людини, його свідомість. Навіть найпростіша форма руху матерії - механічна - через надзвичайну складність будови тіла людини та її функцій дуже не проста. До того ж додається складність взаємодії механічної форми з більш високими – хімічною, біологічною і навіть соціальною формами руху матерії.

У біологічній механіці (біомеханіка) вивчаються закономірності - як саме взаємодіють механічна та біологічна форми матерії, їх взаємодії, взаємовпливи. Рух живих істот як біологічне явище, може бути зрозумілим лише на основі вивчення нерозривного зв'язку біологічних і механічних закономірностей, зокрема силових характеристик. *Сила* – фізична величина, яка характеризує взаємодію тіл певної маси (m) у певному напрямі. Сила (F) – векторна величина, характеризується і величиною сили і напрямом її прояву: $F=ma$.

Сила здатна викликати або зупинити рух. Енергетичні системи забезпечують перетворення хімічної енергії в механічну, що проявляється у розвитку м'язами скорочувальної активності і, як наслідок, - прояв сили. Як правило, зовнішні сили опору перешкоджають досягненню успіху в спорті. Так, стрибун у висоту і з жердиною, по суті, змагаються з гравітацією. Гірськолижник - з опіром води і гравітацією. Істотно вплинути на спортивний результат можуть і сили тертя, як у випадку погіршення ковзання лиж при таненні снігу.

Найбільш значна сила, що діє на людину - сила земного тяжіння. Величина цієї сили залежить, в основному, від двох чинників. Перший - це відстань від тіла до центра Землі. Другий - маса тіла спортсмена, включаючи його одяг. Із збільшенням маси зростає і дія гравітаційної сили, тому для її подолання необхідно розвивати більші зусилля за рахунок м'язів. Сила земного тяжіння – це вага (P) тіла з масою (m), на яку діє прискорення земного тяжіння (g). Отже $P=mg$, вимірюється у кілограмах (кг), або у ньютонах (н), 1 кг сили відповідає 10Н, отже (1кг=10 н).

На поверхні планети існують території, де прискорення земного тяжіння може бути більшим або меншим – у залежності від будови, складу гірських порід, а отже сила тяжіння буде більшою, або меншою і треба прикласти більші, або менші зусилля для виконання певної вправи. Отже людина завжди працює проти сили гравітації.

Опір рідинного і газоподібного середовищ залежить від багатьох факторів. Одним з них є природа рідини (наприклад кров, лімфа) або газу (повітря). Усі спортивні вправи виконуються у повітряному або водному середовищі, і оскільки щільність повітря менше щільності води, то опір повітря також менше. Однак деякі зовнішні чинники можуть вплинути на щільність цих середовищ. На значних висотах над рівнем моря щільність повітря набагато менша, а значить його опір руху також менший. Оскільки з висотою знижується і сила тяжіння, то таке поєднання сприяє поліпшенню спортивних результатів. Наочний приклад - рекорд Боба Бімона у стрибках у довжину на Олімпійських іграх 1968 року в Мехіко. Мехіко розташований на висоті 2 300 метрів над рівнем моря, де сила гравітації менша за середню ($g=9,8 \text{ м/с}^2$).

Таким чином, для встановлення особистого рекорда спортсмен може брати участь у змаганнях, які проводяться у відповідних для цього умовах навколишнього середовища. Опір навколишнього середовища набуває особливого значення для спортсменів, які переміщуються з високою швидкістю. Опір повітря та води зростає не прямо пропорційно збільшенню швидкості руху спортсмена, а пропорційно квадрату швидкості. Таким чином, при збільшенні швидкості бігу в два рази з 5 м/с до 10 м/с опір повітря зростає в 4 рази. Це не означає, що спортсменові необхідно збільшити загальну енерговитрату в 4 рази, а слід мати на увазі, що зростаюча частина виробленого тепла організмом - енергії буде витрачатися на подолання зростаючого опору повітря. Хоча кількість цієї енергії і незначна при помірній швидкості бігу, однак при високих спринтерських швидкостях, як, наприклад, у велосипедному спорті або швидкісному бігу на ковзанах, цей чинник набуває надзвичайно важливого значення. Отже опір рідини або повітря є гальмівним фактором. Ці два види гальмування, взаємопов'язані зі швидкістю, мають важливе значення в спорті. Перший вид - гальмування, обумовлене площею перетину предмета, перпендикулярній силі, що впливає на площу тіла. Якщо висунути руку з вікна автомобіля, що рухається і поставити її ребром до зустрічного потоку, то тиск повітря на долоню буде не значним. Якщо ж долоню розгорнути на всю поверхню перпендикулярно руху потоку повітря, то сила

опору змусить прибрати руку з вікна. Цей простий приклад демонструє, як форма об'єкта може вплинути на опір повітрю або води.

Поверхнєве гальмування представляє собою другий вид опору, який залежить від розмірів і структури поверхні тіла. Як правило, чим більша і грубіша поверхня, тим сильніше гальмівний ефект. Такий опір можна знизити, зменшуючи площу поверхні рухомих тіл або конструктивно зменшуючи поверхнєве гальмування. Для цього створені, наприклад, спеціальні костюми для спринтерів бігунів і плавців, схожих на поверхню шкіри дельфіна. Ці проблеми вивчає *біоніка* – розділ біофізики, який досліджує проблеми копіювання відомих форм природних тіл, їх поверхонь, які використовують у практиці. Сила тертя залежить від двох чинників. Одним з них є маса одного тіла – предмета, яка діє на поверхню іншого. При цьому, чим більше маса (а точніше вага), тим вища сила тертя. Другим фактором, що впливає на силу тертя, є якість двох дотичних поверхонь: чим грубіші поверхні, тим сила тертя більша.

Механічні зусилля рук плавця і весляра, взаємозв'язки рухів ніг і рук у лижника-гонщика, стартових рухів легкоатлета-спринтера, послідовності рухів ніг і рук стрибуну у висоту під час виконання стрибка є прикладами, які можуть сприяти становленню більш ефективної техніки спортивних вправ. Так, наприклад, положення кисті та передплеччя у плавця в різних фазах гребка враховується для того, щоб забезпечити найбільш ефективну площу поверхні і кута під час гребка. Це дозволяє максимально використовувати прикладену силу і забезпечити оптимальний підйомний ефект. Крім технічних аспектів чималу роль відіграє маса і будова тіла. Організм людини складається з різних тканин, але з точки зору біомеханіки розглядаються тільки два основних компоненти - жирова і знежирена тканини - *м'язова маса*, яка приблизно на 70% складається з води. Таким чином, воду можна розглядати як третій компонент, який визначає масу тіла. Хоча певна кількість жиру необхідна для підтримки оптимального рівня здоров'я і нормального протікання фізіологічних процесів, та все ж його надлишок в організмі є, в кращому випадку, просто зайвим баластом. Так, наприклад, для марафонця, що має масу тіла 72 кг, щоб поліпшити результат у марафоні на 6 хвилин, необхідно схуднути на 5%, що еквівалентно втраті 3,6 кг жиру. Всі ці фактори вивчають *біоніка* та *біодинаміка* – досліджують залежність рухових факторів від стану організму, його геометричних характеристик.

Як самостійна наукова дисципліна *біомеханіка фізичних вправ* збагачує теорію фізичного виховання, досліджуючи одну із сторін фізичних вправ – техніку їх виконання. Разом з тим, біомеханіка фізичних вправ безпосередньо використовується в практиці фізичного виховання. Як *навчальний предмет* біомеханіка містить головні положення вчення про рухи, узагальнений і систематизований досвід вивчення загальних об'єктивних закономірностей. *Об'єкт пізнання біомеханіки* - рухові дії людини як системи взаємопов'язаних активних рухів і положень її тіла. Найчастіше, *об'єктом дослідження* цієї науки, є рухи тварин і людини, а також механічні явища в тканинах, органах і системах.

Завданнями спортивної біомеханіки є: вивчення особливостей техніки видатних спортсменів; визначення раціональної організації дій, рухів; розробка методичних прийомів освоєння рухів, методи технічного самоконтролю і вдосконалення техніки виконання рухів, фізичних вправ.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке рухи людини?
2. Що таке сила як фізичний фактор?
3. Під дією якої сили знаходиться людина, всі тіла?
4. Які сили навколишнього середовища набувають особливого значення у спорті?
5. Яку роль у рухах відіграють маса і будова, форма тіла?
6. Що таке біодинаміка, біоніка і як вони пов'язані з біомеханікою?
7. Що є об'єктом пізнання біомеханіки та які завдання спортивної біомеханіки?

1.5. Напрями та зміст спортивної біомеханіки (біомеханіка спортивних вправ)

Біомеханіка фізичних вправ складається з трьох основних розділів: загальна, диференціальна та прикладна або спеціальна, в яких виділяють найбільш важливі напрями.

Загальна біомеханіка вирішує теоретичні проблеми і допомагає дізнатися, як і чому людина рухається. Цей розділ біомеханіки дуже важливий для практики фізичного виховання і спорту, зокрема для розробки уроків з фізичного виховання, методик тренування спортсменів. Отже, теоретичні знання потрібні вчителю, викладачу з фізичного виховання, тренеру.

Диференціальна біомеханіка вивчає індивідуальні та групові особливості рухових можливостей і рухової діяльності людини. Вивчаються особливості, що залежать від віку, статі, стану здоров'я, рівня фізичної підготовленості, спортивної кваліфікації.

Прикладна або спеціальна біомеханіка розглядає конкретні питання технічної, тактичної підготовки в окремих видах спорту і різновидах масової фізкультури, в тому числі в *оздоровчому бігу і ходьбі, загальнорозвиваючих гімнастичних вправах, ритмічної гімнастики на суші - аеробіка і у воді - акваробіка*. Основне завдання цього розділу біомеханіки - навчити людину правильно виконувати різноманітні рухи, самостійно освоїти культуру рухів. Біомеханіка займає особливе положення серед наук у фізичному вихованні та спорті. Вона базується на анатомії, фізіології і фундаментальних наукових дисциплінах - фізиці (механіці), математики, теорії управління. Взаємодія біомеханіки з біохімією, психологією і естетикою дало життя новим науковим напрямкам, які, ледь виникли, приносять велику практичну користь, зокрема у спорті, безпеці праці, безпеці життєдіяльності людини.

Біомеханіка спорту вивчає рухові дії людини в процесі виконання фізичних вправ. Основними завданнями біомеханіки є: вивчення об'єктивних закономірностей і удосконалення рухових функцій людини, оптимізація її рухової діяльності на основі вимірювань та контролю її кількісних та якісних характеристик, розробки критеріїв ефективного управління станом її рухової функції. Тіло людини з біомеханічної точки зору у біостатистиці можна уявити як багатоланкову механічну систему, що складається з ряду ланок (кісток), котрі не деформуються. Ці ланки з'єднані за допомогою шарнірів (суглобів), в котрих діють суглобні моменти, що забезпечують жорсткість статичного положення усієї рухомої системи.

У сучасній біомеханіці інтенсивно розвиваються: *психобіомеханіка* - досліджує енергостатичні, естетичні аспекти та інші напрями сучасної біомеханіки; *інженерна біомеханіка*, яка є складовою частиною медико-біологічної науки протезобудування; *медична біомеханіка* - тісно пов'язана з *інженерною біомеханікою*; *біомеханіка трудових дій і виробничих поз* - складова частина науки «Ергономіка», яка є основою *гігієни праці*.

Теоретична біомеханіка - наука, заснована на застосуванні математичних методів і математичного апарату, зокрема кореляційних рівнянь, *регресійного аналізу* для прогнозування результатів фізичних навантажень.

Комп'ютерна біомеханіка - відгалуження теоретичної біомеханіки, де активно застосовується комп'ютерне моделювання або комп'ютерна біомеханіка. Цей напрям інтенсивно розвивається, поповнюючи теоретичну біомеханіку новими знаннями.

Театральна біомеханіка - термін ввів *В. Мейєрхольд* в режисерську і педагогічну практику на початку 1920-х років для позначення нової системи підготовки актора, яка мало відрізняється від спортивної. "Біомеханіка прагне експериментальним шляхом встановити закони руху актора на сценічному майданчику, опрацьовуючи на основі норм поведінки людини тренувальні вправи гри актора" писав він. Театральна біомеханіка у своїй теоретичній частині, з одного боку, спирається на психологічну концепцію, з іншого - за *У. Джемсом* (про первинність фізичної реакції по відношенню до емоційної реакції) - на рефлексологію *В. М. Бехтерева* та експерименти *І. П. Павлова*.

Дидактична біомеханіка - узагальнює досвід викладання рухів у різноманітних галузях професійної рухової активності людини, наприклад у виробничій, створює методології педагогічного процесу у спорті, викладанні фізичної культури. Біомеханіка за *Мейєрхольдом* тісно пов'язана з класичною біомеханікою, основи якої застосував *А.К. Гаст* у Центральному інституті праці, розділ якої можна вважати *прикладною біомеханікою*.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке біодинаміка, яка її роль у біомеханіці?
2. Охарактеризуйте найбільш важливі напрями сучасної біомеханіки
3. Які завдання спортивної біомеханіки та які її розділи інтенсивно розвиваються?
4. Які основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки, її основні завдання, розділи наукових досліджень?

Практична робота №1.

Тема: Історія виникнення і розвитку біомеханіки як сучасної прикладної науки.

Мета: засвоїти основні етапи виникнення і розвитку біомеханіки як сучасної науки

Обладнання: інформаційні дані про виникнення і розвиток біомеханіки як сучасної прикладної науки

1. Теоретична частина

1. Коли і чому почала формуватися і розвиватися біомеханіка?
2. Які вчені розвинули сучасну біомеханіку?
3. Які основні завдання новітньої біомеханіки?
4. Що є предметом і об'єктами пізнання, дослідження біомеханіки?
5. Охарактеризуйте основні розділи спортивної біомеханіки
6. Які інші напрями біомеханіки ви знаєте?
7. Що вивчає біомеханіка фізичних вправ?
8. Які найважливіші напрями досліджень та розділи сучасної біомеханіки?

2. Практична частина

Завдання 1. Складіть схему історії розвитку біомеханіки, вказавши вчених, які зробили великий внесок у її розвиток.

Завдання 2. Складіть схему структури сучасної біомеханіки, її поєднання з іншими науками.

Завдання 3. Скласти схему основних розділів новітньої біомеханіки, вказавши їх значення, сфери застосування.

Завдання 4. Охарактеризувати основні розділи, напрями сучасної біомеханіки

Завдання 5. Скласти схему розділів сучасної біомеханіки які інтенсивно розвиваються.

Зробіть висновки по кожному завданню.

1.6. Основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки

Механічний рух - це рух всієї біосистеми в цілому - організму, а також рух його окремих частин системи щодо один одного, викликаючи *деформацію системи*. Всі деформації в біосистемах, пов'язані з біологічними змінами, основу яких складають біохімічні процеси, які відіграють вирішальну роль в рухах тварин і людини. Це скорочення м'язів, деформація суглобів, кісток, зв'язок, фасцій, рухів у суглобах.

Важливим напрямком сучасної біомеханіки є *біомеханіка дихального апарату* - досліджується його еластичний і нееластичний опір, динаміка дихальних рухів, а також інші сторони діяльності дихального апарату в цілому і його частин - легенів, грудної клітки, кровоносної системи. Спорідненою частиною є *біомеханіка кровообігу* - вивчає пружні властивості судин і серця, гідравлічний опір судин току крові, поширення пружних коливань по судинній стінці, рух крові, роботу серця та інші аспекти.

Біомеханіка людини - складова частина прикладних наук, які вивчають рухи людини, їх причини і наслідки. Отже важливим поняттям є *рух. Система рухів* як ціле - не просто сума її складових частин. Частини системи об'єднані численними взаємозв'язками, що додають їй нові властивості, які не характерні для її окремих складових, тобто проявляються *системні властивості*. Необхідно знати такі системи та встановлювати спосіб взаємозв'язку частин у системі - її структуру. У цьому - суть системного синтезу. *Системний аналіз* (гр. – роз'єднання, розкладання) і *системний синтез* (гр. – складання, поєднання) нерозривно пов'язані один з одним,

вони взаємно доповнюються в системно-структурному дослідженні. При вивченні рухів у процесі розвитку системного аналізу і синтезу в останні роки все ширше застосовується метод *кібернетичного моделювання* - побудова керованих моделей (електронних, математичних, фізичних та ін.) рухів і моделей тіла людини.

Сучасну біомеханіку поділяють на: а) загальну, або теоретичну, що досліджує загальні закономірності всіх видів рухових дій (вивчає їх фізичну природу і характеризує її за допомогою формул), б) спеціальні розділи, які вивчають закономірності рухів окремих частин тіла, специфічних для фізичних вправ (у тому числі і спортивних), праці, реабілітації (в даному випадку - відновлення порушених функцій).

Отже *завдання сучасної біомеханіки* – втілення на практиці, у житті результатів досліджень - створення приладів, обладнання, необхідних для задоволення потреб людини. У цьому практичне або *прикладне значення сучасної біомеханіки*. Як писав акад. А. А. Ухтомський біомеханіка досліджує, «яким чином отримана механічна енергія руху і напруги може придбати робоче застосування». Робочий ефект руху вимірюється тим, як використовується витрачена енергія, які сили здійснюють корисну роботу, які вони за походженням, коли і де прикладені, тобто рухи залежать від *умови діяльності*, які поділяються на *зовнішні* – природно-кліматичні, *внутрішні* – власного організму.

До зовнішніх відносяться всі фактори, пов'язані із зовнішнім оточенням, зокрема з екологічним, соціальним, в якому людина здійснює свою діяльність за допомогою рухів. До внутрішніх умов діяльності відносяться: рівень підготовленості рухового апарату людини, ступінь працездатності під час виконання рухів та інші фактори, зокрема статеві, вікові. Для вирішення кожного з названих часткових або спеціальних завдань в біомеханічному дослідженні виділяють ряд ще більш вузьких питань, які підлягають детальному вивченню за допомогою методів фізичних, хімічних, біологічних, соціальних наук.

Найважливішими *напрямами наукових досліджень* у сучасній біомеханіці є:

- 1) вивчення механічних якостей та структури клітин, біологічних рідин, м'яких і твердих тканин, властивості яких досліджує *біореологія*, окремих органів і систем;
- 2) вивчення руху біологічних рідин, зокрема крові та лімфи, тепло- і масопереносу, напружень та деформацій у клітинах, тканинах та органах;
- 3) вивчення механіки руху клітини та субклітинних структур (мембрани, цитоплазми, тощо), включаючи мітотичні рухи, фагоцитоз, везикулярний транспорт;
- 4) вивчення механіки опорно-рухового апарату (скелета, м'язів) людини та тварин;
- 5) вивчення природних локомоцій людини та тварин (плавання, політ, наземні пересування), а також маніпуляційних рухів людини;
- 6) вивчення фізичних основ, механізмів та виявлень управління (регуляції) у біологічних системах;
- 7) дослідження фізичних основ психомоторики та закономірностей формування у людини і тварин складних рухових навичок та заданих моделей рухів і рухових дій;
- 8) вивчення рухової діяльності операторів "людино-машинних" систем з їх раціоналізації, щоб оптимізувати та підвищити ефективність рухів;
- 9) дослідження різних проявів рухової активності та здібностей людини до розв'язання складних рухових завдань в екстремальних умовах (в орбітальних польотах, у відкритому космосі, у стратосфері, під водою, за умов наднизьких та надвисоких температур);
- 10) розробка технологій і засобів (на основі фізичних методів) для дослідження якостей та явищ у живих системах для спрямованого впливу на них та їх захисту від впливу зовнішніх чинників;
- 11) створення штучних замінників органів і тканин (переважно для потреб медицини);
- 12) розробка моделей ефективного розв'язання людиною складних рухових завдань у різних сферах діяльності, наприклад професійній (трудовій), військовій, космічній практиці, у мистецтві, фізичному вихованні та спорті;
- 13) розробка методик і технологій ефективного навчання людини рухів та різних способів розв'язання складних рухових завдань;

14) розробка технічних засобів (тренажерів) та іншого спорядження (у тому числі медичного обладнання та спортивного інвентаря), призначеного для відновлення тимчасово втрачених функцій, а також для розширення й удосконалення рухових можливостей людини.

Отже, рухова функція - одна з найважливіших функцій організму людини. Стан рухової функції відбиває здатність конкретної біологічної системи уловлювати, накопичувати та перетворювати різні види енергії, речовин та інформації. Ця здатність вимірюється та вивчається шляхом об'єктивного дослідження механічних рухів та інших фізичних проявів біологічної системи організму. Тому важливими є терміни, які характеризують рухову функцію.

Адаптація - механізм пристосування прояву рухової функції, що забезпечує гомеостазіс організму людини, зокрема через зворотний зв'язок.

Біомеханічні характеристики рухів людини - це міри зміни механічного стану рухової функції людини на рівні всього організму або його частини, матеріальної точки чи систем матеріальних точок.

Витривалість - це така рухова якість людини, яка може виявлятися нею на протязі визначеного часу при регламентації заданих біомеханічних характеристик рухових дій.

Втома - зниження рухової активності та рухових можливостей людини, що викликано таким проявом рухових функцій, які перевищують потенціал організму в даний час.

Гомеостазіс - стан рухової функції, що забезпечує сталість внутрішнього середовища організму в умовах його активної та динамічної взаємодії з зовнішнім середовищем.

Зворотний зв'язок - механізм інформаційного забезпечення системи управління адаптації організму в середовищі його прояву через механічні рухи.

Кінезіотерапія - один з напрямів прикладної біомеханіки, основу якої складає специфічний метод спрямованого регулювання гравітаційних взаємодій організму людини та середовища, метою якого є профілактика та лікування хвороб, а також реабілітація тимчасово втрачених властивостей різних функцій, засобами цього є недовільні рухи (пасивна кінезіотерапія).

Метод навчання - засіб реалізації дидактичних принципів, засіб діяльності педагога-тренера та адекватна йому рухова діяльність спортсменів, це визначена форма теоретичного та практичного оволодіння руховими діями, що виходять з фізичного та духовного розвитку особистості.

Механічні рухи - зміна положення тіла (матеріальної точки чи системи його матеріальних точок) з плином часу відносно інших тіл, систем відліку. Під рухом розуміють різноманітні зміни в організмі, а також зміну його станів, які є результатом рухових здібностей та рухових можливостей.

Моторика - сукупність (система) рухових здібностей та рухових можливостей людини.

Об'єкт фізичного виховання - учень, спортсмен.

Реабілітація - процес відновлення властивостей рухової функції засобами фізичного виховання з метою збереження здоров'я та забезпечення нормальних умов життєдіяльності організму людини.

Рухові здібності - це потенційні (скриті), але не реалізовані можливості людини до того чи іншого прояву рухової функції.

Рухова дія - це такий прояв рухової активності людини, який нею усвідомлений та цілеспрямований на вирішення будь-якого конкретного рухового завдання.

Рухова задача - це соціально та біологічно обумовлена вимога до виконання певних рухів із заданими біомеханічними характеристиками, які стимулюють людину до активізації розумової та рухової діяльності, яка дозволяє досягти відповідних цілей в процесі лікувального впливу конкретного рухового режиму, фізичного виховання або спортивного тренування.

Рухова навичка - це автоматизований компонент рухової дії, в якому усвідомлюються ті сенсорні корекції, які забезпечують її смислову та програмну частини.

Рухове уміння - це певний рівень підготовленості людини до ефективного рішення рухового завдання, сформованого в процесі навчання на основі системи природних та набутих рухових навичок.

Рухові можливості - це реальні передумови до виконання рухів з визначеними біомеханічними характеристиками, що склалися в організмі людини в процесі *філогенезу, онтогенезу*, навчання та тренування.

Рухові якості - це окремі, якісно відмінні сторони моторики людини, які проявляються нею в одних і тих же біомеханічних характеристиках, мають один і той же вимірювач та подібні анатомічні, біологічні та психічні механізми забезпечення та реалізації при виконанні фізичних вправ.

Суб'єкт фізичного виховання - педагог (тренер), що здійснює управління поведінкою об'єкта - спортсмена.

Технічна майстерність - ступінь розвитку рухових можливостей, що характеризуються певним об'ємом рухових дій, їх різноманітністю, раціональністю, певною ефективністю та освоєністю виконання, які дозволяють людині вирішувати рухові задачі, зокрема у відповідному напрямі спорту.

Техніка фізичних вправ (спортивна техніка) - засіб вирішення рухової задачі, система рухових дій, що заснована на раціональному використуванні рухових можливостей, спрямована на досягнення високих показників у вибраному виді спорту.

Технічна підготовка - специфічна форма процесу спортивного тренування, цілями якого є таке використання педагогічних засобів, яке дозволяє спортсменам досягти заданого рівня технічної майстерності.

Фізична вправа - це основний засіб фізичного виховання, комплекс рухових дій, які спрямовані на вирішення визначених окремих завдань лікувальної фізкультури, фізичного виховання, спортивного тренування, які виконуються при суворій регламентації біомеханічних характеристик, зовнішніх умов та стану організму людини.

Фізичне навантаження - це результат впливу фізичної вправи на організм, який здатний викликати в ньому адаптаційні та інші зміни, які спрямовані на збереження *гомеостазису* та стимулюють його спрямований розвиток.

Фізичний розвиток - стан рухової функції людини в конкретний момент часу, що характеризується фізичними параметрами статури, рухового апарату, систем, які його обслуговують.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке біомеханіка як наукова і як навчальна дисципліна?
2. Які вчені і коли заклали основи біомеханіки?
3. Хто є засновником основ сучасної науки про біомеханіку?
4. Що є завданням біомеханіки?
5. Який сучасний етап розвитку біомеханіки, її значення у спорті, медицині?
6. Охарактеризуйте основні розділи сучасної біомеханіки та найважливіші напрями її наукових досліджень

Практична робота №2.

Тема: Основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки

Мета: засвоїти основні поняття, напрями та методи досліджень сучасної біомеханіки

Обладнання: інформаційні дані про виникнення і розвиток біомеханіки як прикладної науки

1. Теоретична частина

1. Які особливості біомеханічного аналізу, синтезу?
2. Охарактеризуйте біокінематичні характеристики обертального руху
3. Що таке система рухів?
4. Які розділи сучасної біомеханіки вивчають закономірності рухів?
5. Які основні завдання сучасної біомеханіки?
6. Охарактеризуйте найважливіші напрями наукових досліджень, які застосовують у біомеханіці та їх значення.

2. Практична частина

- Завдання 1.** Складіть схему основних напрямів та методів досліджень сучасної біомеханіки
- Завдання 2.** Складіть схему напрямів наукових досліджень у сучасній біомеханіці
- Завдання 3.** Охарактеризувати основи біомеханічного аналізу, вказавши його значення та основні розділи
- Завдання 4.** Охарактеризувати послідовність проведення біомеханічного аналізу
- Зробіть висновки по кожному завданню.**

1.7. АПАРАТУРНІ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ У БІОМЕХАНІЦІ.

У практиці вивчення рухових дій людини використовують візуальні та інструментальні методи контролю рухів. У першому випадку отримують переважно якісні уявлення про рухи. Результати візуальної оцінки здебільшого є суб'єктивним, не основаними на чітких критеріях оцінювання рухів, тому їх важко використати для порівняльного аналізу. Більш об'єктивними є *інструментальні методи контролю* – контактні та безконтактні. За допомогою обладнання отримують кількісну оцінку характеристик та показників рухових дій людини, а також можливих їх змін, що відбуваються в організмі під час тієї чи іншої рухової діяльності.

1.7.1. Контактні та безконтактні методи.

Для підвищення точності інструментальних методів вимірювання біомеханічних характеристик рухів залучають всі останні досягнення інженерної думки. Інструментальні методи контролю: *радіотелеметрія, лазерна техніка, радіоізотопи, інфрачервона техніка, ультразвукове обладнання, ЕОМ, телебачення, відеотехніка* переміщень тіла людини. Методично зручно їх поділити на дві групи - контактні та безконтактні, хоча на практиці їх часто застосовують у комплексі, доповнюючи один одного. Першим блоком є об'єкт вимірювання - це організм людини або окремі його точки, системи точок, *біоланки*. Другий блок - пристрій, що сприймає вимірювану величину. Для цього використовують чутливий елемент засобу вимірювання – *датчик*, який виконує функції штучного рецептора. Він сприймає інформацію та передає її у наступний блок. Третій блок – *перетворювач* – пристрій, в якому виміряна величина (гідравлічна, пневматична) перетворюється в електричну і одночасно відбувається підсилення сигналу. Блок четвертий призначений для передачі електричного сигналу на відстань з допомогою проводів або без них - *радіотелеметричний зв'язок*. Блок 5 призначений для обчислювальних операцій, наприклад комп'ютер, ЕОМ, принтер.

Отже основою інструментальних методів контролю є вимірювальні системи, які утворюють блок-схему, складеною з блоків, що представлено на рис. 2.

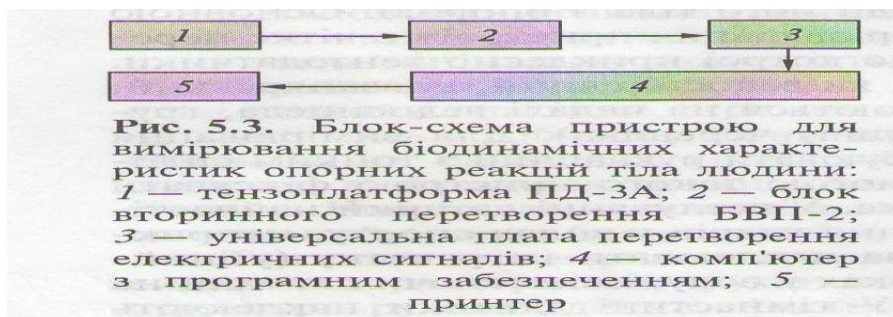


Рис. 2. Блок-схема системи вимірювання характеристик опорних реакцій людини

До датчиків біомеханічних процесів належать датчики відведення біопотенціалів серцевого м'яза та датчики відведення біопотенціалів скелетних м'язів. Для реєстрації біоелектричної активності м'язів застосовують спеціальні датчики або відвідні електроди, котрі дозволяють вловлювати зміни електричної напруги, виникнення, поширення та припинення процесів збудження у працюючому м'язі. Розрізняють електроди, що застосовують для локального

дослідження окремих *рухових одиниць* (РО), стимуляційної та глобальної *електроміографії* (ЕМГ) – графічний запис (Г) електричної (Е) активності м'яза (М). Для локальної та стимуляційної ЕМГ застосовуються електроди з малою відвідною поверхнею (діаметр - 0,65 мм і менше) та найбільшою міжелектродною відстанню. Такий електрод вводиться у м'язову тканину і він відводить коливання біопотенціалів від окремих волокон м'яза. Для дослідження інтенсивних природних рухів особливо спортивних, застосовуються нашкірні електроди з великою поверхнею відведення (50 кв мм). Ці електроди реєструють сумарну різницю напруг на поверхні м'яза, що виникають при збудженні численних міоневральних закінчень.

Датчики біомеханічних процесів - *тензорезистори* - це вимірювальні перетворювачі малих деформацій тканини в електричні сигнали. Це дозволяє виміряти зусилля, котрі людина докладає до опори або, наприклад, до спортивного снаряда, тренажера. Величина механічної деформації проводових елементів датчиків пропорційна величині електричного сигналу та силі впливу, що докладається до них. Таким чином, визначивши механічну деформацію цих датчиків, можна розрахувати докладену силу. *Тензодатчики* придатні для вимірювання як статичних, так і динамічних навантажень, їх вхідна величина - переміщення малих деформацій, вихідна — зміна опору. *Реостатні* датчики - *гоніометри* використовують для вимірювання кутів (гр. гоніо - кут), які формуються при русі у різних суглобах.

Акселерометри (гр. акселерос – прискорення, гр. метрос – вимірювати) - датчики для вимірювання прискорень. В основі роботи такого датчика - зміна сили інерції, що виникає під час руху. Сила інерції, котра впливає на певну масу акселерометра, пропорційна прискоренню, що виникає. Ця величина вимірюється тензодатчиком, прикріпленим на пружний силовимірювальний елемент, що здатний сприймати деформацію тільки в одній площині. Для реєстрації повного *вектора* – напрям сили прискорення (у трьох площинах) в одній конструкції монтують три однакових датчики та орієнтують їх перпендикулярно один до одного подібно до осів координат тривимірного простору.

Основною перевагою електричних методів вимірювання біомеханічних величин є оперативність отримання результатів вимірюваних характеристик та можливість автоматизації розрахунку характеристик, що безпосередньо не вимірюється з використанням ЕОМ, наприклад електротензодинамографія

1.7.2. Електротензодинамографія

Метод *електротензодинамографії* (від лат. тензор - напружую, розтягую) дозволяє реєструвати та вимірювати зусилля, що розвиває людина під час взаємодії з опорою та іншими об'єктами навколишнього середовища, котрі мають певну масу. Усі тіла під дією прикладених до них сил деформуються, а величина деформації кожного такого пружного тіла пропорційна прикладеному зусиллю.

Внаслідок виконання руху людина здійснює механічний вплив на ту поверхню опори, відносно якої вона переміщується, наприклад бігової доріжки та різних спортивних снарядів, які під час цієї взаємодії деформуються. Щоб виміряти величини зусиль, що розвиває людина, застосовують спеціальні тензодатчики, що перетворюють величини механічної деформації на електричний сигнал. В основі роботи кожного такого тензодатчика лежить явище тензоефекту. Це властивість деяких матеріалів змінювати електричний опір під впливом деформації – розтягування, збільшення розмірів. Такий датчик - електричний провідник наклеюється на пружний силовимірювальний елемент, що сприймає зусилля.

При деформації пружного силовимірювального елемента відбувається деформація прикріпленого на тіло тензодатчика, внаслідок цього на якусь величину змінюється електричний опір (R) тензодатчика. Таким чином, зміна сили струму (I) в електричному ланцюзі буде відображати зміни докладених до тензодатчика зусиль, тобто відбувається перетворення вимірюваної неелектричної величини (сила F) в електричний сигнал (сила струму I). Це дозволяє виміряти електричними методами механічну величину.

Тензодинамометричну апаратуру застосовують для визначення силових характеристик рухів і вивчення на їх основі динамічної структури рухових дій та ефективність рухів у цілому. При цьому залежно від завдань розрізняють універсальні та спеціальні методики електротензодинамографії (ЕТДГ).

Універсальними є методики ЕТДГ з використанням тензоплатформи. Найбільш відомі з них - електротензодинамометричний комплекс "Модуль" площею 0,56 м² російського виробництва та тензоплатформа німецької фірми, що має площу 0,48 м². Такі платформи можуть розташовуватися на доріжках стадіонів, під важкоатлетичними помостами, у місцях відштовхування людини від опори при виконанні різних рухових дій. За допомогою динамографічних платформ, наприклад, вимірюються біомеханічні параметри опорних взаємодій людини у процесі ходьби, бігу, стрибків у довжину та висоту, стрибків на лижах з трампліна, стрибків у воду, а також у гімнастиці, акробатиці тощо.

Застосування платформ у процесі досліджень та біомеханічного контролю різних рухів людини потребує використання додаткових методологічних прийомів та пристроїв. Так, при контролі техніки метань (молот, диск, ядро) на платформу доцільно покласти спеціальний круглої форми настил з обмежувальними елементами. При дослідженні старту у спринті на робочій поверхні платформи встановлюють стартові колодки тощо. Доцільним є одночасне використання разом з динамографічною платформою інших методів реєстрації, наприклад вимірювання кінематичних характеристик рухів методами *гоніометрії*, *телекіноциклографії* та *відеоаналізу*.

Для вимірювання різноманітних рухів людини передбачається використовувати різні вимірювальні пристрої для запису зусиль, що розвиваються при взаємодії його тіла з опорою. Основною умовою при проектуванні силовимірювальних пристроїв є чітке передавання усього зусилля на балку, до якої приклеєно тензодатчики. Наприклад, для таких видів спорту, як велосипедний, ковзанярський, лижний, силовимірювачі встановлюються на педалі велосипеда, під всю підошву черевика на лижі або ковзані.

Для вимірювання взаємодії у плаванні використовують спеціальні рукавички з тонким силовимірювачем на долоні. За їх допомогою можна фіксувати силу, частоту та інтенсивність гребка. У веслуванні датчики найчастіше наклеюють на весло. Для вивчення ударів у видах спорту, наприклад, таких, як теніс, датчики можна наклеювати на ракетку, на її шийці. Те саме можна робити і при стрибках у воду, наклеюючи датчики на дошку перед середньою опорою. У гімнастиці датчики наклеюють також на кільця, бруси, перекладину, опорний місток. У важкій атлетиці датчик краще розташовувати безпосередньо на штанзі. Тензодатчики укріплюють у підпідшву бігового взуття легкоатлетів або розташовують їх на біговій доріжці, у стартових колодках. Часто чутливий тензoeлемент роблять зйомним, що дає змогу використовувати його на різних спортивних снарядах.

Інформативність отриманих результатів набагато зростає у разі синхронного запису тензодинамограми, гоніограми та кіно- і відеозйомки досліджуваного руху. В якості аналогового реєструючого пристрою застосовується світлопроменевий осцилограф із записом вимірюваного процесу та чутливий до ультрафіолетових променів папір УФ, що не потребує подальшого проявлення. Швидкість запису (протягування паперу) може бути різною — від 0,25 до 2000 мм за секунду і визначається характеристиками процесу, котрий реєструється. У якості цифрового реєструючого пристрою застосовується персональний комп'ютер (ПК) з процесором не нижче Пентіум II-450.

Для оцінки умов рівноваги тіла людини широко застосовується методика *стабілографії*. Останнім часом ця методика, окрім дослідження біомеханічних основ стійкості, застосовують також для вивчення функціонального стану організму людини, стерпності до навантажень статичного характеру, оцінки координаційних можливостей людини з точки зору професійного відбору. За всієї складності електронного комплексу апаратури, що використовується, людина за час вимірювань не обтяжується прикріпленням датчиків до *біолонок* її тіла. Їй лише треба стати на стабілографічну платформу і виконати відповідний контрольний тест.

1.7.3. Стабілографія

Трудова та спортивна рухова діяльність у багатьох випадках вимагає від людини здатності досить економічно і з високим робочим ефектом утримувати певні робочі пози, видозмінювати їх, зберігаючи рівновагу свого тіла у просторі. Біомеханічні раціональні рухи та пози часто визначають кінцевий результат тієї чи іншої діяльності людини й тому вони є предметом детального дослідження фахівців. Ще у минулому столітті угорський лікар *Ромберг* запровадив у клінічну практику спостереження за вертикальним положенням тіла та розробив методики оцінки ступеня коливання тіла і тремора кінцівок. Ним було доведено, що оцінка вертикального положення тіла є важливим індикатором функціонального стану організму людини, її здоров'я. Здатність зберігати рівновагу є однією з найважливіших умов забезпечення життєдіяльності організму людини. Методика, що дає можливість кількісного та якісного аналізу стійкості стояння, власне й називається *стабілографією*. Крива зміни координат *загального центра маси* (ЗЦМ) тіла при збереженні стійкості стояння називається *стабілограмою*. Це дає змогу вивчати біомеханічні характеристики рухів людини, а також дозволяє кількісно оцінювати стійкість тіла людини та системи тіл; контролювати хід навчання різним видам рівноваг у спортивній та художній гімнастиці; проводити тестування стану спортсменів перед змаганням; визначати стерпність до тренувальних навантажень; здійснювати професіональний відбір найбільш здібних осіб за показниками стабілографії; фіксувати факт вживання людиною деяких фармакологічних препаратів та алкоголю, які погіршують стійкість.

1.7.4. Міотонографія

Міотонографія - це реєстрація та аналіз біомеханічних якостей скелетних м'язів людини. Для цього використовують апаратно-програмний комплекс для реєстрації та аналізу біомеханічних якостей скелетних м'язів людини. Комплекс призначений для якісної та кількісної оцінки біомеханічних якостей скелетних м'язів людини. Він дозволяє отримати термінову інформацію про стан усіх досліджуваних м'язів у графічній та цифровій формах. Для діагностики на тілі людини закріплюється спеціальний датчик типу СМВ-308 (Росія), що дозволяє реєструвати біомеханічні якості м'язів.

Вихідна інформація, котру отримують при використанні спеціального програмного забезпечення, виводиться на принтер та заноситься у пам'ять ПК. Це дозволяє документувати її у друкованому вигляді та зберігати повні кількісні дані щодо проведених вимірювань і на їх основі створювати банки даних про багатьох досліджуваних, обробляти великий обсяг інформації про функціональний стан м'язів людини, що виконують різноманітну роботу, порівнювати їх один з одним тощо.

Амплітудні характеристики, котрі отримують при реєстрації у мілівольтах (мВ), перераховують у метричні виміри — міліметри (мм), а енергетичні виражають у джоулях (Дж) за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

1.7.5. Електроміографія (ЕМГ)

У процесі життєдіяльності організму в його органах і тканинах виникають біоелектричні сигнали, котрі являють собою складні коливання несиметричної форми, що називаються *біопотенціалами* і які набувають найбільшої активності після статевого дозрівання. Вони об'єктивно відображають фізико-хімічні результати обміну речовин, вони є досить інформативними показниками стану фізіологічних процесів в організмі. Його внутрішнє середовище має низький електричний опір, що дозволяє біопотенціалам поширюватися по усьому тілу людини. Внаслідок цього біопотенціали скелетних м'язів, серця та мозку можуть бути зафіксовані на поверхні тіла спеціальними *датчиками біопотенціалів*. Як відомо, тіло людини має три основних взаємозв'язаних електромагнітних поля з відповідними біопотенціалами серця (ЕКГ

- електрокардіографія), рухового апарату (ЕМГ – *електром'язографія*), кори головного мозку (ЕЕГ - *електроенцефалографія*).

Електромагнітне поле серця людини безперервно змінюється з частотою серцевих скорочень, досягаючи максимуму у момент скорочення серцевого м'яза. Це поле підсилюється при фізичних вправах, емоційному збудженні та слабшає під час сну, відпочинку, у стані спокою. Оскільки серце є найбільш життєво важливим органом людини, то дослідження його електричних потенціалів вже давно цікавило фахівців. Воно має чіткий певний ритм роботи – частоту скорочень (ν), що не перериваються ($\nu=250\pm 0,5$ Гц), достатній за величиною електричний сигнал (1-5 мВ), який можна дослідити та локальний осередок збудження біопотенціалів. ЕМГ з'явилася пізніше, тільки з появою апаратури - *електроміокардіограф*, який дозволяє надійно фіксувати біопотенціали електричної активності скелетних м'язів серця.

Електромагнітне поле мускулатури людини має складну конфігурацію, котра спотворюється при найменшій зміні пози. Електромагнітне поле виникає навіть при появі думки про рух.

Біомеханічні методи дозволяють реєструвати зовнішню картину руху, котра є результатом складної нейромоторної діяльності. За зовнішньою картиною рухів можна судити про їхню внутрішню структуру. Однак це шлях непрямий і не завжди надійний.

Електроміографія - це спосіб реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів. Він дозволяє "заглянути" начебто усередину процесів, котрі відбуваються у м'язах, отримати цінну інформацію про роботу м'язів при виконанні рухових завдань. Цей метод широко застосовується при вивченні спортивних рухів. Він дозволяє одночасно вимірювати біомеханічні та фізіологічні параметри рухової функції. *Електроміограма* (ЕМГ) - це крива зміни біопотенціалів скелетних м'язів. Використовується ЕМГ для визначення ступеня участі різних м'язів у русі, для вивчення координації та рівня активності м'язів. Окрім того, ЕМГ дає змогу дослідити внутрішню структуру рухового акту, допомагає виявити найбільш раціональні та ефективні варіанти побудови рухів, розв'язання рухових завдань. Метод ЕМГ дозволив вивчити деякі деталі координаційної структури природних рухових актів людини, наприклад ходьби, підтримання вертикальної пози, ряду трудових та спортивних рухів.

Сучасні ЕМГ-комплекси для дослідження у природних умовах і реальному часі (on-line) обов'язково комп'ютеризовані, радіотелеметричні та, як правило, багатоканальні. Вони складаються: 1) на шкірних біполярних електродів, 2) підсилювача електричних біопотенціалів, 3) спеціального осцилографа - прилад, на екрані якого виникає зображення електробіопотенціалів, 4) індикатор візуального контролю, 5) комп'ютер з принтером. Це блок-схема сучасного стандартного ЕМГ-комплекту приладів, які використовують для біомеханічних досліджень м'язів.

Найпростіший стандартний набір ЕМГ-комплексу для досліджень у лабораторних або клінічних умовах складається з таких основних частин: відвідних електродів; підсилювача (наприклад МО-42 угорської фірми МЕБІСОК); реєстратора (наприклад, шлейфний осцилограф або комп'ютер); індикатора візуального контролю — ІВК (наприклад, М0-40).

Дослідження механізмів управління рухами та позою (сполучення ЕМГ з реєстрацією зовнішніх механічних параметрів м'язової діяльності) дозволяють обчислювати багато чинників, котрі впливають на кількісні характеристики рухів. Нині можна виділити чотири основні напрями використання ЕМГ для вивчення активної рухової діяльності людини: 1) електричну активність окремих функціональних *рухових одиниць* (РО); 2) вивчення електричної активності окремих м'язів; 3) дослідження узгодженості електричної активності багатьох м'язів, що беруть участь в одному русі (синергісти та антагоністи); 4) використання ЕМГ в якості електростимуляторів.

У спорті використовують в основному другий та третій напрями як для дослідження механізму управління в окремих видах спорту, так і для вивчення фізіологічних закономірностей, притаманних спортивній діяльності - наприклад, стомлюваності, ступеня напруження та розслаблення м'язів. Цей метод дозволяє проводити дослідження, не створюючи перепон для виконання багатьох трудових та спортивних рухів. У лікувальній та спортивній практиці ЕМГ може використовуватися і як електростимулятор. Стимуляційна ЕМГ — це електричний вплив низькочастотним імпульсним струмом на органи та тканини людини для лікувального впливу на

процеси патології у нервово-м'язових структурах, знеболювання при травмах опорно-рухового апарату тощо.

Електрична активність м'яза є результатом фізико-хімічних процесів його життєдіяльності. Основними параметрами біопотенціалів є їх амплітуда та частота. Амплітудою називається розмах коливань між крайніми значеннями або величина відхилень від середньої (нульової) лінії потенціалу, а частота — це середнє число коливань за одиницю часу (секунду).

Для реєстрації біоелектричної активності м'язів застосовують спеціальні *датчики*, що в електроміографії є відвідними електродами і дозволяють зареєструвати зміни електричної напруги, виникнення, поширення та припинення процесів збудження у працюючому м'язі. З метою дослідження інтенсивних природних рухів, особливо спортивних, найчастіше застосовують нашкірні (плоскі та коаксіальні) електроди з великою поверхнею відведення (50 мм²). Такі електроди вловлюють сумарну різницю напруження при збудженні чисельних міоневральних закінчень.

Для реєстрації біопотенціалів м'язів використовують як монополярне (один активний електрод), так і біполярне (два активних електроди) відведення. При монополярному відведенні на шкірі над м'язами розміщують по одному електроду, а другий електрод (заземлення) кріплять до електронейтральної поверхні тіла досліджуваного, наприклад до мочки вуха або в іншому місці, що не має м'язів (наприклад, зап'ясток). Амплітуда біопотенціалів у монополярній ЕМГ становить приблизно 5 мВ, що у кілька разів більше, ніж у біполярній. Недоліком цього способу є те, що ЕМГ може відображати електричну активність не тільки м'язів, на яких розміщено електроди, але й тих м'язів, які знаходяться між активними та нейтральними електродами, тобто електричну активність усієї частини тіла, прилеглої до досліджуваних м'язів. У спортивній практиці використовують переважно біполярну ЕМГ, при якій на черевці м'яза розташовуються два активних електроди.

Цей спосіб відведення дозволяє реєструвати локальну різницю потенціалів, що виникають між двома ділянками м'яза. При біполярному відведенні (відстань між електродами становить приблизно 20 мм, а діаметр електрода - приблизно 5 мм) буде потрібно більше зусилля порівняно з монополярним, але м'язові потенціали відводяться локально, що зменшує вірогідність реєстрації активності інших м'язів.

1.8. Безконтактні методи досліджень і контролю за станом рухів

Це апаратура, прилади, устаткування, які безпосередньо не контактують з тілом людини. Наприклад кіно-, фото-, відео-, телекамера. Кінокамера складається з тих самих основних частин, що й фотоапарат. Окрім того, у неї є стрічкопротяжний механізм та фільмовий канал. Він забезпечує суворо перпендикулярне положення плівки щодо оптичної осі об'єктива. На відміну від фотоапаратів більшість кінокамер наводиться на різкість "на око", що може негативно вплинути на результат вимірювання, реєстрацію руху. Кінооператор повинен оцінити відстань до об'єкта зйомки та встановити його на дистанційній шкалі об'єктива.

Точність кінозйомки тим більша, чим більший формат кінокадра (ширина) на плівці. Використовується плівка шириною 8, 16, 35 мм. Чим ширша плівка, тим точніша зйомка, але у цьому разі застосовується складніша й дорожча апаратура. Загалом же граничне досягнення точності при кінозйомці значно нижче, ніж при фотографуванні. Пояснюється це тим, що фотоплівка та пластинка є нерухомими, а кіноплівка рухається, і якою б досконалою не була конструкція фільмового каналу, неможливо домогтися суворо фіксованого положення кіноплівки відносно об'єктива.

У спортивній практиці, наприклад, для кінопроекції найчастіше використовують сучасну електронну відеотехніку та пересувні кіноустановки, розраховані на живлення від однофазної мережі перемінного струму напругою 127 або 220 В із частотою 50 Гц. Фотографічний комплекс стробоскопічної зйомки – швидкісна зйомка складається із фотографічної камери та стереокомпаратора типу «Спектрометр». Він містить пристрій для зчитування координат та пульт управління друкувачем автоматом, який видає готові світлини. Отримані в результаті стереозйомки пари

знімків фіксуються на вимірювальному столі спеціального пристроя - стереокомпаратора. Після кожного наведення друкуючий пристрій реєструє координати точки-тіла. Реєстрація координат однієї точки триває 6-10 с, а на повну обробку стереознімка (наприклад, одного кроку) витрачається від 1 до двох 2 годин. Це у десятки разів менше, ніж при ручній обробці знімків.

Після того як визначено координати маркерів, на папері будується схематичне зображення ("промір") поз людини, яка рухається. Раніше промір будували вручну. Тепер ця операція автоматизована і навіть комп'ютеризована. Для цього координати маркерів вводять у пам'ять ЕОМ, котра управляє графопобудовником.

У фотографії та кінозйомці є великий недолік: обробка фотоматеріалів (проявлення плівки, фотодрук тощо) дуже трудомістка й забирає багато часу. Більш оперативним є запис і відтворення рухів за допомогою відеомагнітофонів. Сучасні відеомагнітофони дозволяють виконувати "стоп-кадр" та уповільнене відтворення зображень, призначені для запису та відтворення кольорового зображення, що робить відеозапис більш привабливим у навчальному процесі. Одночасно із зображенням відеомагнітофон записує звук. Тому, коли відтворюється запис веслувальної гонки, чути сплески весел, дихання веслярів, а при відтворенні футбольного матчу - звук ударів по м'ячу, шум трибун тощо. Окрім того, оператор має можливість робити "мовні вставки", коментуючи події, що відбуваються. Користь, яку приносить відеомагнітофон при навчанні рухів, є безсумнівною. Він, як дзеркало, дає можливість подивитися на себе з боку і побачити усі помилки й неточності своїх рухів та швидко їх виправити.

Максимальна швидкість відеозйомки (за найкращої якості) навіть у спеціальних професійних відеокамерах - 1000 кадрів за секунду. Саме тому високошвидкісні явища (наприклад, виліт кулі, вибухова хвиля, різноманітні ударні взаємодії тощо) досліджуються за допомогою так званої *rapidної* (швидкісної) *зйомки* (швидкість зйомки від 500 до 10 000 кадрів за секунду).

Впровадження у практику сучасних досягнень біомеханіки спричинило зміни методології досліджень, що виявилось у все більшій їх комп'ютеризації на всіх рівнях, розробки та втілення високопродуктивних і дешевих мікрокомп'ютерів, пов'язаних з: 1) високошвидкісними відеокамерами у комплексі з дешифраторами відеофільмів для персональних комп'ютерів (ПК); 2) стаціонарно встановлених динамографічних платформ, що функціонують у природних умовах, з виводом даних через аналогоцифрові перетворювачі на ПК; 3) автоматизовані системи обробки відеограм на базі ПК.

За допомогою приладів, пристосувань можна виміряти основні характеристики тіла людини і зробити висновки про її фізичний, психічний стани, підібрати коректуючі вправи, навантаження, які сприятимуть оздоровленню, тобто визначити об'єктивні показники стану організму.

Запитання для самоконтролю

1. Які інструментальні методи контролю використовують у біомеханічних дослідженнях
2. Які прилади, блоки пристроїв використовують для вимірювання біодинамічних характеристик тіла людини
3. Які безконтактні та контактні методи контролю використовують у біомеханічних дослідженнях
4. Охарактеризуйте основні сучасні контактні та безконтактні методи досліджень
5. Що таке електротензодинамографія, стабілографія, їх використання
6. Що таке міотонографія, електроміографія, які прилади необхідні для їх застосування

Практична робота №3.

Тема: Вимірювання результатів дослідження біокінематичних характеристик

Мета: набути навичок роботи і обрахування результатів вимірювання

Обладнання: кінофотообладнання,

1. Теоретична частина

1. Які методи реєстрації біокінематичних характеристик ви знаєте
2. Яке значення безконтактних методів дослідження і контролю за станом рухів
3. Якої ширини використовують плівку при фото-, кінозйомках

2. Практична частина

Завдання 1. Розрахувати частоту (f) зйомки бігу, кількість кадрів за даними: 1) час відштовхування при бігу 0,08 с; 2) частота зйомки – 20 кадрів за 0,08 секунд (с).

Завдання 2. Обчислити довжину плівки, необхідної для реєстрації трьох бігових кроків при частоті зйомки 200 кадрів за секунду, використавши умови: 1) час одного кроку дорівнює 0,3 с; 2) довжина одного кадру 18 мм. Алгоритм обчислення: 1) Обчислити час трьох бігових кроків, 2) обчислити кількість кадрів, необхідних для фіксації трьох бігових кроків, 3) Обчислити довжину плівки

Завдання 3. Скласти схему інструментальних методів вимірювання кількісних характеристик рухів.

Завдання 4. Скласти блок-схему пристрою для вимірювання біодинамічних характеристик рухів людини.

Завдання 5. Розрахувати шлях, який пройдений тілом у рівнозмінному русі, якщо його початкова швидкість дорівнювала 1м/с, а час становив 10 сек.

1.9. Основні сучасні методи дослідження у біомеханіці

Сучасна біомеханіка має достатній арсенал методів дослідження локомоторних функцій, як в статичі, так і в динаміці, причому вивчаються не тільки зовнішня картина руху, а й механізми управління, життєзабезпечення організму, що дає можливість виявити комплекс параметрів, що характеризують *руховий образ*. У це поняття включені не тільки зовнішні (механічні) прояви руху і реакції навколишнього середовища, а й умови організації управління рухами, узгоджена діяльність всіх органів і систем організму. Отримана в результаті біомеханічних досліджень інформація є основою для визначення норми або патології організму. Це дозволяє кількісно визначити ступінь порушення локомоторної функції при різних патологічних станах. Біомеханічні дослідження досить широко використовуються не тільки в клінічній медицині - функціональна діагностика, ортопедія, травматологія, протезування, але і в спорті, при розробці різноманітних антропоморфних механізмів - роботи, маніпулятори, тренажери. Результати використовують при вирішенні інших прикладних задач.

Методична база біомеханічних досліджень постійно вдосконалюється, використовуючи новітні досягнення науки, техніки. *Методи дослідження біомеханіки*, що отримали найбільше поширення в її медичному застосуванні можна класифікувати: 1. *Соматометричні* - антропометрія, фотограмметрія, рентгенографія; 2. *Кінезіологічні* – дослідження силових характеристик тіла, його частин; 3. *Клінічні*: оптичні, потенціометричні, електроподографія, тензометрія, іхнографія; 4. *Фізіологічні* - калориметрія, електроміографія, електроенцефалографія.

1.9.1. Соматометричні або антропометричні

При клінічному і біомеханічному обстеженнях використовують вимірювання тіла (гр. – сома) та його частин. Методи антропометрії (гр. антропос – людина) дозволяють отримати інформацію про статеві та вікові характеристики тіла людини, про особливості будови опорно-рухового апарату в нормі і при патології. Важливими є рост, вага, обхват та об'єм грудної клітки, довжина кінцівок, голови. Зазвичай перед проведенням спеціальних біомеханічних досліджень вимірюють рост пацієнта стоячи і сидячи, довжину кінцівок, амплітуду рухів у великих суглобах. Доцільною є замальовка діаграми стояння тіла як його проекції на горизонтальну площину осей суглобів нижніх кінцівок і тазу. Це дає можливість скласти уявлення про архітектоніку нижніх кінцівок, визначити

величину розвороту вісів суглобів в проекції на горизонтальну площину, кут розвороту стоп, відстань між внутрішніми поверхнями ніг на різних рівнях. Для цього використовують фотограмметрію – отримання інформації за допомогою фотоапаратури.

1.9.2. Фотограмметричні

Метод полягає у тому, що перед людиною встановлюють кадрову рамку з сантиметровими поділками по горизонтальних і однією з вертикальних сторін. Через середину рамки натягують нитку, яка служить схилом. Фотографують, і для графічного аналізу виготовляють фотознімки, на яких вимірюють відстань у сантиметрах між передньовіршніми остюками таза, нахил стегон відносно анатомічних вісів відносно вертикалі, відстань між центрами колінних суглобів, нахил гомілок по анатомічним вісям, відстань між центрами опори стоп. Цей метод дає можливість визначити вікові особливості схеми побудови опорно-рухового апарату в нормі і при різних патологічних станах. Різновидом цього методу є метод *оптичної комп'ютерної томографії*, коли можна виявити кіфосколиоз грудного відділу, або гіперлордоз поперекового відділу, або виступаючі крилоподібні лопатки.

До антропометричного методу збору і аналізу інформації відноситься спосіб вивчення схеми стану, будови опорно-рухового апарату у вигляді так званої *фотограмметрії* – фотографічного зображення тіла при стоянні. Обстежуваному пропонують прийняти природну, найбільш звичну, зручну для нього позу стояння і фотографують.

1.9.3. Оптична комп'ютерна томографія

Це сучасний метод з використанням комп'ютерної техніки з отриманням стереофотографії тіла досліджуваного у певних, обраних координатах. (Рис.3).



Рис. 3. Стереофотограмметрія з уявним базисом. Геометрична модель стереофотографії. Координати фіксованої точки: $X = 90$, $Y = 112$, $Z = -24$ мм.

Цей метод дає можливість отримати важливу інформацію про *геометрію мас* тіла людини, або його частин, про особливості та порушення постави. Цей сучасний і найточніший метод дозволяє кількісно, з високою точністю визначити координати будь-якої анатомічної точки поверхні тіла. Тривалість обстеження триває 1 - 2 хвилини, тому цей метод з успіхом застосовується для масових досліджень.

1.9.4. Кінезіологічні методи

Метод заснований на отриманні результатів дослідження рухів, зокрема цілеспрямованих, або *локомоцій*, за допомогою оптичних методів, які забезпечують комплексну реєстрацію будь-якої кількості точок тіла людини та зовнішньої обстановки щодо просторово-часової координатної сітки і дають інформацію про кінематику (гр. kinematos – рух) досліджуваних точок у формі, зручній для математичного аналізу. Отже рух характеризується певними кінематичними, динамічними, часовими і просторовими значеннями. Вся їх сукупність - це біомеханічний прояв

рухового образу, який формується для кожної конкретної людини в період постнатального онтогенетичного розвитку і зазнає вікових змін. Вони залежать від стану розвитку рухового аналізатора в залежності від віку та умов функціонування життєзабезпечуючих систем організму.

Отже, реєстрація кінезіологічних параметрів руху є необхідною для його характеристики, і при порушеннях функції опорно-рухового апарату, і при вивченні локомоцій спортсмена. Цей метод дозволяє отримати найбільш достовірні відомості про рухи, тобто кінематичні характеристики, які отримують за допомогою аналізу результатів фотозйомки рухів тіла, з якого може бути почерпнуто максимальну кількість відомостей про хід знятого руху.

Частиною цього метода є *циклографія* (від гр. цикл – повторюваність та гр. графо - писати) - метод дослідження рухів людини шляхом послідовного фотографування (до сотень разів на секунду) з використанням міток або лампочок, укріплених на рухомих частинах тіла.

Вперше фотографування фаз руху було запропоновано у 80-х роках 19 століття французьким ученим *Е. Маре*. Пізніше *М. А. Бернштейн* в 20-х роках 20 століття удосконалив і модифікував метод циклографії. Він запропонував *кімоциклографію* - зйомку на пересувну плівку. На основі аналізу циклограм - *циклограмметрії* - для ряду рухів були отримані дані про траєкторію окремих точок тіла, про швидкості і прискорення рухомих частин тіла. Це дало можливість обчислити величини сил, що обумовлюють даний рух. Такі відомості склали основу сучасних уявлень про принципи управління рухами людини, їх використовують при вивченні спортивних рухів, рухових порушень.

Найбільш простим і часто вживаним на практиці видом кінозйомки є *фотограмметрія*. Ця зйомка являє собою реєстрацію рухів людини і об'єктів навколишнього середовища в площині, перпендикулярній оптичній осі апарату. При цьому апарат встановлюють так, щоб в його полі зору знаходилося все, що буде піддано вивченню і подальшому аналізу. Отримані за допомогою оптичних методів реєстрації експериментальні дані піддаються математичній обробці. В якості датчиків, так званих "світящихся точок", для отримання кінематичних характеристик рухів кінцівок застосовують мітки або електричні лампочки, які укріплюють на досліджуваних суглобах. Спорядження майже невагомо, тому воно не вносить похибкових змін в структуру рухового образу. Обчислення просторових координат проводиться за формулами математичної залежності між просторовими координатами приміщення (в разі, якщо зйомка проводиться в лабораторних умовах) і координатами перспективних зображень.

Крім аналітичних методів, тепер знайшли широке застосування різні *номографічні прийоми*, засновані на відомих положеннях геометрії. *Номограма*, за допомогою якої здійснюється обробка ізоінформації, являє собою *функціональну сітку* і служить для отримання реальних (дійсних) координат фіксованої точки на сегменті або суглобі кінцівки.

1.9.5. Електромеханічні методи

У біомеханічних дослідженнях широкого поширення набули, поряд з оптичними і електричними методами реєстрації рухів. Це можна пояснити в першу чергу тим, що інформація, представлена у вигляді електричних сигналів, є зручною для обробки радіо- та електронними приладами, що полегшує отримання інформації у вигляді електричних сигналів. Крім того, більшість процесів, що протікають в живих організмах, супроводжуються різноманітними електричними явищами. При використанні електричних методів реєстрації неелектричних величин, якими є кінематичні і динамічні складові руху, застосовують вимірювання та реєстрацію кінематичних складових руху за допомогою лінійних *потенціометричних датчиків* – чутливих пристроїв до електричної активності м'язів, точок на шкірі і розміщуються на необхідних частинах тіла, що демонструє рис 4.

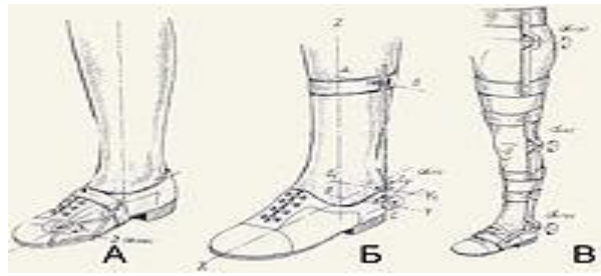


Рис.4. Кінематичні схеми потенціометричних датчиків для вимірювання амплітуди рухів у суглобах нижніх кінцівок. А - в плюснефаланговому; Б - у підтаранному; В - у тазостегновому, колінному і гомілковостопному суглобах.

Дослідження динамічних складових руху здійснюють за допомогою *тензометричних* (гр. *тензос* – тиск) *методів* з використанням різних тензодатчиків - датчики тиску. Вони застосовуються для визначення вертикальних складових реакції опори при ходьбі (*іхрографія*) або для реєстрації стабілограмм. Важливим є метод *подографії* - реєстрація часу опори окремих ділянок стопи при ходьбі за допомогою спеціальних датчиків, вмонтованих у підшву взуття. Це дозволяє дослідити фази поперемінної опори на правій або лівій нозі, що представлено на рис.5.

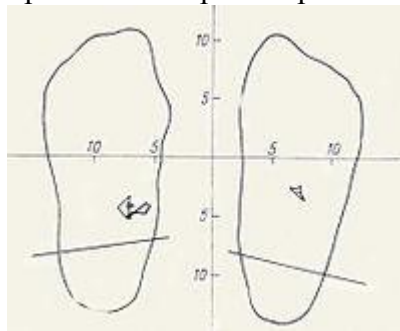


Рис.5. Стабілограма поперемінного стояння на правій або лівій нозі.

Важливим є метод *стабілографії* - об'єктивний метод реєстрації стану та проекції загального центра мас на площину опори - важливий параметр механізму підтримки вертикальної стійкої пози. Зазвичай реєструють площу переміщення загального центра мас (ЗЦМ) в проекції горизонтальної площини, поєднаної із зображенням стопи. Але інформація про функціональний стан опорно-рухового апарату людини і біомеханічних параметрів руху не може досить повно охарактеризувати весь комплекс процесів, що відбуваються в організмі в умовах рухової активності.

1.9.6. Клініко-фізіологічні методи функціональної діагностики

З метою вивчення механізмів *управління рухами*, їх енергозабезпеченості в біомеханічних дослідженнях застосовують деякі фізіологічні методи, які в поєднанні зі спеціальними біомеханічними дають можливість глибше вивчити процес формування рухового навику і реакції організму у реалізацію руху. Для цього у сучасній біомеханіці, медицині використовують *кардіографію* енергії, *електроенцефалографію*, *електроміографію*, *непряму калориметрію* та інші методи функціональної діагностики, зокрема *електроміографію*, *калориметрію*.

1.9.7. Калориметрія як показник енергетичних функцій організму

Цей метод дозволяє виміряти *кількість тепла* або *енергії*, що вивільнюється організмом в процесі рухової життєдіяльності і переходить безпосередньо в роботу - механічну, електричну,

біохімічну. При цьому вивільняється деяка кількість тепла. Все тепло, що віддається організмом, дає суму енергетичних перетворень за певний проміжок часу.

Кількість виділеного тепла може бути визначено безпосередньо в спеціальній калориметричній камері, в яку поміщають досліджуваного. Вперше таку камеру побудував *В. В. Паашутін* у 1880-1886 роках на кафедрі загальної паталогії Військово-медичної академії. Проте в даний час застосовується більш простий метод непрямой калориметрії, який полягає в дослідженні легеневого газообміну і наступному перерахунку кількості спожитого кисню на одиницю теплової енергії. Теоретичні обґрунтування методу непрямой калориметрії базуються на тому, що вся енергія, яка вивільняється в процесі життєдіяльності людини, є результатом розпаду (окиснення) жирів, білків і вуглеводів. Експериментально встановлена середня кількість тепла, що звільняється при окисненні 1 г кожної із зазначених речовин – жирів (38,94 кДж, або 9,3 ккал), білків (17,16 кДж, або 4,3 ккал) і вуглеводів (як і білків 17,6 кДж). Встановлено тепловий еквівалент кисню при окисненні цих речовин. Енергетичні витрати здорової людини складаються з: 1) основного обміну, 2) приросту обміну внаслідок специфічно-динамічної дії прийнятої їжі, 3) приросту обміну в результаті м'язової роботи.

Основний обмін становить найменшу інтенсивність перетворення речовин, які необхідні для забезпечення життєздатності. Енергетично він виражається у величинах теплопродукції в стані спокою. Основний обмін визначається не раніше, ніж через 12-18 годин після прийому їжі, в умовах повного м'язового і психічного спокою, при температурі навколишнього повітря 18-20 С.

Найбільш поширеним сучасним методом непрямой калориметрії є *метод Дугласа-Холдена*. Суть його полягає в тому, що випробуваний дихає атмосферним повітрям, а видихувані гази збираються в мішок з прогумованої тканини ємністю 100-150 л. Кількість повітря, що видихається за певний час вимірюється так званими газовими годинами, а якісний склад досліджується в спеціальному приладі - газоаналізатор Холдена. Це важливо для біомеханіки легенів, всієї дихальної системи.

1.9.8. Електроміографія

Для вивчення діяльності м'язів в процесі виконання рухового акта використовується електроміографія. Ще в 1884 році *Н. Е. Введенський* описав досвід прослуховування потенціалів дії м'язів людини за допомогою телефона, а в 1907 році німецький фізіолог *Н. Piper* вперше зареєстрував їх за допомогою струнного гальванометра. Однак практичну значимість електроміографічні дослідження придбали лише з 30-х років XX століття після створення спеціальних підсилювачів біопотенціалів і застосування концентричних голчастих електродів. Вони дозволили не тільки досліджувати функцію рухової одиниці, а й розшифрувати значення компонентів електроміограми (ЕМГ), знятої на шкірними електродами. Отримання електроміограми здійснюється двома способами – за допомогою на шкірних або голчастих електродів. Це дозволяє вибірково реєструвати активність однієї рухової одиниці. Застосування на шкірного біполярного відведення з міжелектродною відстанню 20-25 мм дозволяє реєструвати сумарну активність багатьох рухових одиниць.

Розвиток електроміографії привів до появи спеціальної галузі клінічної *електрофізіології* - *клінічної електроміографії*. Вона знайшла широке застосування у нервовій та хірургічній клініках, в ортопедії і протезуванні, у клінічній та спортивній біомеханіці. В останні роки область застосування методу електроміографії істотно розширився за рахунок використання біопотенціалів м'язів в якості показника в системах адаптивного регулювання м'язового тону.

1.9.9. Клінічна біомеханіка

Клінічна (медична) біомеханіка є складовою частиною медичних наук: ортопедії, травматології, протезування, реабілітології - лікувальної фізкультури, педіатрії, фізіології та багатьох інших напрямів. Клінічна біомеханіка - науковий напрямок, в якому з позицій механіки і загальної теорії управління за допомогою спеціалізованих методів дослідження вивчається рухова активність

людини в нормі та паталогії. У ній виділено основні класичні розділи: *біомеханіка нормальної і паталогічної ходьби*, *біомеханіка скелетних травм*, *біомеханіка великих суглобів*, *біомеханіка хребта*, *біомеханіка стопи*.

Крім цього сформувалися нові напрями досліджень: 1) *ходьба людини* - філогенетично давня, добре автоматизована і циклічна *локомоція* у здійсненні якої приймає участь весь опорно-руховий апарат. Це дає можливість дослідити функцію будь-яких його відділів, включаючи верхні кінцівки і хребет; 2) *основна стійка* - положення і переміщення загального центра маси тіла при стоянні обстежуваного на спеціальній платформі - метод *стабілометрії*. 3) *статичні положення* - інформація про кінцеві положення, дозволяє оцінити взаєморозташування сегментів тіла і визначити амплітуду рухів. Наприклад, оцінка форми хребта проводиться в трьох *площинах* - *фронтальній, сагітальній, горизонтальній*. Оцінюється нахил таза в сагітальній та фронтальній площинах, нахил передплечч у фронтальній площині. Співвідношення тазового і плечового пояса оцінюється у фронтальній і горизонтальній площинах. Крім того, у фронтальній площині треба оцінити нахил надплечч щодо таза, а в горизонтальній - розворот надплечч щодо таза.

Важливим сучасним напрямом досліджень і їх практичним застосуванням є створення *ендоскелету людини*. Це штучний *зовнішній скелет* (гр. *skeleton* – висушений), який здатен багаторазово збільшити силові якості людини та поліпшити її механічні властивості. Це важливо при виконанні надто важких фізичних дій – перенесення тяжкостей, робота у несприятливих умовах та його використання у лікувальних цілях, при травмах.

Найбільш інформативними у сучасній біомеханіці є: 1) *подометрія* - вимірювання часових характеристик кроків, рухів; 2) *гоніометрія* - вимірювання кутів у кінематичних характеристиках рухів у суглобах; 3) *динамометрія* - реєстрація силової реакції опори; 4) *електроміографія* - реєстрація поверхневої електричної активності м'язів; 5) *стабілометрія* - реєстрація статичного положення і рухів загального центру тиску тіла на площину опори при стоянні.

Практична робота №4.

Тема: Основні сучасні методи дослідження рухів

Мета: опанувати та засвоїти основні сучасні методи дослідження рухів

Обладнання: інформаційні дані про сучасні методи дослідження рухів

1. Теоретична частина

1. Чим є руховий образ?
2. Які новітні досягнення науки, техніки складають основу сучасних методів дослідження біомеханіки?
3. Що таке соматометрія, її методи?
4. Яким методом досліджують будову опорно-рухового апарату?
5. Який метод дає важливу інформацію про геометрію мас тіла людини?
6. Що таке кінезіологічні методи, їх складові?
7. Які методи дослідження складають функціональну діагностику?
8. Яке значення калориметрії?
9. Який зміст, значення клінічної електроміографії?
10. Які основні класичні розділи у клінічній біомеханіці?
11. Які нові напрями досліджень сформувалися у новітній біомеханіці?

2. Практична частина

Завдання 1. Скласти схему нових основних розділів сучасної біомеханіки

Завдання 2. Охарактеризувати нові напрями досліджень біомеханіки

Завдання 3. Охарактеризувати найбільш інформативні напрями досліджень у сучасній біомеханіці, вказавши їх зміст.

Зробіть висновки по кожному завданню

1.10. СИСТЕМИ КООРДИНАТ У БІОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ РУХІВ ЛЮДИНИ

Рух - це зміна положення тіла у просторі та часі щодо інших тіл - вибраної системи відліку з плином часу. Положення будь-якої точки тіла на будь-якій лінії, площині та у просторі визначають відповідно одним, двома й трьома числами - координатами (лат. со, cum – разом, лат. ordinatus – впорядкованість) X, Y, Z – система координат. Це числа які характеризують положення точки на площині, або на поверхні тіла у просторі. Для визначення координат будь-якої точки досліджуваних просторових фігур біоланки необхідно застосовувати три числові осі: X (абсциса), Y (ордината) та Z (апліката), які починаються з точки відліку – нульової точки (0), у якій вони перетинаються. Поняття про систему координат першим запропонував французький вчений – фізик, математик, філософ *Рене Декарт*. *Декартова система* координат на площині складається з двох взаємно перпендикулярних осей – абсциси (OX) та ординати (OY), які утворюють *афінну* або *загальну систему*. Нульова точка перетину (0) називається *поліус*.

У зв'язку з тим, що положення тіла людини у будь-який момент часу можна визначити за координатами його точок, то найважливіше завдання біомеханічного аналізу зводиться до того, щоб знайти координати точок тіла у будь-який момент часу. Координатний метод дає змогу визначити положення на площині й у просторі не тільки окремих точок, але й різних ліній та поверхонь, котрими можуть бути, зокрема, окреслення частин тіла, поверхні обличчя, кінцівок тощо. Усі ці плоскі або просторові фігури можуть бути задані за допомогою чисел або числових співвідношень, над котрими можна виконувати практично будь-які математичні операції.

Для того щоб визначити рух тіла, необхідно знати його переміщення. Переміщення тіла, як матеріальної точки це спрямований відрізок прямої, що з'єднує початкове положення тіла з його наступним положенням. Переміщення точки задає напрям, який називається *вектором переміщення*.

При вивченні рухів тіла важливо знати як мінімум дві величини – довжина його переміщення і час, протягом якого це переміщення відбулося. Довжина переміщення (L, l) і час (t) виражаються певними числами і характеризують механічний стан і рухові функції тіла. Перш ніж робити біомеханічний аналіз, слід виміряти ці характеристики. Для того щоб дослідити рухи людини, вимірюють кількісні показники механічного стану і показники рухової функції її тіла та самих рухів – це *біомеханічні характеристики* тіла. Це основні міри механічного стану біосистеми та її зміни – *поведінки*. *Механічний стан* і поведінка кожної біологічної системи, тим більше такої складної, як тіло людини, відрізняється змінним характером, тому характеристики, що описують її стан, називаються не механічними, а біомеханічними. Ця суттєва особливість дає змогу при вивченні враховувати біологічну специфіку рухів тіла людини як цілісної біологічної системи.

На практиці використовують біомеханічні характеристики двох типів — якісні та кількісні. Якісні характеристики дають змогу розрізняти рухи, принципово різні за типами, видами, біомеханічними закономірностями, принципами побудови та особливостями виконання. Наприклад якісно різні *типи рухів*: рухи *навколо вісі* та *локомоторні рухи* - прямолінійні. Кількісні характеристики дають змогу розрізняти та співставляти рухи всередині кожного їх типу, виду тощо. Ці характеристики використовують найчастіше для порівняння зразків одних і тих самих рухів, але виконуваних різними особами. Вимірювання кількісних характеристик таких рухів дає об'єктивну можливість порівнювати якість виконавчої діяльності та визначити рівень рухової майстерності виконавців. *Кількісні характеристики рухів* тіла людини методично зручно розділити на два основних види - *біокінематичні* та *біодинамічні*.

Кінематика — це розділ механіки, що вивчає механічні рухи будь-яких матеріальних тіл у природі – від галактик, зірок до машин-механізмів, атомів. Рухи тіл у кінематиці вивчаються без урахування їхньої інертності та діючих сил. *Кінематика* - це *геометрія рухів*. Поняття *кінематики рухів* включає в основному способи вимірювання положення тіла у просторі щодо інших тіл з плином часу. Основним чинником кінематики та біокінематики є поняття про рух. Зміна руху

відбувається у просторі, а простір описується у певних системах відліку - *координатах*. Умовний простір поділяють на частини – *квадранти*, які в залежності від системи координат поділяють на *прямокутні, косокутні, сферичні* та інші. Розрізняють *координати площинні* та *просторові*: площинні дають змогу відображати положення точки на площині, а просторові - у просторі.

Вивчення рухів біомеханічної системи тіла людини надзвичайно утруднене через складне просторове розташування її численних частин у різні моменти часу. Рух будь-якої точки тіла людини тільки тоді слід вважати встановленим, коли спосіб визначення її положення у будь-який момент часу, у будь-якій площині простору відомі. У біомеханіці існують два способи моделювання тіла людини: перший - уявити її тіло, навіть надмірно складне, як матеріальну точку і другий - уявити тіло людини як *систему матеріальних точок*. Тіло людини можна уявити як матеріальну точку, якщо при дослідженні його розмірами можна знехтувати, припускаючи одночасно, що у матеріальній точці сконцентрована вся маса її тіла. Якщо при вивченні рухів розмірами тіла не можна знехтувати, то воно приймається як система матеріальних точок і може бути графічно зображене у вигляді біокінематичної схеми.

Існують три *способи визначення рухів* тіла людини як матеріальної точки: *природний, координатний* та *векторний*. При цьому використовують такі кінематичні *характеристики руху*, як *траєкторія, швидкість, прискорення*, які визначають *види рухів* точки - *прямолінійні, криволінійні*.

Координатний спосіб моделювання дозволяє отримати більш повне уявлення про рух тіла людини. Визначити положення тіла людини у просторі, застосовуючи цей спосіб, означає встановити місце його точок у просторі відносно обраної системи координат з урахуванням часу. Однак ця проблема ускладнюється тим, що *біоланки*, тобто рухомі частини тіла – *верхні, нижні кінцівки, голова*. Їх частини рухової системи переміщуються за власними траєкторіями і займають у просторі певне місце відносно усього тіла.

При вивченні спортивної техніки, трудових процесів та управління ними часто виникає необхідність визначити не стільки положення усього тіла людини у просторі, скільки відносне взаєморозташування окремих його елементів - *біоланок*.

Закони механіки застосовують для біомеханіки тоді, коли рух тіла людини розглядається у так званій інерціальній системі координат. Оскільки абсолютно нерухомої системи координат практично не існує, то інерціальну координатну систему для тіла людини можна вважати умовно нерухомою системою відліку.

Система біоланок хребетного стовпа людини у фронтальній площині у нормі відповідає напрямку істинної просторової вертикалі. Вісь симетрії проходить через фронтальну площину тіла у ділянці пупка спереду, п'ятого поперекового хребця ззаду й перетинає вертикаль у ділянці п'ятого поперекового хребця. У тому ж місці розташовано загальний центр мас тіла людини у випадку, якщо людина перебуває у положенні *антропометричної стійки*. Ця ділянка являє собою своєрідний геометричний центр симетрії основних мас тіла людини і визначає соматичну систему координат (Рис. 6.).

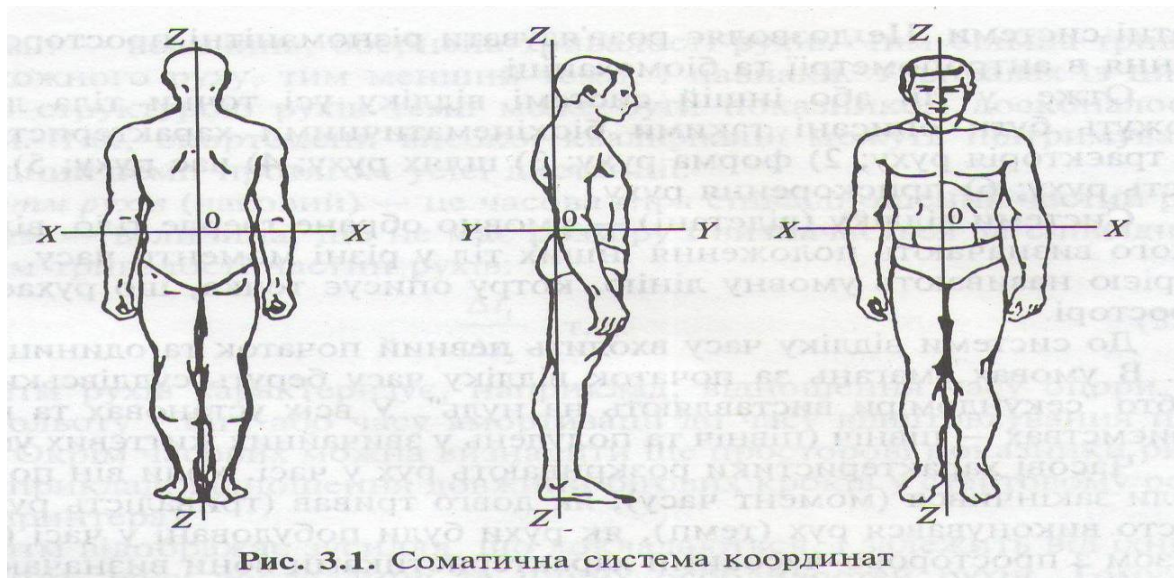


Рис. 3.1. Соматична система координат

Рис. 6. Соматична система координат

Якщо фігура людини перебуває у загальноприйнятому для анатомічних вимірювань - положенні стоячи, то соматична система координат буде умовно інерціальною прямокутною системою. Окрім прямокутної декартової координатної системи для визначення просторових характеристик тіла людини можна застосовувати так звану *косокутну систему координат*, у якій числові осі перетинаються не тільки під прямим кутом. При необхідності використовують інші системи – *еліптичні, полярні, криволінійні, тангенціальні* та інші.

Для розв'язання практичних завдань, дослідження різноманітних проблем у біомеханіці використовують різні методи, зокрема – спостереження, вимірювання, порівняння, які складають основу біомеханічного аналізу.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке система координат, її види та значення у біомеханічних характеристиках людини?
2. Що таке вектор?
3. Що таке біомеханічні характеристики тіла?
4. Що таке поведінка?
5. Які основні види рухів тіла людини ви знаєте, охарактеризуйте їх?
6. Що таке антропометрична стійка?

1.11. Основи біомеханічного аналізу

Для розв'язання ряду конкретних завдань у біомеханіці використовують різні методи. Усучасній біомеханіці як синтетичній науці сформувався власний специфічний *біомеханічний метод* дослідження, основою якого є *біомеханічний аналіз*, без якого неможливо розробити жодної ефективної програми підготовки людини до розв'язання будь-яких координаційно складних рухових завдань.

Біомеханічний аналіз являє собою один із способів дослідження рухової діяльності людини. Це ефективний логічний прийом вивчення складних і багатомірних систем, за допомогою якого рухи людини ніби розчленовуються на складові частини, які потім досліджуються диференційовано для більш глибокого їх пізнання як єдиного цілого. Разом з тим біомеханічний аналіз не зводиться до простого розчленування складних об'єктів, котрі вивчаються, на їхні складові елементи. Біомеханічний аналіз — це тільки початок об'єктивного дослідження руху. З ним тісно пов'язаний *біомеханічний синтез* – поєднання результатів дослідження рухів елементів тіла в єдине ціле – рух

тіла. Це необхідно для моделювання складних систем рухів з метою використання їх у різних розділах медицини, ергономіки та прикладної дидактики рухової діяльності людини.

У практиці педагогічної діяльності тренера, учителя фізкультури зрідка доводиться використовувати біомеханічний аналіз, враховуючи певні типи рівноваги тіла спортсмена. Найбільшим інтересом є встановлення ступеня його стійкості. Для того щоб розв'язати це завдання, визначають *критерії стійкості*. До основних критеріїв стійкості належать: висота розташування загального центра мас тіла над опорою; місце проходження лінії тяжіння відносно опори; величина його площі опори; кути стійкості тіла у різних площинах простору, котрий воно займає; відповідні цим площинам моменти стійкості та перекидні моменти, а також його коефіцієнт стійкості. Визначення усіх цих критеріїв обов'язкове при біомеханічному аналізі положень тіла людини, яка перебуває у рівновазі. До всіх названих критеріїв слід додати критерії, що важко піддаються кількісному аналізу, зокрема ступінь відносної рухомості біоланок тіла людини, особливості функціонування життєво важливих систем організму, що обслуговують рухову систему та забезпечують відповідні силові можливості м'язової системи, а також деякі інші чинники.

У біомеханічному аналізі рухових дій найчастіше оцінюється рух не тільки окремих точок, але й усієї системи точок тіла. Найпростішим рухом усього тіла людини є поступальний рух (усі точки тіла при цьому мають однакові траєкторії). Більш складним є обертальний рух тіла (усі точки тіла при цьому описують кола різного радіуса, але мають одну загальну вісь обертання). Цей рух також може бути рівномірним або перемінним. Біокінематичними характеристиками такого руху є кутові переміщення (ϕ), кутова швидкість (ω) та кутове прискорення (a). При обертальному русі кожна точка тіла людини описує коло і проходить відповідний шлях, величина якого за одиницю часу характеризує лінійну швидкість (v) даної точки, котра тим більша, чим на більшій відстані знаходиться від осі обертання (r). Лінійна швидкість точки тіла при даній кутовій швидкості прямо пропорційна її відстані до центра обертання тіла.

У біомеханічному аналізі враховують такі умови рівноваги, за яких тіло людини перебуває під дією не тільки власної ваги (P), але й додаткової перекидної сили ($P_{\text{пер}}$). Вона намагається обернути тіло людини навколо якоїсь осі, що часто проходить через опорну площину, у той час як сила ваги протидіє її перекидному впливу. Такі положення часто спостерігаються у спортивній боротьбі та інших видах єдиноборств, коли суперники своїми діями спеціально створюють такі сили, котрі спрямовані на те, щоб перекинути один одного на килим або ринг. Момент такої сили відносно осі можливого обертання називається *перекидним моментом* ($M_{\text{пер}}$). Він вимірюється добутком сили $M_{\text{пер}}$ на плече її прикладання до тіла (h): $M_{\text{пер}} = F_{\text{пер}} h$. За таких умов спряжений з ним момент стійкості можна розглядати як стримуючий момент.

Починається біомеханічний аналіз із вимірювання систем біомеханічних характеристик руху – маси тіла, його швидкості, прискорення. Потім встановлюються закономірності їхніх взаємозв'язків та системоутворюючих елементів руху як цілого. Далі, у разі необхідності, визначається внесок кожного елемента у реалізацію цільової функції. Розділ біомеханічного аналізу - *біокінематика* (від грецьк. біос — життя, кінематос - рух) вивчає рух живих тіл та біологічних систем. Розділ біомеханічного аналізу - *біодинаміка* (гр. біос — життя, динамос - сила) вивчає дію сил, що забезпечують рух тіла людини та іншим біологічним системам. *Динаміка* — це розділ механіки, що вивчає силові причини руху усіх матеріальних тіл у природі. Отже, біомеханічний аналіз досліджує рухові, силові характеристики рухів, зокрема людини. При вивченні рухів тіло людини часто умовно визначають як умовну матеріальну точку. Це припустимо тільки у тому випадку, якщо розміри тіла настільки малі порівняно з відстанню, на котру воно переміщується, що ними можна знехтувати. У випадках, коли з будь-яких практичних міркувань розмірами тіла знехтувати неможливо, за матеріальні точки беруть окремі його частини, ланки і розглядають у цьому разі як систему матеріальних точок. Якщо відстань між окремими точками системи не змінюється, її називають матеріальною системою, що не змінюється, або абсолютно твердим тілом.

Усі рухи людини відбуваються у часі та у просторі. Час береться однаковим у будь-якій точці простору, у будь-якій системі відліку. Під простором, у котрому рухається тіло людини, розуміють

евклідов тривимірний простір, який позначають координатами X, Y, Z . При цьому вважається, що маса тіла, як кількісна міра інертності її тіла залишається увесь час незмінною і не залежить від руху. Для об'єктивного пізнання закономірностей виконання рухів широко застосовуються різні біомеханічні методи дослідження, розроблені відповідно до сучасних наукових поглядів на їх природу, що відображають специфіку біомеханіки та її основних принципових методичних положень. У процесі аналізу використовується великий ряд фундаментальних відомостей з механіки, математики. До найважливіших із них відносять насамперед поняття про *механічний рух*.

Запитання для самоперевірки

1. Яка роль системи координат у біомеханічних характеристиках рухів?
2. Як пов'язані поняття вектор переміщення, механічний рух.?
3. Що являє собою біомеханічний аналіз?
4. Що таке біомеханічний синтез?
5. Чим починається біомеханічний аналіз?
6. Реєстрація біокінематичних характеристик тіла людини
7. Охарактеризуйте основні критерії стійкості
8. Які умови враховують у біомеханічному аналізі?
9. Що таке біодинаміка як розділ біомеханічного аналізу?
10. Що таке перекидний момент, його роль у біомеханічному аналізі?

Практична робота №5.

Тема: Роль біомеханічного аналізу при фізичних навантаженнях, реєстрації біокінематичних характеристик тіла людини

Мета: закріпити теоретичні знання з теми і отримати практичні навички визначення основних характеристик тіла людини за допомогою кіно- та відеозйомки

Обладнання: інформаційні матеріали – матеріали лекцій, підручники

I. Теоретична частина

1. У чому зміст біомеханічного аналізу та синтезу
2. Що віднесено до основних критеріїв стійкості?
3. Охарактеризувати критерії, що важко піддаються кількісному аналізу.
4. Що таке перекидний момент, як він вимірюється
5. Яка послідовність побудови біокінематичної схеми фізичної вправи за кінограмою?
6. Як визначити кутові переміщення тіла людини?

II. Практична частина

Завдання 1. Охарактеризуйте основні критерії стійкості.

Завдання 2. Охарактеризуйте роль перекидного момента у біомеханічному аналізі рухів людини.

Завдання 3. Скласти схему біомеханічного аналізу, вказавши його основні розділи.

Завдання 4. Охарактеризувати основні методи біомеханічного аналізу

Завдання 5. Охарактеризувати системи координат, як використовують у проведенні біомеханічного аналізу рухів.

1.12. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ У СПОРТИВНІЙ БІОМЕХАНІЦІ

Сучасні науки, зокрема природничі: хімічні, біологічні, фізичні, спортивні використовують математичні методи оцінки отриманих результатів для прогнозування подій. Екологія – наука прогностична і з допомогою розрахунків передбачає ефекти пов'язані з парниковим ефектом, руйнуванням озоносфери, швидкості вичерпання природних ресурсів. За допомогою математичної статистики, теорії вірогідності отримують рівняння, які характеризують хід різних процесів, що

дозволяє передбачати майбутній стан різних систем – зростання або зменшення популяцій, оцінювати їх вік, швидкості змін в них.

Отже, кожен факт, вимірювання є основою науки, бо як казав *Тімірязєв*: ➔Істинна наука базується тільки на фактах та логіці і постійно рухається по шляху достовірності свого знання➔. За *І.П.Павловим* – ➔...факти – це повітря вченого. Без них ваші ➔теорії➔ – пусті потуги➔. Але самі факти, цифри – ще не наука, бо це тільки купа каміння, з якого потрібно побудувати будинок – рівняння, яке характеризує певний процес.

Основи сучасних методів аналізу цифрових даних заклав *Р. Декарт* (1596-1650), який створив вчення про функціональні залежності між змінними величинами, про координати. Пізніше *І. Ньютон* (1643-1727) та *Лейбніц* (1646-1716) створили основи диференціального та інтегрального обчислення. В середині 17 сторіччя виникли теорія вірогідностей та математична статистика. Першими тут були: *Ферма* (1601-1665), *Паскаль* (1623-1662), *Гюйгенс* (1629-1695), *Бернуллі* (1654-1705), *Гаусс* (1777-1855), *Лаплас* (1749-1827), *Чебишев* (1821-1894).

Першими методи математичної статистики використали *Галілео Галілей* (1564-1642), *Борелі* (1608-1679) при вимірюванні живих об'єктів. У 1768 році французький гіпполог *Буржель* видав книгу ➔Екстер'єр коня➔, де навів алгоритм вимірювання, щоб судити про можливість використання тварин у певних умовах.

У 1825 році бельгійський вчений *Кетле* (1796-1874) видав книгу «О человеке и развитии его способностей», или «Опыт социальной физики» і надав великий статистичний матеріал. В 1871 році з'явився його праця ➔Антропологія➔. Дослідження Кетле довели, що у природі вірогідності повторюються в певних закономірностях, які можна характеризувати точними математичними розрахунками.

Подальший розвиток ці методи отримали в роботах англійських вчених *Гальтона* (1822-1911), *Пірсона* (1857-1936), англійського статистика та одночасно хіміка Госсета (1876-1937), який працював у пивоваренній промисловості, відомого під псевдонімом «*Стьюдент*». Вони розробили методи, які дозволяли отримувати надійні, достовірні результати з відносно малих кількостей спостережень, так званої ➔малої виборки➔ (n), на відміну від великої – генеральної (N). Особливий вклад в розробку методів математичного прогнозування зробив *Фішер* (1890-1962).

Генеральна вибірка - це теоретично нічим не обмежена сукупність елементів ($N \cdot \leftarrow$) даної їх множини. Наприклад, це сукупність всіх особин даної популяції - людей, певного виду рослин, тварин. Але ж неможливо, щоб зробити певний висновок, дослідити за певним параметром всю генеральну сукупність, наприклад людей, яких на планеті більше 7 мільярдів, або 48 млн населення України, щоб зробити певні достовірні висновки про певні питання. Тому досліджують певну обмежену кількість - *вибіркову сукупність* (n). Отже висновки, отримані на сукупності з n -членів повинні бути достовірними і для N -генеральної сукупності. А це можливо тоді, коли вибірка (n) *репрезентативна* (лат. - представляти), тобто висновки можна розповсюдити на всю генеральну сукупність. Таке представництво досягається за допомогою *рандомізації* (англ. - випадок) - випадкового відбору членів вибіркової сукупності. Для цього створюють угруповання, яке потрібно дослідити і математично охарактеризувати. Угруповання за однією ознакою - проста, за декількома - складна. Якщо між ознаками, властивостями існують певні зв'язки, то їх називають *кореляційними* (лат. – взаємопов'язаними). Наприклад, існує зв'язок між класом тварин і кількістю гемоглобіна в г на кг маси тіла (г/кг):

Класи тварин	Риби	Амфібії	Рептилії	Птахи	Ссавці
Гемоглобін, г/кг	1,6	2,9	3,8	11,2	11,7

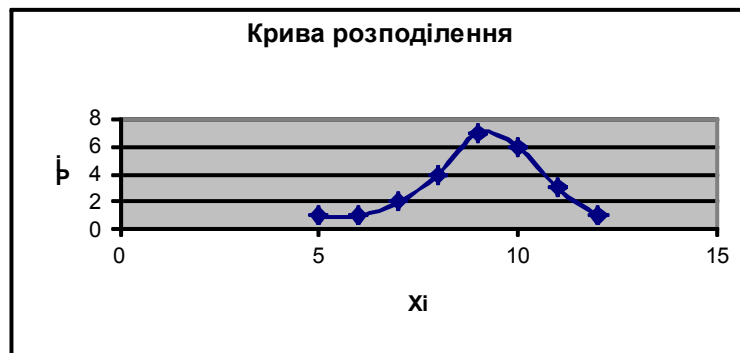
Такі ряди залежних даних утворюють статистичні ряди, які поділяють на атрибутивні, як вище наведений, варіаційні та часові.

1.12.1. Поняття про варіаційні ряди, їх властивості

Варіаційні ряди - закономірність розподілу одиниць досліджуваної сукупності за ранжированими значеннями. Такий ряд зв'язує значення ознаки (X) та кратність її повтору (p - варіантність). Наприклад:

Значення ознаки (X _i):	5	6	7	8	9	10	11	12
Її повторюваність (p _i):	1	1	2	4	7	6	3	1

Результати даного розподілення представлені на графіку:



Однією з характеристик варіаційного ряду є показник варіації – найбільше і найменше значення. Розмах варіації (R) – характеристика варіювання, зміни ознак: $R = X_{\max} - X_{\min}$. Характерною, постійною ознакою ряду певної залежності є *дисперсія* (лат. – розсіювання, розкид)

або середній квадрат відхилень (S^2_x), яку визначає формула: $S^2_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}{n - 1}$, де n – кількість членів ряду, або кількість спостережень (n), а (n-1) – кількість ступенів свободи.

1.12.2. Коефіцієнт кореляції

Між взаємопов'язаними величинами X – аргументом, незалежною величиною та Y – функцією (величина залежна від X) може існувати зв'язок, який характеризує коефіцієнт кореляції r. Таку залежність характеризує рівняння $Y = f(x)$. Між досліджуваними величинами X та Y може існувати певна залежність, наприклад залежність маси тіла від віку, або швидкості тіла від часу подолання певної відстані. Залежність однієї величини від іншої – це *кореляція* (лат. – взаємозв'язок), тобто залежність між певними явищами, об'єктами, величинами.

Кореляційний зв'язок ($r_{x,y}$) може бути лінійним або криволінійним, позитивним або негативним. Коефіцієнт кореляції – показник зв'язку між X та Y може приймати значення від -1 до +1, при $r=0$, зв'язок між X та Y відсутній. Чим тісніший зв'язок між X та Y тим більше значення r_i наближається до +1 або до -1. Значення r обчислюють за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \bar{x} \sim y_i \bar{y}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \bar{x}^2 \sum_{i=1}^n y_i^2 \bar{y}^2}}$$

Коефіцієнт кореляції ($r_{x,y}$), як випадкова величина, супроводжується похибкою, яку визначають формулою: $S_r = 1 - r_{xy}^2 / \sqrt{n}$ для значення $n > 100$, а коли $n < 100$, то $S_r = 1 - r_{xy}^2 / \sqrt{n - 2}$. Коефіцієнт кореляції достовірний, якщо значення $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, де: $t_{\text{ф}} = r \sqrt{n - 2} / \sqrt{1 - r^2}$, $t_{\text{ст}}$ – табличне значення при певному рівні значимості (p) та ступені свободи $F = n - 1$, які наведені нижче у таблиці 1.

1.12.3. Довірчі інтервали. Оцінка достовірності коефіцієнта кореляції

Як будь-який результат коефіцієнт кореляції може мати похибку обчислення, тобто бути недостовірним у певних межах. Користуючись приладами для вимірювання, або виконуючи обчислення треба обов'язково вказати значення похибок – вимірювання, обчислення. Таке значення буде залежати від класу точності приладу, точності методики обчислень і тому заздалегідь можна визначити похибку. Її характеризує рівень значимості (p) – заздалегідь визначена похибка, або вірогідність неточності результату. Отже, чим більше значення (p), тим точніший результат. Точність результату можна підвищити, якщо збільшити кількість вимірювань (n), або число ступенів свободи (F=n-1), але до певної міри. При збільшенні, до певної кількості, точність вимірювань зростає, а далі – зменшується. Це так зване *розподілення Стьюдента*, або двосторонній критерій, який можна визначити, користуючись таблицею:

Число ступенів свободи F=n-1	Рівні значимості (p)				
	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,31	12,71	31,82	63,66	636,62
2	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
4	2,13	2,78	3,75	4,6	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,9	2,37	3,00	3,5	5,41
8	1,86	2,31	2,9	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59

Довірчі інтервали - це відхилення (a) середньої величини (\bar{X}) в сторону збільшення або зменшення, тобто ($\pm a$) для \bar{X} . В будь-якому паспорті приладу, точності методики виконання обов'язково вказують допустимі інтервали відхилення ($\pm a$), спосіб обчислення яких треба знати. Щоб обчислити значення ($\pm a$) заздалегідь треба обрати очікувану неточність результату: 0,1; 0,05; 0,01; 0,001, що відповідає точності – 90%; 95%; 99%; 99,9. Для цього знаходимо середні значення X та Y.

Знаходимо значення t для розподілення \rightarrow Стьюдента \leftarrow при данному значенні числа ступенів свободи (f=n-1) та рівнях значимості (p). При p=0,05 та f=3; t=3,18. Важливе значення має

дисперсія (S_x) випадкової величини з даної генеральної сукупності:
$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

Наприклад, маємо два значення: 4,5 та 4,7 після деякого вимірювання. Тоді:
$$X_{\text{ссе}} = \frac{4,5 + 4,7}{2} = 4,6, \quad S_x = \sqrt{\frac{(0,1)^2 + (0,1)^2}{2-1}} = 0,14$$

Число ступенів свободи f=n-1=2-1=1 при f=1 та p=0,05 значення Стьюдента (t) дорівнює 12,71.

Довірчі інтервали ($\pm a$) для середньої величини \bar{X} визначає формула: $a = \frac{t \cdot S_x}{\sqrt{n}}$ отже

$a = \frac{12,71 \cdot 0,14}{\sqrt{2}} = 1,27$, звідси маємо інтервал, який визначається нерівністю: $-1,27 < 4,6 < 1,27$, тобто $4,6 \pm 1,27$.

Дисперсія (S_x^2), або середнє квадратичне відхилення - величина абсолютна, іменована і тому значення її виражають тими ж одиницями виміру, що і вихідні. Це не завжди прийнятно, коли потрібно порівняти мінливість ознак, які виражені різними одиницями. Тому К. Пірсон

запропонував коефіцієнт варіації: $V = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100\%$, або мінливості і чим він менше, тим точніший результат. Він дозволяє порівнювати варіювання в різних групах. Наприклад: а) для розподілення 35 особин однієї популяції при $\bar{x} = 2,1$ середнє квадратичне відхилення (S_x^1) ваги особини дорівнює 0,574 кг, а для кількості народжених в іншій популяції S_x^2 дорівнює 1,855 при $\bar{x} = 8,25$. Чи значить це, що ознака S_x^2 варіює більше, ніж у першому випадку. Для цього порівняємо коефіцієнти варіації (V_1) та (V_2): $V_1 = \frac{0,574}{2,1} \cdot 100\% = 27,3\%$ та $V_2 = \frac{1,855}{8,25} \cdot 100\% = 22,5\%$. Отже, видно що в першому випадку (S_x^1) варіація більша, а отже точність вимірювання менша.

1.12.4. Квадратична та кубічна дисперсії

Більш точними є середня квадратична, та середня кубічна середньої величини \bar{x}_k . Наприклад вимірювання площини тіла, його об'єму, що важливо для водних видів спорту. При визначенні розміру площі величиною діаметра, від якого залежить результат, більш точні оцінки дає \bar{X}_q , яку визначають за формулою: $X_q = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}$, або при повторенні окремих варіантів p_i : $X_q = \sqrt{\frac{\sum p_i x_i^2}{n}}$. Наприклад, при вимірюванні площ території одного і того ж виду отримані дані - діаметр X_i : 8; 11; 13; 15; 16; 17 (м) при кількості повторів або варіантів P_i : 1; 1; 2; 3; 2; 1 - повторення значень (X). Розрахуємо середню арифметичну $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$, яка дорівнює 13,9 м та значення її дисперсії $X_q = \sqrt{\frac{\sum p_i x_i^2}{n}}$; яка склала $1 \cdot 8^2 + 1 \cdot 11^2 + 2 \cdot 13^2 + 3 \cdot 15^2 + 2 \cdot 16^2 + 1 \cdot 17^2 = 1999$, а отже $\bar{X}_q = \sqrt{\frac{1999}{6}} = 14,1$ кв. м, що точніше чим значення 13,9 кв. м. Якщо вимірюються об'ємні ознаки (визначаються кубічними одиницями вимірювань), використовують не середню арифметичну, а середню кубічну: $\bar{X}_{куб} = \sqrt[3]{\frac{\sum x_i^3}{n}}$, з врахуванням окремих варіантів P_i .

При визначенні середніх приростів, або збільшенні лінійних розмірів тіла, прироста ваги тіла, що важливо для силових видів спорту, за певний проміжок часу потрібно користуватися значенням середньої геометричною: $\bar{P}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$, або $\lg^* \bar{x}_g = \frac{1}{n+1} \lg x_1 + \lg x_2 + \dots + \lg x_n = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n \lg x_i$, тобто логарифм середньої геометричної дорівнює середній арифметичній з логарифмів всіх членів даної сукупності.

Знаючи логарифмічні значення середніх арифметичних $\lg x_n$ та $\lg x_0$ за проміжок часу t_n та t_0 можна визначити середній темп (швидкість) змін певної ознаки за проміжок часу, коли відомі тільки дві ознаки - початкова (x_0) та кінцева (x_n): $\lg \bar{P}_g = \frac{\lg x_n - \lg x_0}{n+1}$.

Наприклад, за п'ять років розміри тіла збільшилися з 26,3 до 31 (на 17%). Визначимо швидкість зміни, для чого обчислимо $\lg \bar{x}_g = \frac{1}{(5+1)} * (\lg 31 - \lg 26,3) = \frac{0,07140}{4} = 0,01785$, або

$\bar{x}_g \approx 0,1044$ отже 10,44%. Звідси середньорічне збільшення склало $10,44:5=2,1\%$ приросту за один рік.

1.12. 5. Оцінка достовірності виміряних значень

Часто при вимірюванні значень деякої величини можуть виникати викиди, різкі відхилення від середнього значення, які потрібно оцінити і на підставі аналізу вибракувати деякі значення. Тому необхідно перейти від параметрів генеральної сукупності – N (дуже великі значення N) до малої вибірки (n). Для цього використовують так званий г-критерій або двосторонній, або розподілення. Для цього необхідно для кожного значення із загальної кількості вимірювань n знайти \bar{x} (середнє)

і обчислити двосторонній критерій $r_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x \sqrt{\frac{n-1}{n}}}$, де s_x - дисперсія, $s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$, тобто

відхилення від середнього значення. Кожне отримане значення r_i потрібно порівняти з табличними значеннями г для різних рівней значимості, так званого двостороннього критерію, з табл. 2

Табл. 2.

Значення г для різних рівней значимості (двосторонній критерій)

Число ступенів свободи, F=n-2	Рівні значимості			
	0,1	0,05	0,01	0,01
1	1,397	1,409	1,414	1,414
2	1,559	1,645	1,715	1,73
3	1,611	1,757	1,918	1,982
4	1,631	1,814	2,051	2,178
5	1,64	1,848	2,142	2,329
6	1,644	1,87	2,208	2,447
7	1,647	1,885	2,256	0,54
8	1,648	1,895	2,294	2,616
9	1,649	1,903	2,324	2,678
10	1,649	1,91	2,348	2,73

Коли $r_i < r_{табл.}$, як і у випадку двостороннього критерію Стюдента (табл. 2), то відповідне початкове значення вимірювання достовірне.

Припустимо, отримані значення 28,6; 28,30; 28,4; 28,2 і треба визначити, яке з них недостовірне. Знаходимо для кожного значення величину r_i (коефіцієнта кореляції), при

середньому арифметичному $\bar{x} \approx 28,38$; $s_x = \sqrt{\frac{n-1}{n}} \approx 0,17 \cdot \sqrt{\frac{4-1}{4}} \approx 0,15$; тоді: $r_1 = \frac{28,60 - 28,38}{0,15} \approx 1,47$

$r_2 = \frac{28,30 - 28,38}{0,15} \approx -0,53$; $r_3 = \frac{28,40 - 28,38}{0,15} \approx 0,13$; $r_4 = \frac{28,20 - 28,38}{0,15} \approx -1,2$. Ці значення r_i

потрібно оцінити за допомогою двостороннього критерія (г) при $f = n-1 = 4-2 = 2$ та рівнях

значимості (довірче значення 90%, 95, 99%). В даному випадку при $f=2$ та $p=0,1$ $r=1,559$, а при $p=0,05$ $r=1,645$, при $p=0,01$ $r=1,715$. Всі вище обчислені значення r менше табличних, отже вихідні значення вимірювань достовірні.

Інший приклад. З $n=5$ вимірювань були отримані результати: $\bar{X}=28,40\%$, $S_x=0,20$ і значення одного вимірювання склало 28,76 і треба його оцінити: $r_i = \frac{28,76 - 28,40}{0,2 \sqrt{\frac{4}{5}}}$. Отже при $n=5$, $f=n-2=3$

та при $p=0,1$, $r_{\text{табл.}}=1,611$, а $r_i=2$.

Але $r_i > r_{\text{табл.}}$, а тому відповідне значення недостовірне.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке кореляція, варіаційний ряд, дисперсія, їх значення?
2. Що таке коефіцієнт кореляції, як його визначити?
3. Що таке довірчий інтервал, як його оцінити?
4. Чим визначається розподілення Стюдента?
5. Чим і як визначити дисперсію?
6. Що таке коефіцієнт варіації, як його визначити?
7. Що таке квадратична та кубічна дисперсії, їх застосування?
8. Як оцінити достовірність виміряних значень?

1.12.6. Алгоритм розрахунків коефіцієнта кореляції та коефіцієнтів прямолінійної регресії.

Для цього використовуємо формули коефіцієнта кореляції r та коефіцієнтів регресії (а) та (б) для прямолінійної залежності виду $y=a+bx$ і послідовно розраховуємо: 1) $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$; 2) $\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$;

3) $\sum xy$; 4) $\sum x^2$; 5) $\sum y^2$; 6) $\sum x \cdot \bar{y} = \bar{y} \sum x$; 7) $r_{xy} = \frac{\sum x \cdot \bar{y} - \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2 - \bar{x}^2)(\sum y^2 - \bar{y}^2)}}$

Отже, треба здійснити 7 послідовних операцій, за результатами можна обчислити значення коефіцієнта кореляції. Знаючи коефіцієнт кореляції можна вирахувати коефіцієнти а та б прямолінійної залежності виду $y=A+Bx$, а отже отримати кореляційне або регресійне рівняння отриманої залежності. Для цього необхідно обрахувати значення А та В за нижче наведеними формулами для їх обчислення.

Розрахунок коефіцієнтів регресії Y, X та A і B:

1) $Y=A+BX$; 2) $X=B'Y+A'$; 3) $B = r_{xy} \sqrt{\frac{\sum y^2 - \bar{y}^2}{\sum x^2 - \bar{x}^2}}$;

4) $B' = r_{xy} \sqrt{\frac{\sum x^2 - \bar{x}^2}{\sum y^2 - \bar{y}^2}}$; 5) $A = \bar{y} - B \bar{x}$; 6) $A' = \bar{x} - B' \bar{y}$;

Отримавши цифрові значення А та В отримуємо формулу певної залежності у вигляді певного рівняння, що відображає досліджувані результати. Наприклад, використовуючі вище наданий алгоритм розрахувати коефіцієнт кореляції та рівняння за даними, наведеними у таблиці:

N	X	Y
1	0.032	0.106

2	0.045	0.114
3	0.060	0.122
4	0.051	0.104
5	0.057	0.102
6	0.063	0.108
7	0.077	0.111
8	0.047	0.088
9	0.055	0.086
10	0.070	0.091

1.12.7. Планування досліджень

Кожне дослідження спрямоване на розкриття сутності певного явища, встановлення причинно-наслідкових зв'язків. Кількість дослідів повинна бути мінімальною, а результат максимально достовірним. Отже, планування досліджень повинно складатися з певної кількості етапів: 1) визначити розмах варіювання досліджуваної ознаки; 2) визначити необхідну кількість експериментів (n) – малу вибірку, щоб точність результату вимірювання була максимальною; 3) визначити кількість повторень дослідів (вимірювань); 4) дати оцінку якості кожного отриманого результату. Щоб визначити необхідний об'єм вибірки (n), треба знайти середні значення (X та Y) та середнє квадратичне відхилення. Ці значення дозволяють застосувати показник точності (C_s). Для цього необхідно знайти середнє арифметичне значення для мінімального і максимального значень: $\bar{X} = (X_{\min} + X_{\max})/2$. Після цього обчислюємо величину середнього квадратичного відхилення - значення (S_x) за формулою: $S_x = (X_{\max} - X_{\min})/K$, де K – табличне значення, яке залежить від величини малої вибірки – кількість вимірювань, дослідів (n):

N	2-5	6-15	16-49	50-200	201-1000	$n > 1000$
K	2	3	4	5	6	7

Наприклад, ліміти відхилення вмісту кальцію (мг%) у сироватці крові в більшу або меншу сторони склали $X_{\min} = 9,0$ та $X_{\max} = 14,7$. Припустимо, було виконано 100 спостережень, аналізів ($n = 100$) і треба визначитися наскільки достовірні результати та чи потрібно далі вести спостереження. Для цього обчислимо середнє значення $\bar{X} = (9 + 14,7)/2 = 11,85$ мг% та $S_x = (14,7 - 9)/5 = 1,14$. Для визначення показника точності (C_s) вибіркової середньої (\bar{X}) треба розрахувати величину похибки $S_x = S_x/\sqrt{n}$ або $S_x = (X_{\max} - X_{\min})/K\sqrt{n}$: $S_x = 1,14/\sqrt{100} = 0,114$. Отже, $C_s = (100S_x)/\bar{X} = (100 \cdot 0,114)/11,85 = 0,96$. отримане значення (0,96) близьке до одиниці, отже отримані результати достовірні, а кількість вимірювань (мала вибірка n) достатня.

Кожний вид спорту об'єднує значні комплекси фізичних вправ, котрі мають спеціальну рухову спрямованість і становлять його спортивну техніку. Біомеханіка розглядає спортивну техніку як складну динамічну систему дій, що ґрунтується на раціональному використанні рухових можливостей людини і спрямована на розв'язання конкретного завдання у тому або іншому виді спорту, зокрема на досягнення високих спортивних показників. Для цього використовують біомеханічний аналіз спортивної техніки, який є важливою передумовою для наукового обґрунтування та раціоналізації самого процесу навчання рухів у спорті, а також для профілактичного, оздоровчого та лікувального застосування фізичних вправ у лікувальній фізичній культурі.

Для розв'язання поставлених завдань біомеханіка використовує різні методи дослідження, запозичені з анатомії, фізіології, педагогіки, механіки, математики та інших наук. Разом з тим вона розробила власні оригінальні способи вивчення рухів, котрі сформувалися у самостійні методичні прийоми, що визначають так званий *біомеханічний метод дослідження*.

Запитання для самоконтролю

1. Яке значення математичних методів в екологічних дослідженнях?
2. Що таке коефіцієнт кореляції, його зміст і значення, як його обчислити?
3. Що таке кореляційний аналіз, як обчислити рівняння прямолінійних або криволінійних залежностей?
4. Що таке планування досліджень?
5. Як визначити необхідний об'єм вибірки (n)?

Практична робота №6.

Тема: Математичні методи обробки результатів досліджень у спортивній біомеханіці

Мета: засвоїти основні етапи розрахунків результатів досліджень, вимірювань

Обладнання: інформаційні дані про біомеханіки як прикладної науки

1. Теоретична частина

1. Чим є факти, результати досліджень для науки
2. Які вчені розвинули математичні методи досліджень
3. Що таке генеральна виборка, вибіркова сукупність, рандомізація
4. Яка послідовність обчислення коефіцієнта кореляції

2. Практична частина

Завдання 1. Записати математичні формули, необхідні для обчислення результатів

Завдання 2. Обчислити коефіцієнт кореляції та кореляційні рівняння, виходячи з вимірних вказаних параметрів власного тіла і зробити висновки.

Завдання 3. Обчислити коефіцієнт кореляції та кореляційні (або регресійні) рівняння (обрахувати коефіцієнти А та Б для рівняння $y = Ax + B$), виходячи з наданих результатів залежності величини росту (см) та розміру грудної клітини чоловіків та жінок віком 25-30 років, наведених у таблиці:

Чоловіки		Жінки	
Зріст (см)	Грудна клітина	Зріст (см)	Грудна клітина
155	56	155	55,2
160	60	160	58,5
180	75,2	180	68,9
185	79,2	---	---

Зробити висновки

1.13. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ БІОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТА ЛЮДИНИ

Рух, при якому матеріальна точка переміщується по прямій і за однакові проміжки часу проходить однакові відрізки шляху, називається *рівномірним прямолінійним*. Шлях, пройдений цією точкою, є пропорційним часові руху. Рух, при якому точка за рівні відрізки часу проходить неоднакові ділянки шляху, називається *змінним і нерівномірним*. Рух, при якому швидкість зростає, називається *прискореним*. Нерівномірний рух з постійним прискоренням називається *рівномірно-змінним*. Шлях тієї чи іншої точки при такому русі є пропорційним квадрату часу.

Шлях, який пройдений тілом у *рівнозмінному русі* визначає формула: $S = V_0 t + at^2/2$, де S – шлях пройдений тілом, що рухається з прискоренням (a) за певний час (t). У такому русі в кінці пройденого шляху швидкість (V) залежить від початкової швидкості (V_0) та прискорення (a) і визначається формулою: $V^2 = V_0^2 + 2aS$.

Прискорення точки (a) це просторово-часова міра зміни руху точки і визначається формулою: $a = (V_t - V_0)/t$, де a – прискорення ($м/с^2$), V_t – швидкість тіла набута за певний час t , V_0 – початкова швидкість, яку приймають за нульову. Звичайно прискорення такої точки визначається за змінами її швидкості у часі. Ця величина векторна і характеризує величину зміни швидкості за певний час і напрямом у даний момент (миттєве прискорення). Прискорення системи тіл, що змінюють свою

конфігурацію, визначається ще складніше, ніж швидкість. Прискорення є показником якості докладених зусиль, тобто є біодинамічною (силовою) характеристикою руху.

Рух будь-якої рухомої системи відліку відносно Землі у механіці розглядають як *переносний рух* (наприклад, рух човна по дистанції). Рух тієї чи іншої точки тіла людини, що знаходиться у човні, відносно човна буде *відносним рухом*, а рух цієї самої точки тіла відносно Землі, або нерухомих об'єктів на березі слід вважати абсолютним (або складним). Абсолютна швидкість руху цієї точки у такому випадку виражається діагоналлю паралелограма, побудованого на векторах відносної та переносної швидкості.

Важливим є *момент часу* [t] - це часова міра положення точки тіла щодо початку відліку. Момент часу визначають проміжком часу до нього від початку відліку: [t]=T. Визначають момент часу не тільки для початку та закінчення руху, але й для інших важливих миттєвих, проміжних положень. Насамперед це моменти суттєвої зміни руху: закінчується одна частина руху і починається наступна. За моментами часу визначається тривалість руху.

Тривалість руху - це часова міра, котра вимірюється різницею моментів часу закінчення і початку руху і являє собою проміжок часу між двома моментами часу, що його обмежують. Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм. Всі *біомеханічні характеристики* ділять на *кінематичні* - характеризують зовнішній вигляд рухової діяльності, *енергетичні*, які характеризують кількість витраченої енергії у русі та *динамічні* - несуть інформацію про причини зміни рухів, зокрема *енергетичні* (табл. 3).

Табл.3

Класифікація біомеханічних характеристик та їх одиниці вимірювання

Біомеханічні характеристики та одиниці вимірювання				
Кінематичні		Енергетичні	Динамічні	
Для поступального руху	Для обертально-го руху	Для поступального та обертального рухів	Для поступального руху	Для обертально-го руху
<i>м</i> переміщення	<i>град</i>	Робота, <i>Дж</i>	Маса, <i>кг</i>	Момент інерції, <i>кг·м²</i>
<i>с</i> тривалість часу (сек., <i>с</i>)	<i>с</i>	Енергія, <i>Дж</i>	Сила, <i>Н</i>	Момент сили, <i>Н·м</i>
<i>м/с</i> швидкість	<i>град/с</i>	Потужність, <i>Вт</i>		
<i>м/с²</i> Прискорення	<i>град/с²</i>	Економічність, %	Імпульс сили, <i>Н·с</i>	Імпульс моменту сили, <i>Н·м·с</i>
<i>1/хв</i> темп-ритм	<i>1/хв</i>	Економічна вартість, <i>Дж/м</i> , та пульсова вартість, <i>1/м</i>	Кількість руху, <i>кг·м/с</i>	Кінетичний момент, <i>кг·м²/с</i>

Темп - величина, обернена тривалості рухів. Чим більша тривалість кожного руху, тим менший темп, і навпаки. У вправах із циклічною структурою рухів темп може бути показником досконалості техніки. Так, спортсмени високої кваліфікації можуть підтримувати необхідний темп протягом усієї дистанції.

Темп рухів — це часова міра їх повторюваності. Він вимірюється кількістю рухів, що повторюються, за одиницю часу (частота рухів).

Ритм рухів (часовий) — це часова міра співвідношення частин руху. Ритм є величиною, що не має розміру і визначається за співвідношенням тривалості частин рухів. Ритм рухів характеризує, наприклад, відношення часу опори до часу польоту у бігу або часу амортизації до часу відштовхування при опорі. Окрім часових можна визначити ще просторові показники ритму (наприклад, відношення довжини бігових кроків у стартовому розбігу спринтера).

Ритм відображає зусилля, що, докладаються, і залежить від їхньої величини, часу докладання та інших особливостей рухів. Тому за ритмом рухів певною мірою можна судити про їх досконалість. У ритмі особливо важливими є *акценти* — великі зусилля та прискорення, їх розміщення у часі.

При оволодінні вправами краще спочатку задати ритм, ніж докладно описувати деталі рухів. Це допомагає скоріше зрозуміти особливості вправи, що вивчається, її побудову у часі. За просторово-часовими характеристиками рухів визначають, як змінюються положення і рухи людини у часі, як швидко людина змінює свої положення (швидкість) і рухи (прискорення).

Біомеханічні характеристики поділяють на *якісні* та *кількісні*. Кількісні характеристики розподіляють на два види: біокінематичні та біодинамічні. Біокінематичні характеристики рухів тіла людини - це характеристики положення та руху людини в просторі та часі. Рухи тіла в кінематиці вивчають без урахування їх інертності та діючих сил. Біокінематичні характеристики поділяють на часові та просторово-часові.

Просторові характеристики характеризуються координатами точки, її траєкторією. Часові характеристики визначаються моментом часу, тривалістю руху, його темпом та ритмом. До просторово-часових характеристик відносяться швидкість та прискорення, форми переміщення – прямолінійне або криволінійне.

Як відомо, *криволінійне* або *кутове переміщення* (φ) - кут повороту тіла або його окремого сегмента. Кутове переміщення вимірюється в градусах, а отже $\varphi=2\pi n$, або $\varphi=2\pi/T$, де T - період обертання. Наприклад рухи тулуба, ковзанярський спорт.

Швидкість показує, як швидко змінюються координати тіла або його матеріальних точок. Швидкість (дорівнює результату ділення шляху (S) на час, за який був подоланий певний шлях: лінійна швидкість $v = S/t$ (м/с), кутова швидкість $\omega = \varphi/t$ (град/с).

Прискорення характеризує швидкість зміни переміщення тіла: лінійне прискорення $a = V/t$ (м/с²) та кутове прискорення $\varepsilon = \omega/t$ (град/с²).

Біодинамічні характеристики дозволяють розкрити механізм рухів (причини їх виникнення та хід їх змін). До них відносяться інерційні характеристики: *маса тіла* (m – кількість речовини у певному об'ємі) та *момент інерції* ($J=mR^2$), *сила* ($F=ma$), *момент сили* ($M=Fr$), *імпульс сили* ($Ft=mv$) та *імпульс моменту сили* ($F_r=mr$), *кількість руху* ($K=mv$) та *кінетичний момент*, енергетичні характеристики руху - *робота сили* ($A=F\cos\alpha$), *потужність сили* ($N=Fv=a/t$), *кінетична* ($E_k=mv^2/2$) та *потенційна енергія* ($E_{\text{пот}}=mgh$).

Маса тіла (m) - це міра інертності тіла при поступальному русі, це кількість речовини у певному об'ємі тіла. Маса – величина постійна, на відміну від ваги (P) даної маси, яка залежить від величини прискорення (g): $P=mg$. Вимірювання маси тіла ґрунтується на другому законі *Ньютона*. Прискорення тіла є результатом дії на нього сили (F), яка зворотно пропорційна його масі (m). Отже: $a=kF/m$, або $F=ma$. У системі SI або Сі одиницею сили є така, що надає тілу масою один кг (1 кг) прискорення у 1 м/с². Така одиниця сили – ньютон (Н), 10Н=1кг, 1Н=0,1 кг.

Маса тіла залежить від кількості речовини цього тіла у певному його об'ємі – це питома вага (ρ , або d): $\rho=m/V$, або $d=P/V$ і характеризує його властивість - як саме прикладена сила може змінити його рух. Одна й та сама сила надасть більшого прискорення тілу, що має меншу масу, ніж тілу з більшою масою. Рух тіла характеризує кількість руху (K): $K=mv$. Якщо прикладена сила постійна за величиною і напрямом дії, то: $F=(mv_t-mv_o)/t$, або $Ft=mv_t-mv_o$. Величина Ft – *імпульс сили*. Зміна кількості руху (K) дорівнює імпульсу сили (Ft) і відбувається за напрямом дії сили.

Між різними *біокінематичними характеристиками* руху тіла людини існує тісний взаємозв'язок. Пройдений шлях, швидкість, прискорення та деякі інші характеристики залежать від часу: з плином часу шлях збільшується, швидкість та прискорення можуть змінюватися (збільшуватися або зменшуватися) або лишатися постійними.

Тіло людини – механічна система, яку складають окремі *ланки* – кістки, сполучені з м'язами, які мають певні розміри, об'єми, площу поверхні, тобто певні геометричні характеристики, а отже *геометрію мас*, положення центрів мас та величини моментів інерції відносно різних осей всього тіла людини. Для визначення моментів інерції тіла та його сегментів використовують *крутильні ваги*. Вони складаються зі сталевого стрижня з'єднаного цанговими затискачами з верхньою частиною нерухомого штатива та вертикальною рамою, яка може обертатися - крутитися, на якій розташовується досліджуваній. Розташували на рамі людину, її повертають на деякий кут (φ) без початкової швидкості ($V_0=0$). Тоді період крутильних коливань (T) системи рамка-людина (T_c) можна визначити рівнянням: $T_c=2\pi/k=2\pi\sqrt{I_c/C}$, де k – частота коливань, I_c - момент інерції

системи, C - коефіцієнт жорсткості підвісу, який залежить від матеріалу підвісу – сталь, залізо та інші матеріали і є довідниковим значенням, наприклад значення модуля *Юнга* (для сталі $C=20600$). З вказаної формули одержуємо формулу моменту інерції коливної системи рамка-людина: $I_c = CT^2/4\pi^2$, де T - період крутильних коливань системи рамка-людина.

Порядок виконання дослідження: 1) розташувати досліджуваного на рамці підвісу так, щоб кульшовий суглоб знаходився на осі приладу, а права нога – уздовж осі;

2) відцентрувати систему людина-прилад;

3) обернути систему на 10-15 град., давши їй можливість вільно коливатися. Виміряти секундоміром час 10 повних коливань і обчислити середній час одного повного коливання – тобто T_1 ;

4) обчислити за формулою $I_c = CT^2/4\pi^2$ момент інерції I_c даної системи;

5) досліджуваний не змінюючи положення рук і тулуба розташовує обидві ноги паралельно;

6) знову відцентрувати систему;

7) виміряти період коливань T_2 при іншому положенні тіла;

8) обчислити нове значення (I_2) за формулою $I_c = CT^2/4\pi^2$;

9) обчислити момент інерції нижньої кінцівки (ноги I_n), як різницю: $I_n = I_2 - I_1$.

За таким методом можна обчислити момент інерції витягнутої руки, що проходить через плечовий суглоб та передплеччя з кистю відносно осі, яка проходить через ліктьовий суглоб. Цей пристрій і метод запропонував ще на початку 19 століття Дені Пуасон – французький вчений – фізик, математик, академік Паризької та Петербургської академії наук.

1.13.1. Локомоторні рухи людини

Локомоції – це активні рухи, переміщення тіла у просторі за допомогою роботи м'язів, які спрямовані проти роботи сили гравітації, тобто проти власної ваги. У всіх локомоторних рухах загальне *рухове завдання* - зусиллями м'язів пересувати тіло людини відносно опори або середовища. Серед пересувань щодо опори – земної поверхні, наприклад наземні пересування, найбільше поширення мають шагові, пов'язані з силою тяжіння. У водному середовищі застосовується як відштовхування, так і притягання. У деяких видах спорту (спортивні ігри, єдиноборства, гімнастика та ін.) локомоторні рухи відіграють допоміжну роль. Відштовхування від опори виконується за допомогою: а) власно відштовхування ногами від опори; б) махових рухів вільними кінцівками та іншими ланками. Ці рухи тісно зв'язані єдиним рухом - відштовхуванням. Від узгодженості рухів в значній мірі залежить ефективність відштовхування.

При відштовхуванні опорні ланки нерухомі відносно опори, наприклад поверхні землі, а рухомі ланки під дією сили тяги м'язів пересуваються у загальному напрямку відштовхування. Під час відштовхування легкоатлета від опори стопа зафіксована на опорі нерухомо. Шипи туфелі, занурюючись у покриття доріжки або бруска, забезпечують надійне з'єднання з опорою. На стопу, як на опорну ланку з боку гомілки, діє тиск прискорених ланок тіла, спрямований назад і вниз. Отже тиск передається на опору - стопу. Протидією цьому тиску служить реакція опори - сила, яка прикладена до стопи в напрямку вперед і вгору.

Сили м'язових тяг поштовхової ноги випрямляють її. Оскільки стопа фіксована на опорі, гомілка і стегно передають прискорення відштовхування через таз іншим ланкам тіла. Завдяки прискореному руху рухомих ланок на них впливають гальмівні сили (ваги та інерції) інших ланок, а також сили опору *м'язів-антагоністів*. Реакція опори при відштовхуванні – це зовнішня сила, яка забезпечує прискорення тілу спортсмена і пересування його центра мас. Однак, тіло людини - це саморухаюча система, в якій системи сил тяги м'язів прикладені до рухливих ланок. Щодо кожної ланки сила тяги м'яза, прикладена до нього ззовні, є зовнішньою силою.

Отже, прискорення центрів мас рухомих ланок обумовлені відповідними зовнішніми для них силами, тобто тягою м'язів. *Реакція опори* не є джерелом роботи. За законом збереження кінетичної енергії зміна її дорівнює сумі роботи зовнішніх і внутрішніх сил. Оскільки робота зовнішніх сил опори дорівнює нулю, то кінетична енергія спортсмена впливає на роботу внутрішніх сил - м'язів.

Реакція опори – сила, яка при відштовхуванні під кутом (α), відрізняється від сили спрямованої вертикально відносно опорної поверхні. Сили нахилені до опорної поверхні мають вертикальну і горизонтальну складові. Вертикальні складові обумовлені динамічною силою, тобто сумою ваги і сили інерції рухомих ланок, що мають прискорення, яке спрямоване вертикально вгору від опори. Горизонтальні складові реакції опори обумовлені горизонтальними складовими сил інерції рухомих ланок.

Махові рухи при відштовхуванні - це швидкі рухи вільних ланок тіла в основному за напрямом з відштовхуванням ногою від опори. При махових рухах переміщуються центри мас відповідних ланок тіла, що веде до переміщення загального центру мас (ЗЦМ) всього тіла. При стрибках у висоту в результаті махових рухів руками і вільною ногою ЗЦМ до моменту відриву від опори піднімається вище, ніж без махових рухів. Якщо прискорення ланок тіла, що виконують махові рухи, збільшується, то прискорення ЗЦМ також збільшується. Таким чином, махові рухи, як і відштовхування ногою, здійснюють переміщення і прискорення ЗЦМ. У махових рухах у фазі розгону швидкість ланок збільшується до максимуму. З її збільшенням наростає і швидкість ЦМ всього тіла. Отже, чим більше швидкість махових ланок, тим більше вона позначається на швидкості переміщення ЗЦМ. У фазі гальмування м'язи-антагоністи, розтягуються, напружуються і цим уповільнюють рух махових ланок, здійснюючи негативну роботу і швидкість їх зменшується до нуля.

М'язові тяги перерозподіляють швидкості ланок тіла і рух всередині системи передається від одних ланок до інших. Тому для досягнення більш високої швидкості ЗЦМ необхідно збільшити фазу розгону на більшій частині шляху махового переміщення.

Коли прискорення махових ланок спрямоване від опори, виникають сили інерції цих ланок, які спрямовані до опори. Разом з вагою тіла вони спрямовані на розвантажувальні м'язи опорної ноги і цим збільшують їх напругу. Додаткове навантаження уповільнює скорочення м'язів і збільшує їх силу тяги, в результаті чого вони напружуються більше і скорочуються відносно довше. У зв'язку з цим збільшується *імпульс сили* (Ft), що дорівнює добутку сили на час її дії, а більший імпульс сили дає більший приріст кількості руху, тобто збільшує швидкість.

У фазі гальмування махових ланок їх прискорення направлені до опори, а сили інерції - від неї. Отже, навантаження на м'язи поштовхової ноги в цей час зменшується, її сила тяги зменшується, а швидкість скорочення м'язів збільшується. Збільшення швидкості скорочення збільшує швидкість пересування.

Махові рухи сприяють просуванню ЗЦМ тіла при відштовхуванні, збільшуючи швидкість переміщення ЦМ тіла, збільшуючи силу і час відштовхування ногою і, нарешті, створюють умови для швидкого завершального відштовхування. Кут нахилу динамічної опорної реакції дає уявлення про деякі особливості направлення відштовхування від опори в даний момент часу. При випрямленні ноги під час відштовхування від опори відбувається складання обертальних рухів ланок тіла.

За координатами ЗЦМ тіла людини можна розрахувати лінійне прискорення ЗЦМ в кожен момент часу. Однак складові руху, в тому числі махові, обумовлюють крім лінійного прискорення ЗЦМ ще й кутові прискорення багатьох ланок. Тому кут відштовхування, як кут нахилу динамічної складової реакції опори, характеризує не повністю загальний напрям відштовхування в кожний момент часу. Зовнішня рушійна сила відштовхування, кут її нахилу до горизонту слід вважати кутом відштовхування. При обертальному русі в наземних локомоціях спортсмен знаходиться в нахилі всередину повороту.

Стартові положення - це вихідні пози для подальшого пересування, які забезпечують кращі умови розвитку стартового прискорення. *Стартові дії* (рух при старті з місця) починають зі стартового положення – наприклад відштовхування. Способи плавання засновані на взаємодії плавця з водою, при якому утворюються сили, які просувають його у воді і утримують на її поверхні. Взаємодія виникає внаслідок занурення у воду і активних рухів плавця.

Специфічні особливості біодинаміки плавання пов'язані з тим, що сили, які гальмують просування, значні, змінні і діють безперервно. Постійної ж опори для відштовхування вперед у плавця немає, вона створюється під час гребкових рухів і залишається змінної за величиною.

1.13.2. Біомеханічні властивості кісток і суглобів

Механічні властивості кісток визначаються їх різноманітними функціями. Крім рухової, вони виконують захисну і опорну функції. Так кістки черепа і грудної клітини захищають внутрішні органи, а кістки хребта і кінцівок виконують опорну функцію. Виділяють 4 види механічного впливу на кістку: розтяг, стискання, вигин і кручення. Встановлено, що міцність кістки на розтяг майже дорівнює міцності чавуну. При стисненні міцність кісток ще вища. Сама масивна кістка - великогомілкова (основна кістка стегна) витримує силу стиснення в 16-18 кН. Менш міцні кістки на вигин і кручення. Однак регулярні тренування призводять до гіпертрофії кісток. Так, у штангістів потовщуються кістки ніг і хребта, у тенісистів - кістки передплеччя.

Механічні властивості суглобів залежать від їх будови. Суглобова поверхня змочується синовіальною рідиною, яку зберігає суглобова сумка. Ця рідина забезпечує зменшення тертя в суглобі приблизно в 20 разів. При цьому із зниженням навантаження на суглоб рідина поглинається губчастими утвореннями суглоба, а при збільшенні навантаження вона вичавлюється для змочування поверхні суглоба і зменшення коефіцієнта тертя. Але *міцність суглобів*, як і міцність кісток, не безмежні. Так, тиск в суглобовому хрящі не повинен перевищувати 350 Н/см^2 . При більш високому тиску припиняється змазка суглобового хряща і збільшується небезпека його механічного стирання.

Механічні властивості кісток визначаються їх різноманітними функціями. Крім рухової, вони виконують захисну й опорну функції. Кістки черепа, грудної клітки й таза захищають внутрішні органи. Опорну функцію кісток виконують кістки кінцівок і хребта. Кістки ніг і рук довгасті й трубчасті. Трубчаста будова кісток забезпечує протидію значним навантаженням і в 2-2,5 рази знижує їхню масу й значно зменшує моменти інерції. Розрізняють чотири види механічного впливу на кістку: розтягнення, стискання, вигин і кручення. При поздовжній силі, що розтягує, кістка витримує напругу 150 Н/мм^2 . Це в 30 разів більше, ніж тиск, що руйнує цеглу. Відомо, що міцність кістки на розтягнення вище, ніж у дуба, і майже дорівнює міцності чавуну. При стисканні міцність кісток ще вища. Так, наймасивніша кістка – великогомілкова витримує вагу 27 чоловік. Гранична сила стискання становить 16000—18000 Н (1,6-1,7 т).

При вигині кістки людини також витримують значні навантаження. Наприклад, сили 12000 Н (1,2 т) невислаять, щоб зламати стегнову кістку. Подібний вид деформації широко зустрічається у повсякденному житті, у спортивній практиці. Наприклад, сегменти верхньої кінцівки деформуються на вигин при утриманні положення «хрест» у висі на кільцях. При рухах кістки не тільки розтягуються, стискаються й згинаються, але також і скручуються. Наприклад при ходьбі момент сили, що скручує, може сягати 15 Нм (1,5 тис. кг). Ця величина в кілька разів менше межі міцності кісток. Дійсно, для руйнування, наприклад, великогомілкової кістки момент сили, що скручує, повинен досягти 30-140 Нм. Особливо великі припустимі механічні навантаження у спортсменів, тому що регулярні тренування приводять до робочої гіпертрофії кісток. Відомо, що у штангістів товстішають кістки ніг і хребта, у футболістів - зовнішня частина кістки плісн, у тенісистів - кістки передпліччя. Механічні властивості суглобів залежать від їх будови. Суглобна поверхня змочується синовіальною рідиною, яку, як у капсулі, зберігає суглобна сумка. Синовіальна рідина забезпечує зменшення коефіцієнта тертя в суглобі приблизно в 20 разів. Величини сил, що впливають на суглобні поверхні, величезні й залежать від виду діяльності та її інтенсивності. Міцність суглобів, як і міцність кісток, велика. Так, тиск у суглобному хрящі не може перевищувати 350 Н/см^2 . При більш високому тиску припиняється змащення суглобного хряща й збільшується небезпека його механічного стирання. Це потрібно враховувати особливо при проведенні туристичних походів (коли людина несе важкий вантаж) і при організації оздоровчих занять із людьми середнього та літнього віку. Адже відомо, що з віком змазування суглобної сумки стає менш інтенсивним і поступово змінюється форма кістки, суглоба, тобто змінюються геометричні характеристики як частин, так і всього тіла. Отже важливими є знання про геометричні характеристики частин тіла.

1.13.3. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ МАС ЧАСТИН ТІЛА ЛЮДИНИ

Відомо, що тіло людини у незначному ступені асиметрично як у геометричному сенсі, так і механічному. Наприклад зусилля лівої руки більші ніж правої у правшів і навпаки у лівшів. Площини, маси лівої та правої півкуль мозку теж незначно відрізняються. Маса лівої половини тіла більше правої. Розподіли мас частин тіла, внутрішніх органів є дуже важливими біологічними, механічними характеристиками, які впливають на взаємодії як із зовнішнім, так і внутрішнім середовищами, на розподіл енерго-інформаційних взаємодій. Отже важливими є знання геометричних, механічних характеристик тіла, його частин. На це звернув увагу французький дослідник *Антон Гунійєр* у 1857 році. У 1860 році *Harliss* запропонував використовувати геометричні тіла – сфери, конуси, циліндри для наближеної оцінки параметрів сегментів тіла – локалізації центра маси, моменту інерції. Знання таких характеристик – *центр мас, момент інерції* тіл відносно осей, полюсів, площин, інерції тіл різної форми – серця, шлунку, легенів, кісток, м'язів. Це є важливим для встановлення особливостей будови тіла, фізичного розвитку і є предметом дослідження науки - “Геометрія мас”, зокрема “Геометрія мас тіла людини”.

При дослідженнях тіло людини знаходиться у вертикальній позі – антропометричній стійці – п'яти разом, носки нарізно, ноги прямі, живіт підтягнутий, руки опущені уздовж тулуба, голова стикається потилицею до вертикальної рейки, дошки, стіни. Вимірювання проводять за допомогою нескладного пристрою *Мартине*, за допомогою якого вимірюють зріст. Обхватні розміри тіла – грудної клітки, верхніх, нижніх кінцівок вимірюють сантиметровою стрічкою, масу тіла – медичними вагами. *Геометрія мас* – розділ біомеханіки, який вивчає залежності маси від форми тіла, його частин - стопи, гомілки, стегна, кисті, голова, частини тулуба та інші частини тіла. Геометрія мас тіла кількісно описує мас-інерційні характеристики частин тіла. Найважливіші з них - маса, інерція, радіус інерції, момент інерції й координати центра мас, об'єм, вага, швидкість, прискорення тіла, або його елементів. Геометрію мас окремих частин тіла слід враховувати майже у всіх видах спорту, у рекомендаціях та враховувати їх при розробці методик тренувань, використанні оптимальних фізичних навантажень.

Маса (m) — це кількість речовини (у кілограмах) у певному об'ємі (V), який характеризує тіло або окремі його ланки. Разом з цим маса - це кількісна міра інертності тіла стосовно діючій на нього силі. Чим більше маса, тим інертніше тіло й тим важче вивести його зі стану спокою або змінити його рух. Маса визначає гравітаційні властивості тіла – вагу (P). Вага тіла (у ньютонів, Н) $P=mg$, де $g=9,8\text{ м/с}^2$ – середнє значення прискорення вільно падаючого тіла. Вага – величина залежна від g - прискорення вільно падаючого тіла і є величиною змінною, на відміну від маси – величина стала і залежить від кількості речовини у певному об'ємі тіла.

Маса характеризує *інертність тіла* при поступальному русі. При обертанні інертність залежить не тільки від маси, але й від того, як вона розподілена щодо осі обертання. Чим більше відстань (R) від ланки до осі обертання, тим більше внесок цієї ланки в інертність тіла. Кількісною мірою інертності тіла при обертальному русі служить *момент інерції (J)*: $J=mR_{\text{ін}}^2$, де $R_{\text{ін}}$ - *радіус інерції* - середня відстань від осі обертання (наприклад, від осі суглоба) до тіла.

Центр мас - точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, що приводять тіло до поступального руху, або стану покоя. У полі гравітації (коли діє сила ваги) центр мас збігається із центром ваги.

Центр ваги - точка, до якої прикладена рівнодіюча сила ваги всіх частин тіла. Положення загального центра мас тіла залежить від місця перебування центрів мас окремих ланок. А це залежить від пози, тобто від того, як частини тіла розташовані одна відносно іншої в просторі.

Знаючи, які маси й моменти інерції ланок тіла та де розташовані їх центри мас, можна вирішити багато важливих практичних завдань. У тому числі: 1) визначити *кількість руху* (K_p), яка дорівнює добутку маси тіла на його лінійну швидкість ($m \cdot v$): $K_p=m \cdot v$; 2) визначити *кінетичний момент* (K_m), який дорівнює добутку *моменту інерції* тіла на *кутову швидкість* ($K_m=J \cdot \omega$). При цьому потрібно врахувати, що величини моменту інерції (J) щодо різних осей неоднакові та оцінити, легко чи важко управляти швидкістю тіла або окремими його ланками; можна визначити ступінь *стійкості тіла* та інші його характеристики.

Біодинамічні характеристики дозволяють розкрити основні особливості цих взаємодій: інерційні характеристики (особливості тіла людини та тіл, котрі воно рухає); силові (особливості взаємодії біоланок тіла та інших тіл); енергетичні (стан та зміни працездатності біомеханічних систем). Ці характеристики є результатом різниці між масами окремих внутрішніх органів, їх сегментами. Маса сегментів (m_x) тіла можна визначити за допомогою відомого кореляційного рівняння: $m_x = B_0 + B_1 m + B_2 L$, де m_x - маса одного із сегментів тіла (кг), наприклад стопи, гомілки, стегна; m – маса всього тіла (кг); L – довжина тіла (см); B_0, B_1, B_2 – коефіцієнти регресійного рівняння, вони відрізняються для різних сегментів (табл.4.).

Таблиця 4

Коефіцієнти рівняння для обчислення маси сегментів тіла за його вагою (P , кг) та довжиною (H , см) тіла

Сегменти	Коефіцієнти рівняння		
	B_0	B_1	B_2
Стопа	-0,83	0,008	0,007
Гомілка	-1,59	0,036	0,012
Стегно	-2,65	0,146	0,014
Кисть	-0,12	0,004	0,002
Передпліччя	0,32	0,014	-0,001
Плече	0,25	0,030	-0,003
Голова	1,30	0,017	0,014
Верхня частина тулуба	8,21	0,186	-0,058
Середня частина тулуба	7,18	0,223	-0,066
Нижня частина тулуба	-7,50	0,008	0,049

Цифри у табл.1 вірні для «середньостатистичної людини». Вони отримані шляхом усереднених результатів дослідження багатьох людей. Індивідуальні особливості людини, і в першу чергу - вага й довжина тіла, впливають на геометрію мас. *Приклад:* для того, щоб обчислити, наприклад, масу кисті руки людини при загальній масі тіла 60 кг з довжиною тіла 170 см необхідно користуватися таблицею 1. Маса кисті (m_k) дорівнює: $m_k = -0,12 + 0,004 \times 60 + 0,002 \times 170 = 0,46$ кг.

Контрольні запитання

1. Що таке геометрія мас?
2. Якими показниками характеризується геометрія мас?
3. Які показники геометрії мас необхідно знати, щоб вирахувати найбільш економічний темп ходьби?

1.13.4. АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ ГЕОМЕТРІЇ МАС ЧАСТИН ТІЛА ЛЮДИНИ

Важливими показниками є площа поверхні тіла та його частин. Для цього використовують формули Boydi та Issaksona, які враховують зріст людини. Для осіб, у яких він більше 160 см, формула для визначення площі поверхні тіла (S): $S = (100 + P + L - 160) : 100$, де S – площа тіла кв. м; P – вага тіла, кг; L – зріст, см. Для людей, у яких зріст менше 160 см : $S = 3,207 L^{0,3} P^{0,7285} - 0,0188 \lg P$. Слід пам'ятати, що у фізично слабких людей на одиницю площі поверхні тіла припадає менше маси, ніж у фізично сильних.

Для визначення площі поверхні різних частин тіла використовують формули Skerli:

- 1) для площі поверхні голови та шії разом $S = 2\pi(r + 2h)$, де r – радіус голови та шії, поділені на 2, h – жовжина голови та шії;
- 2) для площі тулуба $S = 2r_1 \cdot \pi \cdot h_1$, де r_1 – радіус тулуба;
- 3) площа поверхні обох плечей $S = 2r_2 \pi(r_2 + 2h_2)$, де r_2 – радіус обхвата плеча, h_2 – довжина плеча;
- 4) площа поверхні обох передпліч з кистями рук $S = 2r_3(r_3 + 2h_3)$, де r_3 – радіус обхвата передпліччя;
- 5) площа поверхні обох стегон $S = 2(r_4 + r_5)h_4$, де r_4 – радіус обхвата стегна, r_5 – радіус обхвата коліна;

б) площа поверхні гомілок зі стопами $S=2r_6(r_6+2h_6)$, де r_6 – радіус обхвату гомілки, h_6 – довжина гомілки.

Радіуси обчислюють за формулою $r = O:2$, де O – довжина обхвату вимірюваної частини тіла. Інші дослідники розраховували кореляційні рівняння регресії для визначення площ поверхонь для чоловіків (ч) та жінок (ж):

1) поверхня голови з шиєю $S_{\text{ч}}=0,050L+0,074P+3,41\pm0,71$ (ч)

$S_{\text{ж}}=0,042L+0,083P+3,01\pm0,81$ (ж)

2) поверхня тулуба $S_{\text{ч}}=0,215L+0,270P+8,25\pm1,49$ (ч)

$S_{\text{ж}}=0,142L+0,266P+3,94\pm2,03$ (ж)

3) поверхня однієї руки $S_{\text{ч}}=0,046L+0,194P+2,56\pm0,89$ (ч)

$S_{\text{ж}}=0,068L+0,161P-0,62\pm0,82$ (ж)

4) поверхня однієї ноги $S_{\text{ч}}=0,156L+0,276P-9,53\pm1,25$ (ч)

$S_{\text{ж}}=0,231L+0,238P-17,32\pm1,3$ (ж), де L – довжина тіла, см; P – вага тіла, кг.

Для багатьох видів спорту важливим показником є питома вага тіла (d) людей різної статі, віку. Такі залежності отримали у 1951 році Brozek та Keys. Для чоловіків віком 20-25 років: $d=1,1017-0,000282x_1-0,000736x_2-0,000883x_4$. Для чоловіків віком 40-45 років: $d=1,0967-0,000393x_2-0,000315x_3-0,000598x_4-0,000170x_5$, де x_1 – товщина жирової складки на животі, x_2 – жирова складка на грудях, x_3 – жирова складка під лопаткою, x_4 – жирова складка на плечі, x_5 – відносна вага тіла, яку обчислюємо за формулою: $x_5=AP:100P$, де AP – абсолютна вага тіла, P – стандартна вага тіла для даної статі, віку та зросту.

Sloan та Weir запропонували залежність за якою можна визначити питому вагу (d), вимірявши товщини складок передньої поверхні стегна та під лопаткою для: чоловіків віком 18-26 років: $d=1,1043-0,000133x_1-0,00131x_2$, де d – щільність даної частини тіла, або питома вага; x_1 – складка передньої поверхні стегна на середині відрізка між паховою звязкою та вкрхівкою надколінка, – товщина складки під лопаткою. Для жінок віком 17-25 років: $d=1,0764-0,00081x_1-0,00088x_2$, де d – питома вага тіла, x_1 – складка над клубовим гребенем, яка вимірюється на рівні скредньої лінії підпахової западини, x_2 – вертикальна складка на середині задньої поверхні плеча між акроміальним та ліктьовим відростками, коли плече спокійно звисає.

Cowgill запропонував формулу для визначення питомої ваги у чоловіків за їх зростом та вагою тіла: $d=L^{0,725}:P^{0,3} + 0,45$, де L – зріст, см та P – вага тіла, кг. Тепер існує багато формул для обчислення різноманітних показників, необхідних для прогнозування спортивних досягнень, спортивних відборів команд, для рекомендацій занять певним видом спорту.

Питому вагу можна визначити за допомогою гілростатичного зважування, коли тіло людини повністю занурюють у воду і за кількістю витісненої води обчислюють питому вагу за формулою: $d=P:P-P-V$, де P – вага тіла, отримана на медичних вагах у повітрі, P_v – вага тіла у воді, як різниця між початковим об'ємом води і після занурення тіла у нею, тобто об'ємом витісненої води V – об'єм залишкового повітря, який в середньому дорівнює 1-1,2 літрів.

Використовують інші сучасні методи, обладнання для визначення геометрії мас: фотограмметрії, механічних коливань, фізичного моделювання коливань, математичне моделювання, гама-випромінювання та інші.

1.13.5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРА МАС ТІЛА, ЙГО БІОЛАНОК

Важливим поняттям є “Загальний центр маси” (ЗЦМ) – точка перетину інших центрів мас частин тіла. Положення ЗЦМ залежить від: статі – у жінок він на 0,5-2% розташований нижче, ніж у чоловіків, від віку – зумовлено нерівномірними змінами співвідношення мас, розмірів голови, кінцівок, частин тулуба та інших частин тіла. Все це може впливати на біомеханічну, рухливу активність. У перші роки життя ЗЦМ у дитки на 10-15% розташований нижче, чим у дорослих. У людей, спортсменів зі значною гіпертрофією нижніх кінцівок положення ЗЦМ розташований нижче, чим у звичайних людей. Як відомо першим положення ЗЦМ визначив у 1679 році *Бореллі* і виклав свої дослідження у книзі “Про локомоції тварин” – центр мас розташований між сідницями

і лобком. У 1889 році Braun та Fisher довели, що ЗЦМ розташований у ділянці малого таза і якщо під час стояння тулуб висунутий уперед, то вертикаль ЗЦМ тіла проходить попереду поперечних вісів обертання кульшового, колінного та гомілковостопного зчленувань. Враховуючи важливість знання розташування ЗЦМ у людини для її стійкості, витримання фізичних навантажень було запропоновано багато методів його визначення.

Базлер для визначення ЗЦМ запропонував пристрій – це дошка довжиною 2 метри, динамометр, який одночасно є і однією з точок опори та другу опору, на яку спиралася дошка. Отже вона була важелем другого роду – дві точки опори. Людина розміщала на дошці так, щоб добуток ваги тіла людини (P) на відстань від точки опори (A) дошки до тіла (X) дорівнювала добутку довжини дошки (2м) на показник динамометра (F), отже: $AX \cdot P = 2 \cdot F$. Сфотографувавши досліджуваного у фронтальній площині на дошці можна на фотографії провести лінію, що визначає графічно ЗЦМ.

У 1926 році *Бернштейн* запропонував метод головних точок та вісів спряжених ланцюгів, які є осями косокутної системи координат. Він сконструював спеціальну модель, яка побудована на принципі використання головних точок. Це коли осі спряжених ланцюгів приймаються за осі косокутної системи координат. Це дало змогу обчислити маси біологів з використанням коефіцієнтів, наведених у табл. 5.

Табл.5

Коефіцієнти для обчислення маси біологів тіла людини з використанням коефіцієнтів (Бернштейн, 1926 р.)

Відносні маси частин тіла (k)	Голова	Тулуб	Пле-че	Перед-плеч-чя	Кисть	Стег-но	Гоміл-ка	Сто-па	Ту-луб+ голо-ва	Вся рука	Вся нога	Го-лова + тулуб + 2 руки
Чоловіки	0,067	0,043	0,065	0,0182	0,007	0,122	0,0465	0,0146	0,530	0,052	0,183	0,634
Жінки	0,081	0,044	0,026	0,0182	0,0055	0,129	0,0484	0,0129	0,520	0,050	0,190	0,620

Використовуючи отримані з таблиці коефіцієнти (k) та знаючи вагу власного тіла (P, кг) можна обчислити масу певної біологівки ($m_{бл}$): $m_{бл} = Pk$

Практична робота №7.

Тема: Вимірювання та обчислення геометрії мас частин тіла людини, об'єктивних показників стану організму людини та експериментальні методи визначення загального центра мас тіла, його окремих біологівки.

Мета: Отримати навички вимірювання основних частин тіла та провести розрахунки для прогнозування фізичних навантажень.

Обладнання: ваги медичні, зрістомір (антропометр), динамометр, кронциркуль, уніфіляр – крутильні ваги, вимірювальна стрічка.

Хід роботи.

1. Теоретична частина

1. Хто і коли запропонував основні поняття про геометрію мас тіла.
2. На чому базуються аналітичні методи обчислення геометрії мас частин тіла людини
3. Які характеристики тіла впливають на геометрію мас частин тіла людини
4. Які формули використовують для обчислення площ поверхень голови, шиї, тулуба, стегон та інших частин тіла людини?

5. Визначення моментів інерції верхніх та нижніх кінцівок методом уніфіляра – крутильних коливань
6. Яка послідовність визначення пружнов'язких властивостей скелетних м'язів за міотонограмою?
7. Як визначити основні об'єктивні показники стану організму, яке обладнання використовують для цього?
8. Охарактеризуйте основні методи досліджень та прилади, які використовують у біомеханіці
9. Охарактеризувати основні методи, засоби для вимірювання частин тіла.
10. Як впливає ЗЦМ на біомеханічну, рухливу активність тіла?
11. Які основні антропометричні точки-координати використовують при вимірюванні геометрії мас та що запропонував Базлер для визначення центр мас тіла?
12. Поняття про антропометрію за методом Мартіна.

2. Практична частина

Завдання 1. Обчислити площі поверхонь головних частин свого тіла, використовуючи необхідні формули: а) обчислити площу поверхні голови, шиї, б) площу поверхні тулуба, враховуючі, що радіус тулуба - результат ділення суми трьох вимірів – груди під мишками, талії, таза (результати вимірювання скласти і розділити на 3; висота тулуба - різниця висоти верхньої груднинної точки та лобкової кістки, в) площу поверхні обох плечей, г) площу поверхні обох передплеч'я з кистями рук, д) площу поверхні обох голенив зі стопами, вказавши для яких видів спорту важливі отримані результати.

Завдання 2. Визначити масу власного тіла за допомогою вагів та довжину тіла, його окремих частин – кінцівок, голови, шиї.

Завдання 3. Знайти момент інерції верхньої або нижньої кінцівок методом уніфіляра – крутильних вагів, обрахувавши їх за вище вказаними формулами: $I_n = I_2 - I_1$. $T_c = 2\pi/k = 2\pi\sqrt{I_c/C}$, $I_c = CT^2/4\pi^2$, $C = 20600$.

Завдання 4. Визначити загальний центр мас власного тіла за методом Базлера та за Бернштейном.

Завдання 5. Користуючись коефіцієнтами Бернштейна обрахувати маси біолонок частин тіла чоловіків та жінок та порівняти їх, зробивши висновки.

Завдання 6. За допомогою зрістоміра Мартіне виміряти власний зріст. Це важливий показник фізичного розвитку, але він повинен розглядатися у поєднанні з вагою тіла, обхватом грудної клітки, ЖЄЛ та спирометрії. Зріст у чоловіків продовжується до 25 років, у жінок – до 21-22 років. Розпочинаючи з 50 років зріст зменшується в середньому на 2,5-2,7 см за рік.

Завдання 7. Виміряти власну вагу тіла на медичних вагах. Середня вага тіла людини – визначається шляхом віднімання з показників зросту /в см./ умовних величин. Так, при зрості 165 см вага тіла складає 65 кг /мінус 100/; при зрості 166-175см віднімається число 105; при зрості 175 – та вище віднімаємо число – 110. Отриманий результат вказує біологічну вагу тіла, кг.

Завдання 8. Виміряти периметр та екскурсію грудної клітки. Периметр грудної клітки – це його довжина, її екскурсія - це різниця між периметрами вдиху та видиху. Остання залежить від розвитку дихальних м'язів та типу дихання. Так, екскурсія до 4 см вважається низькою, 5-9 см – середньою, від 10 см та більше – високою. Обхват грудної клітини у дорослих чоловіків складає 88-92 см, у жінок – 83-87 см.

Завдання 9. Виміряти м'язову силу кистей рук динамометром. У добре розвиненого чоловіка її показники в середньому складають 40-50 кг, у жінок – на 10-15 кг менше. М'язова сила руки залежить від зросту, ваги тіла, обхвату грудної клітки та інших показників. Середня відносна сила м'язів рук для чоловіків – 60-70% ваги, для жінок – 45-50% ваги.

Завдання 10. Виміряти станову м'язову силу – це сила м'язів (розігнувачів) спини. Станова сила здорової, добре сформованої людини в середньому дорівнює 130-150 кг – це абсолютна сила і визначається за формулою: (становая сила X*100%):P, де P - вага тіла, X – показник виміру.

Отримані значення порівняти із табличними та зробити висновки

Значення сили, (%)	Чоловіки 21-25 років	Жінки 18-25 років
Мала сила спини	менше 175	менше 125
Сила нижче середньої	175-190	125-140

Сила середня	190-210	140-160
Сила вище середньої	210-225	160-175
Сила велика	225 та вище	175 та вище

Завдання 11. Виміряти частоту власного пульсу за використанням автоматичного або напівавтоматичного тонометра, або підрахунком пульсових коливань. Пульс характеризує роботу серця і стан судин. У стані спокою здорової людини, але нетренованої, частота пульсу становить 60-80 уд/хв. у чоловіків, у жінок він на 5-10 ударів частіший. В положенні сидячи пульс зменшується на 4-6 ударів, у положенні стоячи він збільшується до 140 ударів при малих фізичних навантаженнях, більше 180 ударів при великих навантаженнях.

Зробити висновки про власний фізичний стан, про переважний вид спорту, найбільш характерний для вас.

1.14. БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ М'ЯЗІВ ТА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Основний компонент апарату руху – м'яз. Він безпосередньо перетворює хімічну енергію в механічну, досягаючи високого коефіцієнта корисної дії в умовах нормальної температури тіла людини. Головними біомеханічними показниками, які характеризують діяльність м'язу, є: а) сила (F), яка реєструється на її кінці (сила тяги м'язу) та б) швидкість зміни довжини м'язу. Виділяють *режими м'язового скорочення*: ізометричне, пересилаюче, уступаюче, ізотонічне та аутонічне. Робочі тяги м'язів (динамічна робота) обумовлюють виконання рухів, а опірні тяги м'язів (статична робота) створюють необхідні умови для цього. М'язи, які при русі виконують однакові або подібні функції, називаються синергістами. М'язи, які діють в протилежному напрямку, називаються *антагоністами*. М'яз - це не тільки джерело механічної енергії в руховому апараті, але і джерело сприйняття зовнішнього силового поля. Завдяки м'язам нервова система отримує об'єктивну інформацію про силу земного тяжіння - вагу, силу тертя.

До важливіших *властивостей м'язів* віднесені *пружність, твердість, міцність і релаксація*, які є важливими характеристиками м'язової активності. *Скорочувальність* - це здатність м'яза скорочуватися при збудженні. У результаті скорочення відбувається скорочення м'яза й виникає сила тяги. При скороченні м'яза утворюються поперечні *актино-міозинові містки*, від кількості яких залежить сила скорочення м'яза. Актино-міозинові містки скорочувального комплексу подібні до циліндра, у якому рухається поршень. Аналогом послідовного пружного компонента є пружина, послідовно з'єднана із циліндром. Вона моделює сухожилля й ті міофібрили (скорочувальні нитки, що складають м'яз), які в цей момент не беруть участь у скороченні.

Пружність - це здатність відновлювати початкову довжину після припинення дії деформуючої сили. Існування пружності пояснюється тим, що при розтягуванні в м'язі виникає енергія пружної деформації побідна пружині. *Жорсткість* - це здатність протидіяти силам, що прикладаються. Коефіцієнт жорсткості (K) визначається як відношення збільшення сили (F), що відновлює, до збільшення довжини м'яза (L) під дією зовнішньої сили: $K = F/L$, (Н/м). Величина, зворотна жорсткості - *піддатливість м'яза*. Коефіцієнт піддатливості показує, наскільки подовжиться м'яз при зміні зовнішньої сили на одиницю. Наприклад, піддатливість згинача передпліччя близька до 1 мм/Н. *Міцність* м'яза оцінюють величиною сили, що розтягує, при якій відбувається розрив м'яза. Сила, при якій відбувається розрив м'яза (у перерахуванні на 1 мм² її поперекової площини), становить від 0,1 до 0,3 Н/мм². Для порівняння: межа міцності сухожилля близько 50 Н/мм², а фасцій близько 14 Н/мм². *Релаксація* - властивість м'яза, що проявляється у поступовому зменшенні сили тяги при постійній його довжині. Релаксація проявляється, наприклад, при зістрибуванні й стрибку вгору, якщо під час глибокого присідання людина робить паузу. Чим пауза триваліша, тим сила відштовхування й висота вистрибування менші. Важливою характеристикою є *групова взаємодія м'язів*, яку можна поділити на дві групи: *синергізм і антагонізм*.

М'язи синергісти переміщують ланки тіла в одному напрямку. Наприклад, у згинанні руки в ліктьовому суглобі беруть участь двоглавий м'яз плеча, плечовий та плечопроменевий м'язи. Результатом синергічної взаємодії м'язів служить збільшення результуючої сили дії. Але цим значення м'язів-синергістів не вичерпується. При наявності травми, а також при локальному стомленні будь-якого м'яза його синергісти забезпечують виконання рухової дії.

М'язи антагоністи (на противагу м'язам-синергістам) мають різноспрямовану дію. Так, якщо один з них виконує роботу, що переборює, то інший - уступаючу. Існування м'язів-антагоністів забезпечує: 1) високу точність рухових дій; 2) зниження травматизму.

Одним з найважливіших і потужних м'язів є серцевий – міокард, який інервується блуждаючим нервом та симпатичним стволом. Серце має власну автономну нервову систему, за допомогою якої відбуваються процеси скорочення та розслаблення. Це синусопередсерцевий вузол *Кис-Флака*, який є генератором електричних імпульсів, через які і формуються ритмічні скорочення серця. Цей вузол функціонально поєднаний з вузлом *Ашоф-Тавара*, від якого простягається передсерцево-шлуночковий пучок *Гиса*, який утворює провідникову систему. Отже, для роботи серця характерні нервова та гуморальна регуляції, через що воно пов'язано і з кровоносними судинами, і з системою крові та дихання – зовнішнього за допомогою легенів та внутрішнього – тканинного.

При вивченні періодично повторюваних рухів – циклічних, наприклад роботи серця, важливо знати: 1) *темп* (n) - число рухів в одиницю часу; 2) *тривалість циклу* (T) - проміжок часу між однаковими фазами циклічного руху. Темп і тривалість циклу пов'язані між собою співвідношенням $T=1/n$. Для здоров'я людини важливе значення має тривалість циклу серцевих скорочень та артеріальний тиск, який залежить від об'єма кровотоку, еластичного опору крові. У нормі для здорової людини систолічний тиск складає 110-125 мм рт. ст., діастолічний 70-85. При інтенсивному фізичному навантаженні систолічний тиск може зрости до 240 мм рт. ст. Опір крові, як і будь-якої рідини, виражає формула *Пуазейля* $R = 8\eta l / \pi r^2$, де η – в'язкість рідини (крові), l - довжина судини, r - радіус судини.

При підвищенні вимог організму до забезпечення його киснем, поживними речовинами може виникнути *недостатність кровообігу* – ознаки погіршення працездатності серця. Це проявляється двома видами ознак – явна та скрита або компенсаторна. *Явна недостатність* проявляється навіть у відсутності фізичного навантаження (стан спокою) – задишка, ціаноз (посиніння шкіри). *Скрита недостатність* проявляється при фізичному навантаженні (часто при незначному), наприклад проба з присіданнями (проба Мартіне). Це ознаки недостатності серця як результат невідповідності між фізичним навантаженням і здатністю серцевого м'яза виконати роботу. Недостатність серця від перевантаження проявляється при пороках серця, гіпертонії, артеріо-венозних фістулах. При пошкодженні серцевого м'яза через інтоксикацію, інфекцію, авітаміноз, порушення коронарного кровообігу формується скрита недостатність, яка обумовлена зниженням скорочувальної функції серця.

Існує форма *змішаної недостатності серця*, яка розвивається при різних сполученнях пошкодження міокарда та його перевантаженнях, наприклад при дистрофічних змінах, загибелі частини м'язових волокон. Тому викладач, тренер повинен так організувати фізичні навантаження, щоб запобігти таким негативним явищам.

Питання для самоперевірки

1. Які біомеханічні властивості, функції, особливості кісток, суглобів, м'язів?
2. Чим проявляється групова взаємодія м'язів?
3. Який м'яз найважливіший і потужний, чому?
4. Які функції серця, як біомеханічної системи?
5. Що таке автономна система серця, її будова та значення його біомеханіці?
6. Що таке недостатність кровообігу, її ознаки та причини?
7. Які основні функції крові впливають на біомеханічні властивості тіла?
8. У чому небезпечність недостатності серця, її причини, ознаки?

9. Яка причина небезпечних випадків, явищ при фізичних перевантаженнях?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8.

Тема: Біомеханічні особливості стану серцево-судинної системи (ССС), її впливи на основні біомеханічні характеристики тіла

Мета: Дати аналіз стану особистої ССС та охарактеризувати її впливи на біомеханічний стан тіла.

Обладнання: тонометр, секундомір.

ХІД РОБОТИ.

I. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1. Яка будова серцево-судинної системи та її вплив на біомеханічні властивості?
2. Які функції серцево-судинної системи і як вони впливають на рухову активність людини?
3. Що таке ортостатична проба, яке її значення?
4. Охарактеризуйте механічні властивості крові.
5. Які механічні властивості судин?
6. Що характеризує формула Пуазейля?

II. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Визначити власний стан ССС за ортостатичною пробою.

У стані спокою (лежачи) визначити СТ (верхнє значення тиску) та ДТ (нижній тиск), підрахувати частоту пульсу та визначити пульсовий тиск (ПТ) = СТ – ДТ (мл. рт. ст.), вегетативні зміни – потовиділення, шум у вухах та інші негативні явища, а також стоячи через 1, 3, 5, та 10 хвилин після навантаження. Оцінку результатів порівняти з даними таблиці зробивши висновки:

Показники	Оцінка тривалості роботи		
	Добре	задовільно	незадовільно
Частота пульсу	Підвищення частоти пульсу		
	не більше ніж на 11 ударів	на 12-18 ударів	на 19 та більш ударів
СТ ("верхній")	Підвищується	Не змінюється	Знижується на 5-10 мл.рт.ст.
ДТ (нижній)	Знижується	Не змінюється або трохи підвищується	Підвищується
ПТ	Підвищується	Не змінюється	Понижується
Вегетативні реакції	Відсутні	Потовиділення	Потовиділення та шум у вухах

Завдання 2. Провести пробу Мартіне з 20 присіданнями

- а) визначити частоту пульсу спочатку в стані спокою та після 20 глибоких присідань через 30 сек.;
- б) визначити СТ та ДТ.

Оцінка: якщо пульс людини збільшений на 25% або верхній тиск підвищений на 25-30 мл. рт. ст., а нижній не змінюється або знижується на 5-10 мл. рт. ст. – стан добрий; якщо пульс змінюється більше, ніж на 50-75% – задовільний; якщо пульс змінюється більше, ніж на 75% – незадовільний.

Завдання 3. Провести пробу Руф'є-Диксона. Вона характеризує фізичну працездатність і визначається формулою: $[4(P_1 + P_2 + P_3) - 200] : 100$, де: P_1 P_2 P_3 – пульси; P_1 – пульс лежачи, P_2 – пульс після присідань впродовж 45 сек., P_3 – пульс після 1 хвилини відпочинку.

Оцінка результатів: 0-3 – гарна працездатність, 3-6 – середня, 6-8 – задовільна, більше 8 – погана.

Завдання 4. Визначити стан власної працездатності за Гарвардським тестом .

Виконати 150 піднімань–опускань на 1 сходинку (за 5 хвилин). Визначити пульс між 30 і 90 підніманнями, між 120 і 150 та між 180 до 210 підніманнями.

Результати підрахувати за формулою: $(P_1+P_2+P_3): 100$, де t – фактичне виконання теста в сек., P_1 P_2 P_3 – значення пульсу.

Оцінка: менш 50 – дуже погано, 51-60 – погано, 61-70 – задовільно, 71-80 – добре, 81-90 – дуже добре, більш 91 – відмінно.

За результатами кожного завдання зробити висновки про власний фізичний стан.

1.15. Ланки тіла як важелі та маятники

Руховий апарат людини - це система біокинематичних ланцюгів, всі біоланки яких з'єднані в біокинематичні пари та мають, між собою зв'язки, які визначають їх зовнішню свободу рухів. *Біокинематичний ланцюг* – це зв'язок між біокинематичними парами. Виділяють *морфологічні ланцюги*, які класифікують на прості та складні, замкнені та незамкнені. Всього у людини система біокинематичних ланцюгів складає біля 246. Практично ланки рухового апарату людини відносно до своєї пари мають від I до 3 *ступенів свободи*. Число зв'язків та число можливих ступенів свободи рухів ланок тіла людини регламентується біомеханічними характеристиками суглобових з'єднань.

Біокинематичні пари, центрами яких є суглобові з'єднання, мають у своїй основі досить жорсткі кісткові утворення, які механічно можна розглядати як важелі та маятники.

Важелі та маятники функціонують як живі механічні пристосування, що ефективно забезпечують утилізацію, перетворення та витрату енергії оточуючого середовища в тілі людини. На прикладі важелів та маятників проявляються різні рівні організації рухової функції людини. Відрізняють важелі першого та другого роду.

Розділення тіла людини на ланки дозволяє розглядати їх як механічні *важелі* і *маятники*. Всі ланки мають точки з'єднання, які можна розглядати або як точки опору для важеля, або як точки схилу для маятника. Важіль характеризується відстанню між точкою прикладання сили і точкою обертання. Важелі поділяють на першого і другого роду.

Важіль першого роду або важіль рівноваги складається тільки з однієї ланки. Приклад - кріплення черепа до хребта. *Важіль другого роду* характеризується наявністю двох ланок, а отже двох точок кріплення до опори. Умовно можна виділити важіль швидкості і важіль сили в залежності від того, що переважає в їх діях. *Важіль швидкості* дає вигоду у швидкості при виконанні роботи. Приклад - ліктьовий суглоб з вантажем на долоні. *Важіль сили* дає вигоду у силі. Приклад - стопа на пальцях.

Все тіло людини, залежно від мети дослідження, слід розглядати як єдиний біокинематичний ланцюг, у якому обмеження рухів залежить від форми поверхні кісток, які сполучаються суглобами, від пластичного стану тканин. *Біокинематичний ланцюг* позначають аббревіатурою з латинських букв ВКС, якими починаються латинські слова: *bios* – життя, *kinesis* – рух та *catena* – ланцюг. Отже – живий рухомий ланцюг. Нижче, у вигляді індекса латинська літера *p* від слова *part* – частина. Наприклад позначка ВКС_{pms}, де *pms* – *membrum superius* – верхня кінцівка, а отже – частина верхньої кінцівки.

У тілі людини близько 70 ланок, які діють між 206 кістками. Але стільки для докладного опису геометрії мас частіше всього й не потрібно. Для рішення більшості практичних завдань досить 15-ланкової моделі людського тіла. У такій моделі деякі ланки складаються з декількох *елементарних ланок*, тому такі збільшені ланки вірніше називати *сегментами*.

Оскільки тіло людини виконує свої рухи в тривимірному просторі, то його ланки характеризуються *ступенями свободи*, тобто можливістю здійснювати поступальні і обертальні рухи у всіх вимірах. Якщо ланка закріплена в одній точці, то вона здатна робити обертальні рухи і можна вважати, що вона має три ступені свободи. Оскільки руки і ноги людини можуть здійснювати коливальні рухи, то до механіки її рухів застосовують ті ж формули, що і для простих механічних тіл, маятників. Основні висновки з цього - власна частота коливань не залежить від маси тіла, яке коливається, але залежить від його довжини, розмірів (при збільшенні довжини частота коливань зменшується).

Роблячи частоту кроків при ходьбі або бігу, або гребків при плаванні, або веслуванні резонансною, тобто близькою до власної частоти коливань руки або ноги, вдається мінімізувати витрати енергії. При найбільш економному поєднанні частоти і довжини кроків або гребків людина демонструє істотне зростання працездатності. Простий приклад: при бігу високий спортсмен має велику довжину кроку і меншу його частоту, ніж більш низькорослий спортсмен, при рівній з ним швидкості пересування.

Опорно-руховий апарат (ОРА) людини – це система кісткових важелів, що приводяться у рух м'язами. З точки зору біомеханіки ця система складається з *біокінематичних ланцюгів*, їх *ланок*, або *біоланок* які утворюють *біокінематичні пари* і мають між собою зв'язки, які визначають *свободу рухів* або кількість *ступенів свободи рухів* (Р). Морфологічно *біокінематичні ланцюги* поділяють на *прості* та *складні*, в залежності від кількості пар, з яких складається біоланка. Вони можуть бути замкненими – складені не менше ніж з двох пар, або незамкненими – складені з біоланки, яка входить тільки в одну рухову пару. Наприклад права і ліва кінцівки людини мають 86 біокінематичних пар, а нижні складаються з 82 пар, які об'єднані функціонально і морфологічно у *біокінематичні ланцюги* вільних верхніх та нижніх кінцівок.

У тривимірному просторі (X,Y,Z) число ступенів свободи (Р) пов'язано з числом умов зв'язків (S) біоланки у *біокінематичній парі* і визначається формулою: $P=6-S$. Число умов зв'язку (S) біоланки у біокінематичній парі впливає на її рухомість. Теоретично це число може набувати значень $1 < S < 5$. Усі рухомі ланки мають між собою кінематичні зв'язки, які обмежують зовнішню свободу рухів.

Отже, теоретично можуть існувати не більше 5 класів біокінематичних пар. Тому біокінематична пара 1-го класу може мати 5 ступенів свободи рухів ланок, другого класу – 4 ступені свободи, 3-го класу - три, 4-го класу - дві ступені свободи, біокінематична пара 5-го класу має одну ступінь свободи. Тому жодна з ланок не може мати чотири і тим більше п'ять ступенів свободи руху у своїй біокінематичній парі. Ланки біокінематичних пар можуть характеризуватися тільки трьома ступенями свободи щодо своєї пари. Такими парами є плече та лопатка, які зчленовані у плечовому суглобі. Біокінематичною парою 4-го класу є передпліччя та кисть, зчленовані у променевоzap'ястному суглобі. У руховому апараті людини біокінематичних пар 1 та 2-го класів не виявлено.

Система, яка характеризується геометричними зв'язками називається *голономною*. *Голономна система* визначається фізичними характеристиками тіла – прямолінійною, криволінійною швидкостями, або обертальною швидкістю, прискоренням та геометричними розмірами даної системи - довжина, об'єм. Існують *неголономні системи* – це такі, на які накладаються тільки фізичні обмеження, характеристики. Для неголономної системи число ступенів свободи менше числа координат, які визначають положення даної системи (наприклад суглав).

При здійсненні довільних рухів організм людини повністю не використовує всі свої рухові можливості. При виконанні висококоординованих рухів людині, спортсмену треба долати надмірні ступені свободи руху певних біоланок тіла. Це через те, що на відміну від технічних пристроїв сталої будови, у опорно-руховому апараті людини виникають найрізноманітніші рухові механізми переміщення біоланок, які впливають на локомоторні механізми, біомеханічні характеристики. Ці показники використовують для кількісного опису й аналізу рухової діяльності. Будова рухового апарата людини та висока її рухова активність сприяли розвитку біокінематичних пар і ланцюгів, локомоторних біомеханізмів, необхідних для спортивної, трудової, військової діяльності. При біомеханічному аналізі фіксованих положень тіла людини та її рухів на місці використовуються біостатичні характеристики, зокрема поняття рівноваги. *Рівновага* може бути *стійкою*, *нестійкою* або *байдужою*. До основних критеріїв стійкості відносяться: висота розташування загального центра мас (ЗЦМ) тіла над опорою, розмір площі опори, місце проходження лінії ваги по відношенню до опори; стійкість тіла, моменти стійкості тіла та перекидуючі моменти, коефіцієнт стійкості.

Запитання для самоконтролю

1. Які рухи характеризують біомеханічні характеристики?

2. Які рухи називаються складовими?
3. Надайте кінематичні, енергетичні, динамічні характеристики рухів.
4. Як характеризуються просторові характеристики рухів?
5. Що таке рівновага, її види, значення?
6. Які критерії стійкості?
7. Що таке біокінематичні та морфологічні ланцюг, як їх класифікують?
8. Чим є важелі та маятники?
9. Які біомеханічні показники характеризують діяльність м'язу?

1.16. БІОСТАТИКА ТІЛА ЛЮДИНИ

Статика розглядає умови рівноваги тіла або системи тіл, чим є тіло людини. З позицій біостатики необхідно розрізнити два поняття: положення тіла та поза тіла. *Положення тіла* визначається фіксацією усієї його біомеханічної системи відносно системи відліку, яка пов'язана з тілами довколишнього середовища (наприклад, положення тіла стоячи, сидячи, лежачи тощо).

Поза тіла характеризується фіксацією окремих відносно рухомих ланок тіла людини щодо систем відліку, котрі пов'язані з біомеханічною системою його власного тіла (положення - стоячи; поза - руки на поясі, ноги на ширині плечей тощо).

Рівноваги тіла відносно об'єктів довколишнього середовища вимагає значно більших енергетичних витрат, ніж для підтримки тієї чи іншої пози. У кожному положенні на тіло людини діють сили тяжіння та ваги оточуючих тіл, а також сили реакції опори не дозволяють йому вільного падіння. Врівноважити усі ці сили можна тільки завдяки певних вольових зусиль та м'язових напружень. Виключенням є лише деякі пасивні положення тіла (наприклад, положення лежачи, коли центр тяжіння знаходиться найнижче.).

Знання розташування загального центра тяжіння (ЗЦТ) тіла необхідно для рішення багатьох завдань механіки рухів, які залежать від збереження рівноваги тіла, ступеня його стійкості. *Загальний центр тяжіння* – це точка докладання рівнодіючої всіх сил тяжіння, що діють на тіло, його частини і залежить від анатомо-фізіологічних характеристик, особливостей тіла людини – поза, стан дихальної, травної, серцево-судинної систем, які впливають на переміщення мас в організмі. Наприклад вага грудного відділу тулуба змінюється – при вдиху вага менша, а при видиху більша.

На положення ЗЦТ суттєво впливає поза. Тому координати ЗЦТ є функцією від координат усіх біоланок організму. При цьому ЗЦТ співпадає з центром мас та центром інерції тіла людини. Знання розташування ЗЦТ є важливим для біостатики, біокінематики, біодинаміки, бо точка розташування ЗЦТ може зміщуватися під дією зовнішніх або внутрішніх сил, які впливають на функціонування, результативність механічної роботи, потужності, механічної енергії. Для визначення ЗЦТ тіла, його частин використовують експериментальні, або розрахункові та графічні методи визначення координат ЗЦТ.

Аналітичний (розрахунковий) метод враховує зв'язки маси окремих сегментів тіла з його загальною масою та положенням центра тяжіння біоланки із загальною її довжиною.

Розташування ЗЦТ у системі координат визначає *теорема Варіньона*: момент рівнодіючої сили (M_x), яка залежить від загальної ваги тіла (P) та ваг окремих ланок (P_i) відносно обраної осі координат дорівнює алгебраїчній сумі моментів складових сил відносно цієї осі. Отже: $M_x = \sum P_i x_i$, або $P x_c = \sum P_i x_i$ та $P y_c = \sum P_i y_i$, де x_c , y_c – координати ЗЦТ у системі відліку OXY , x_i та y_i – відповідні координати центрів тяжіння окремих ланок тіла; P – загальна вага тіла людини, P_i – вага окремої ланки. Для розрахунку ЗЦТ необхідно:

- 1) сфотографувати (з використанням масштабної рейки – довга лінійка) досліджуваного у двох площинах – сагітальній (вигляд збоку – зліва або справа) та фронтальній (вигляд зпереду або ззаду);
- 2) на фотографії провести систему декартових координат OXY ;
- 3) на фотографії вказати точки центрів суглобів та точки центра тяжіння голови та кистей;

Гомілка Права													
Гомілка ліва	5			0,42									
Стопа права	2			0,44									
Стопа ліва	2			0,44									
		$P=\sum P_i$								$\sum P_i X_i$	$\sum P_i Y_i$	$\sum P_i X_i$	$\sum P_i Y_i$

Для визначення ЗЦТ графічним методом необхідно: 1) сфотографувати досліджуваного у необхідній площині;

2) на фотограмі позначити точки центрів суглобів і точки центрів тяжіння голови та кистей;

3) виміряти довжину всіх біоланок тіла, користуючись даними табл. 4 Фішера-Брауне та визначити центр тяжіння кожної біоланки і відобразити його точкою;

4) знайти загальні центри тяжіння кожних двох сусідніх біоланок (наприклад плеча та передплеччя) і обчислити місце розташування точки загального центра тяжіння кожної пари біоланок за формулою: $P_1/P_2=(L-X)/X$, де P_1 та P_2 - відносна вага біоланок (табл. 5, графа 2), L – відстань між ЦТ цих біоланок, X – шукана відстань від центра тяжіння біоланки певної ваги до загального центра тяжіння обох біоланок.

1. 17. КІНЕМАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХІВ ТІЛА ЛЮДИНИ

У багатьох випадках доцільно використовувати одночасно прямокутні, полярні та сферичні координатні системи. Це дозволяє розв'язувати різноманітні просторові завдання в антропометрії та біомеханіці. Отже, у тій або іншій системі відліку усі точки тіла людини можуть бути описані такими *біокінематичними характеристиками*: 1) траєкторія руху; 2) форма руху; 3) шлях руху; 4) час руху; 5) швидкість руху; 6) прискорення руху. До системи відліку часу входить певний початок та одиниці відліку. В умовах змагань за початок відліку часу беруть суддівський час, тобто "секундоміри виставляють на нуль". Часові характеристики розкривають рух у часі, коли він почався і коли закінчився (момент часу), як довго тривав (тривалість руху), як часто виконувався рух (темп), як рухи були побудовані у часі (ритм).

Швидкість точки — це просторово-часова міра руху точки (швидкість зміни її положення). Швидкість дорівнює першій похідній за часом від радіуса-вектора у системі відліку, що розглядається. Визначається швидкість точки за змінами її координат у часі. Швидкість (v) - величина векторна і характеризує швидкість руху та його напрямок і визначається флрмулою: $V=S/t$, де v – швидкість (м/с), S - довжина подоланого шляху за певний час t .

Миттєва швидкість - це швидкість тіла у даний момент часу або у даній точці траєкторії, коли усі сили перестали на нього діяти.

Середня швидкість — це швидкість, з якою точка у рівномірному русі за той самий час пройшла б увесь розглядуваний шлях. Середня швидкість дозволяє порівнювати нерівномірні рухи.

Швидкість руху тіла визначають за швидкістю руху його точок. При поступальному русі тіла лінійні швидкості всіх його точок однакові за величиною і напрямом.

При *обертальному русі* (ω) визначають кутову швидкість (ϕ) тіла як міру швидкості зміни його кутового положення. Вона дорівнює за величиною першої похідної за часом від кутового переміщення: $\omega=\phi/t$, або $\omega=d\phi/dt$, де $d\phi$ та dt – безкінечно малі значення часу та кутової швидкості.

Швидкість системи тіл, що змінюють свою конфігурацію, не можна визначити так само, як кутову швидкість твердого тіла. У цьому випадку визначають лінійну швидкість *загального центра мас* (ЗЦМ) системи. Часто визначають лінійні швидкості точок ланок тіла (проекції осей

суглобів на поверхню тіла). Окрім того, при змінах пози визначають кутові швидкості ланок тіла щодо осей суглобів; ці швидкості звичайно змінюються у процесі руху. Для біомеханічного обґрунтування рухів необхідно у кожному випадку вибрати, які швидкості і яких ланок та точок слід визначити.

Одним з найпоширеніших рухів точок тіла людини є криволінійний рух, наприклад *обертальних рух*. Вектор швидкості точки при криволінійному русі безперервно змінює свій напрямок відповідно до форми її траєкторії, залишаючись постійно дотичною до неї. При дослідженні обертальних рухів слід урахувувати не тільки величину маси, але й її розподілення у тілі, яке рухається. На розподіл матеріальних точок у тілі вказує місце розташування мас тіла. Прискорення, що характеризує зміни вектора швидкості за напрямком, називається *нормальним або доцентровим* прискоренням.

У ряді випадків тіло людини може здійснювати так звані плоско-паралельні рухи. Це спостерігається, коли усі точки тіла рухаються у площинах, паралельних одній нерухомій площині (наприклад, з певними допущеннями таким рухом можна вважати біг спортсмена по дистанції, що регламентується вертикальним положенням та простором, обмеженим біговою доріжкою). При цьому усі точки тіла мають неоднакові траєкторії та швидкості (на відміну від поступального руху). Такий рух може бути проаналізований шляхом розкладання на складові руху: поступальний зі швидкістю будь-якої довільно взятої точки тіла та обертальний рух інших точок тіла навколо цієї точки. Дана точка у механіці називається полюсом обертання. Якщо за полюс береться точка, швидкість у якій на даний момент часу дорівнює нулю, то полюс є миттєвим центром.

Миттєвий центр швидкостей у плоскопаралельному русі описує лінію, що називається - *центроїда*. Положення полюса на центроїді у кожний момент часу називається миттєвим центром обертання тіла. Рух полюса відносно нерухомої площини розглядається як переносний рух. Рух точок навколо полюса у такому випадку вважається відносним рухом.

У динаміці розв'язуються два основних завдання: 1) за заданими (відомими) силами визначається закон руху (пояснюється, яким чином рухається тіло даної маси під дією сил); 2) за відомим законом руху визначається величина та напрямок діючих сил.

Усі завдання динаміки реалізуються на основі використання трьох основних законів механіки Ньютона. Згідно з першим законом (закон інерції), усяке тіло намагається зберегти стан спокою або прямолінійного та рівномірного руху, поки вплив з боку інших тіл не змусить його змінити цей стан. *Інерційні характеристики* найповніше розкриваються у *першому законі Ньютона*. *Інерція* - властивість фізичних тіл – їх здатність рухатися після припинення дії сили, яка викликала рух. Вона виявляється у поступовій зміні їх швидкості з плином часу під дією зовнішніх, сил. Тобто тіло зберігає швидкість, поки її не змінять сили, що діють на нього.

За другим законом — прискорення (a), котре отримує тіло певної маси (m) під дією сили (F), прямо пропорційне силі та обернено пропорційне масі тіла. Із третього закону випливає, що у разі взаємодії тіл виникають рівні за величиною, але протилежно напрямлені сили (дія дорівнює протидії).

Будь-які тіла зберігають швидкість незмінною, якщо відсутні зовнішні впливи. Ця властивість не має міри і її прийнято називати *інерцією*. Різні тіла змінюють швидкість під дією сил по-різному. Отож, ця якість має міру. Саме цю властивість називають *інертністю*. Саме інертність і викликає інтерес у тих випадках, коли необхідно оцінити, яким чином змінюється швидкість тіла.

Момент інерції тіла — це міра його інертності при русі. Момент інерції тіла відносно осі дорівнює сумі добутків мас усіх матеріальних точок тіла на квадрати їхніх відстаней від даної осі. Збереження швидкості незмінною за реальних умов можливе лише тоді, коли усі зовнішні сили, прикладені до тіла, взаємно зрівноважені. В інших випадках незрівноважені зовнішні сили змінюють швидкість тіла відповідно до міри його інертності.

Велике значення має *третій закон Ньютона* – сили, з якими два тіла діють один на іншого, спрямовані в одному напрямі, однакові за величиною і протилежні за напрямом: $F_1 = -F_2$, або: $m_1 a_1 = m_2 a_2$. Система, яка складається з тіл, що взаємодіють тільки з тілами даної системи, називається *замкненою системою*.

Закон збереження імпульсу означає, що, якими б не були внутрішні рухи у замкненій системі ланок тіла людини, її центр мас зберігає своє положення - покоїться або прямолінійно рівномірно рухається. Необхідно враховувати також тривимірність простору. У зв'язку з цим очевидно, що закон може діяти для однієї осі (по котрій сума проекцій імпульсів є постійною) і не виконуватися для іншої осі. Так, зокрема, він може діяти для горизонтального руху тіла і не діяти для його вертикального руху, в якому бере участь зовнішня сила тяжіння.

Якщо на тіло подіяти силою F і перемістити його на відстань S , то сила виконає *роботу* (A): $A=Fs$. Якщо вектори - напрямки сили (F) і відстані (S) не співпадають за напрямками, то $A=Fscos\alpha$; α - кут між напрямком сили і переміщенням. Одиниця виміру роботи – *Джоуль* (у системі СІ) або кіловат-година. Робота, що здійснюється за одиницю часу - *потужність* (W), або $W = A/t=Fv$. З останньої формули можна визначити потужність коротких інтенсивних рухів (ударів по м'ячу, боксерські удари та інших ударних дій), коли механічну роботу визначити важко, але можна виміряти силу і швидкість. Одиниця виміру *потужності* - *Ват* (Дж/с) або *кінська сила* – застаріла одиниця вимірювання.

Будь-яка матеріальна точка, або тіло, знаходиться в полі (гравітаційному, електромагнітному) і на нього діє сила F від цього поля, вона має можливість здійснювати певну роботу (A). Цей запас роботи, зумовлений положенням точки в полі, є її потенційною енергією ($E_{пт}$): $E_{пт}=mgh$ – дія гравітаційної сили - тяжіння.

Якщо розглянути замкнену систему, тобто систему, на яку не діють зовнішні сили, то для такої системи справедливим є перший закон термодинаміки: енергія в заданій замкнутій механічній системі зберігається. Інакше - це закон збереження енергії. Якщо на систему діють зовнішні сили і вона переходить з одного стану в інший, то зміна повної механічної енергії дорівнює роботі зовнішніх сил. У деформованих тілах повна енергія дорівнює сумі внутрішньої і кінетичної енергій.

Перетворення одного виду механічної енергії в інший називається *рекуперацією* механічної енергії. Простий приклад – обертання гімнаста на перекладині, коли обертальна кінетична енергія переходить цілком у потенційну у верхній його точці і навпаки - у нижній.

Оцінка енергетичних показників діяльності спортсмена здійснюється з використанням різного роду *датчиків* і тестів. З їх допомогою можна оцінити фізичний стан спортсмена і рівень його потенційних можливостей.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить загальний центр тяжіння?
2. Охарактеризуйте методи визначення координат ЗЦТ
3. Від чого залежить розташування ЗЦТ?
4. Яка послідовність дій, необхідних для розрахунку ЗЦТ?
5. Охарактеризуйте біокінематичні характеристики рухів
6. Охарактеризуйте інерційні характеристики
7. Як пов'язані між собою робота, сила та потужність?
8. Що таке потужність, від чого вона залежить?
9. Що таке рекуперація енергії, її значення у спорті?

1.17.1. ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХІВ

Більшість із них обчислюються з кінематичних і динамічних характеристик. Так, *механічна робота* є добуток сили (F) на переміщення (S): $A = F\Delta S$. Наприклад, для того щоб піднятися по канату на висоту 5 м, хлопчик з масою тіла в 30 кг виконує роботу близько 1500 джоулів: $30 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 5 \text{ м} \approx 300 \text{ Н} \cdot 5 \text{ м} = 1500 \text{ Дж}$. Якщо цей підйом тривав 10 с, то хлопчик повинен витратити потужність, яка дорівнює 1500 Дж: $10 \text{ с} = 150 \text{ Вт}$. Отже, потужність (N) обчислюється формулою: $N = A/\Delta t = F \cdot \Delta S/\Delta t = F \cdot v$.

Останнє перетворення формули особливо важливе. Воно дає можливість визначити потужність коротких інтенсивних рухів (наприклад, ударів по м'ячу, боксерських ударів та інших ударних

дій), особливо коли механічну роботу визначити важко, але можна виміряти силу, наприклад динамометром, та швидкість (за допомогою секундоміра та рулетки). Так, при ударі футболіста по м'ячу сила дії може досягати 400 Н, а швидкість вильоту м'яча 30 м/с. У цьому випадку розвивається потужність, що становить 12000 Вт. Важливою характеристикою є *потенційна енергія* ($E_{\text{п}}$), яку визначає формула: $E_{\text{п}}=mgh$, де m – маса тіла, g – прискорення вільного падіння ($9,6 \text{ м/с}^2$); h – висота, з якої рухається тіло. *Кінетична енергія* ($E_{\text{к}}$) визначається за формулами - при поступальному русі ($E_{\text{пост}}$): $E_{\text{пост}} = mv^2/2$; при обертальному русі ($E_{\text{оберт}}$): $E_{\text{оберт}} = J\omega^2/2$, де v – лінійна швидкість, ω – кутова швидкість, m – маса, J — момент інерції.

Як відомо, у механічну енергію перетворюється менша частина *метаболічної енергії*. Це характерно і для м'язової діяльності, коли теплова енергія перетворюється у *корисний рух*, що характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД). Отже економічність руху характеризує формула: $\text{ККД} = A/E \cdot 100\% = N/E' \cdot 100\%$, де A – робота руху, E – кількість метаболічної енергії, Дж; E' – швидкість її витрачання, Вт.

Рух будь-якого тіла – твердого, рідинного, газоподібного характеризується однаковими залежностями. Так, для того щоб визначити енергетичну вартість бігу ($E_{\text{в}}$, Дж/м), потрібно розділити швидкість витрати метаболічної енергії (E') на швидкість бігу (v): $E_{\text{в}}(\text{Дж/м}) = E'/v$. *Пульсова вартість* (ПВ) ходьби, бігу та інших циклічних локомоцій обчислюється формулою: $\text{ПВ} (1/\text{м}) = \text{ЧСС}/60 \cdot v$, де ЧСС – частота серцевих скорочень як різниця діастолічного та систолічного тисків. Пульсову вартість простіше виміряти, чим енергетичну. І крім того, у деяких ситуаціях пульсова вартість інформативніша енергетичної (наприклад, при біомеханічному контролі за руховою діяльністю в умовах спеки).

1.17.2. КІНЕМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІДИННИХ І ГАЗОПОДІБНИХ ТІЛ

Рідини та гази, на відміну від твердих тіл, майже не протидіють опору зміни їх форми при збереженні свого об'єма сталим. Щоб змінити об'єм рідини або зменшити об'єм газу треба прикласти зовнішню силу, яка називається пружністю об'єма або тиск. Це величина, яка вимірюється силою, яка перпендикулярна до поверхні та виражається одиницями: 1н/м^2 , або $1\text{атм}=1,013 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$. За законом *Паскаля* зовнішній тиск (P) на рідину або газ передається у всі сторони рівномірно. Величина тиску не залежить від форми тіла, яке тисне, а тільки від його розмірів. На тіло, яке занурене у рідину або газ діє виштовхуюча сила, яка дорівнює вазі, виштовхнутої рідини або газу – закон *Архімеда*. Отже, у рідинних системах (наприклад кров, лімфа та інші), дихальній системі діють відомі закони фізики – механіки, кінематики з врахуванням певних особливостей кожного тіла, кожної людини, враховуючи фізіологічні, біохімічні особливості.

Біокінематика – аналізує результати досліджень без розгляду причин, які можуть викликати рух, наприклад фізичні - силові або динамічні, хімічні – за рахунок активності речовин. При виконанні рухової дії положення тіла або спортивного снаряда змінюється. При цьому їх матеріальні точки рухаються в просторі по лініях, які називаються *траєкторіями* і *можуть мати форму прямої або кривої лінії*.

Лінійне переміщення (ΔS) - відстань по прямій між кінцевим і початковим положеннями тіла. Лінійне переміщення вимірюють в одиницях довжини (метрах) протягом певного часу (t , сек.) – це швидкість (v), яку визначають формулою $v=S/t$. Треба вирізняти об'ємну швидкість (Q), яка залежить від різниці тисків (P_1-P_2) на початку та у кінці кровоносної судини та від опору крові (R), зокрема: $Q=(P_1-P_2):R$

1.17.3. ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РУХІВ

Розділ біодинаміки використовує закони І. Ньютона, які характеризують рухи тіл та причини які викликають або змінюють рух під дією сили. На відміну від кінематичних їх неможливо оцінити на око - потрібна вимірювальна апаратура та знання законів динаміки.

Перший закон – будь яке тіло знаходиться у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла або сили. Стан збереження величини та напрямку швидкості

тіла, на яке не діють інші тіла, сили називається *інерцією*. Цей стан залежить від кількості речовини у тілі – це *міра інертності*. Міра інертності тіла – його маса. Другий закон Ньютона – прискорення (а) тіла з масою (m) – це результат дії на нього сили F. Залежність між цими величинами виражає формула: $F=ma$. Динамічні характеристики допомагають розібратися у складних механізмах формування рухів і знайти шляхи оволодіння ними, їх вдосконалення й виправлення можливих помилок. Адже помилки в кінематиці (зовнішній картині рухів) завжди є наслідком несвоєчасних і нераціональних (недостатніх або надмірних) м'язових зусиль і неправильного використання зовнішніх сил.

Прискорення (a), що набувається тілом, обернено пропорційно його інертності й прямо пропорційно дії сили: лінійне прискорення $a = F/m$; інакше вимірюється кутове прискорення: $\varepsilon = m/J = F \cdot L / m \cdot R^2$. Щоб знайти прискорення тіла в поступальному русі, досить знати величину сили (F) і масу (m). При обертальному русі ситуація складніша. Інертність обертового тіла визначається не масою, а моментом її інерції (J), який визначає формула: $J=mR^2$. Результат дії сили залежить не тільки від її величини, але й від місця прикладення. Чим довше плечо сили - найкоротша відстань від осі обертання до лінії дії сили, тим більший *момент сили (M)*, або *обертальний момент (M)*, який дорівнює добутку сили на її плече: для поступального руху $\Delta v = F\Delta t/m$; для обертального руху $\Delta \omega = M \Delta t / J$. Момент сили $M=Jj$, $J=mR^2$ або $M=mR^2 \cdot j$, де j – кутове прискорення. Ефект дії сили - збільшення швидкості залежить не тільки від величини сили, але й від тривалості її дії (Δt). У зв'язку з цим з'являються дві біомеханічні характеристики: *імпульс сили* $F/\Delta t$ та *імпульс моменту сили* $M\Delta t$.

1.17.3.1. ДИНАМІКА ХОДЬБИ ТА БІГУ

Людина - саморухлива система, оскільки першопричиною її рухів є внутрішні сили, створювані м'язами за рахунок біохімічних реакцій та зовнішніх, прикладених до рухливих ланок тіла. До внутрішніх сил відносяться сили інерції, прикладені до центрів мас, які прискорюють рух тіла - «реальні» сили інерції або гальмують рухи тіла через так звані «фіктивні» сили інерції. *Сила інерції* (F_{in}) дорівнює добутку маси всього тіла або окремої ланки на його прискорення й спрямована у бік протилежний прискоренню: $F=ma$. Тому сила інерції уповільнює розгін і сприяє гальмуванню. Поряд із внутрішніми на людину діють також зовнішні сили. При ходьбі та бігу до них відносяться: сила тяжіння, сила реакції опори, сила опору повітря.

Сила тяжіння (G - гравітаційна сила) прикладена до центра мас і дорівнює добутку маси тіла на прискорення земного тяжіння: $P= m \cdot g$. Наприклад, при масі тіла 50 кг сила тяжіння близька до 500 Н (50 кг). Треба враховувати і силу *лобового опору* повітря, прикладеної до центра поверхні тіла. Вона збільшується пропорційно квадрату швидкості. Наприклад, при швидкості 9 м/с сила лобового опору повітря в 4 рази більше, ніж при швидкості 4,5 м/с, і в 9 разів більше, ніж при швидкості 3 м/с.

Розрахунки показують, що при швидкості бігу 8 м/с її величина досягає 20 Н. Слід враховувати і *силу реакції опори*, яка не є рушійною силою. Але її треба врахувати і виміряти та зобразити графічно. Щоб визначити результат спільної дії всіх сил (і внутрішніх, і зовнішніх) важливим є механізм формування *опорної реакції*. Ця сила формується коли людина, відштовхуючись від опори, тисне на неї із силою відштовхування, що складається із двох компонентів: 1) статичної ваги (постійної й рівної силі ваги) і 2) динамічного компонента. Динамічний компонент проявляється тільки при рухах, виконуваних із прискоренням, коли все тіло або окремі ланки прискорюються або гальмуються.

Динамограми ходьби та бігу мають більш складну форму, чим, наприклад, динамограма присідання. Це пояснюється тим, що динамічний компонент сили дії ноги на опору залежить від різноспрямованих сил інерції багатьох сегментів тіла. Кожна з сил, прикладена до центра мас, прискорює або гальмує сегменти, передається через опорну ногу на опору. Ці сили інерції виникають при рухах, що супроводжують ходьбу та біг, у тому числі: 1) при махових рухах, наприклад, при відштовхуванні правою ногою, маховий рух лівої ноги збільшує силу дії правої ноги на опору. Наприклад при спринтерському бігу внесок махових рухів обох рук в опорну

реакцію сягає 20%, а внесок махової ноги до середини періоду опори 50%; 2) при згинанні або розгинанні опорної ноги, наприклад, на початку фази амортизації, згинання опорної ноги бігуна призводить до виникнення сили інерції, що зменшує силу дії на опору.

Отже, сили дії ніг на опору відображають всю сукупність внутрішніх і зовнішніх сил, що впливають на тіло людини. Такі ж характерні і для сили *реакції опори*, яка дорівнює по величині силі дії на опору, але протилежно спрямованої. Сила дії на опору, а також і *реакція опори*, має дві складові: вертикальну й горизонтальну. Їхні величини змінюються в часі, про що судять за динамограмою ходьби або бігу.

Горизонтальна складова динамограми бігу та ходьби складається із двох напівхвиль: негативної й позитивної. Негативна напівхвиля відповідає початковій фазі періоду опори, коли відбувається неминуче гальмування, яке треба зменшити. Для цього безпосередньо перед постановкою ноги на опору треба робити активний рух, «загрібаючого». Характеру. Після цього починається друга, позитивна напівхвиля динамограми, що показує, як змінюється в часі сила, що просуває тіло бігуна або ходака вперед. Її величина у висококваліфікованих бігунів досягає 500-600 Н (50-60 кг).

Значно більша амплітуда вертикальної складової динамограми. При бігу вона досягає в майстрів спорту 2800 Н, у новачків 1300 Н. При ходьбі амплітуда вертикальної складової в середньому сягає 1000 Н. Величина сили дії на опору залежить від властивостей доріжки й матеріалу, з якого виготовлене взуття.

Різниця у величині вертикальної складової опорної реакції при ходьбі у взутті із твердою шкіряною підошвою й підошвою з мікропористої гуми досягає 350 Н. М'яке покриття доріжки й взуття з амортизаторами роблять техніку ходьби й бігу більш відповідною критерію комфортабельності. Тим самим зменшується тиск на суглоби та міжхребцеві диски. Це зменшує навантаження на них. І не тому ті, хто бігає підтюпцем по асфальту й у твердому взутті, часто скаржаться на болі в попереку й суглобах через їх перевантаження

1.18. РУХИ НАВКОЛО ВІСІВ

Тіло людини можна умовно розділити на 15 ланок, які мають між собою зчленування і представлені *важелями* або *маятниками*, які поєднані суглобом. Для важеля першого роду рух є обертальним навколо точки зчленування (точка О) і залишається нерухомою, а всі інші точки рухаються по поверхнях сфер, що мають центр у цій точці. При такому обертальному русі тіла будь-яке його елементарне переміщення являє собою елементарний поворот навколо деякої осі, що проходить через точку О, яка є частиною *миттєвої осі обертання*. Оскільки зчленування відноситься до тіла спортсмена, то воно безперервно змінює своє положення в просторі. В результаті обертальний рух тіла складається з серії елементарних поворотів навколо безперервно змінюючих свій напрям миттєвих осей. Іншим важливим поняттям є *центр ваги* тіла або системи тіл. Це точка, в якій сума *моментів сил* тяжіння всіх частинок тіла дорівнює нулю. При цьому центр ваги може знаходитися поза геометричних меж тіла. Центр ваги має велике значення при оцінці виду рівноваги тіла. Залежно від розташування точки опори або опорної поверхні по відношенню до центра ваги розрізняють *стійку*, *нестійку* і *байдужу рівноваги*.

Тіло знаходиться в *стійкій рівновазі*, якщо його центр ваги розташовується нижче точки опори або нижче горизонтальної опорної поверхні. *Стойка рівновага* – це таке положення тіла, при виведенні з якого воно повертається у вихідне положення під впливом сили тяжіння. І навпаки, *нестійка рівновага* – коли воно не може повернутися у вихідне положення без додаткової дії зовнішніх сил. У випадку, коли тіло повертається у вихідне положення і не втрачає рівноваги, воно набуває положення *байдужої рівноваги*.

Якщо центр тяжіння знаходиться вище горизонтальної опорної поверхні - тіло знаходиться у *нестійкій рівновазі*. Тоді лінія дії сили тяжіння не перетинає опорну поверхню. Якщо центр ваги збігається з точкою опори, то тіло знаходиться в *байдужій рівновазі*.

Таким чином, якщо спортсмен стоїть, то рівновага його тіла буде стійкою, оскільки хоча центр ваги і знаходиться вище опорної площини, але лінія дії сили тяжіння проходить через центр ваги

спортсмена. При відхиленні від вертикального положення, особливо з навантаженням в руках, рівновага спортсмена зі стійкої переходить в нестійку через зміщення лінії дії сили тяжіння відносно центру тяжіння, що відображено на рис. 7.

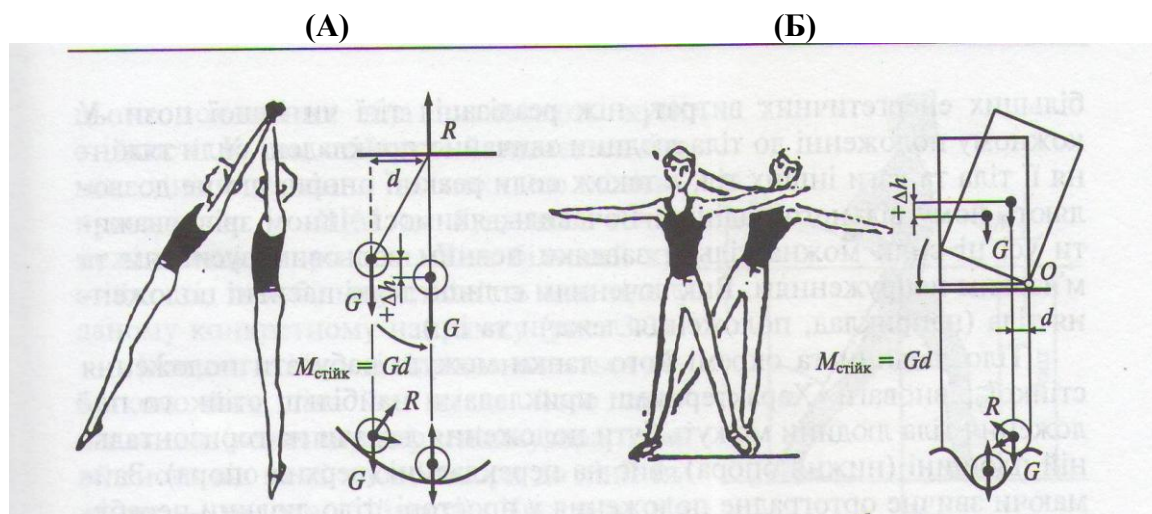


Рис. 7. Рівноваги тіла - стійка (А) і обмежено стійка (Б)

Для обертового твердого тіла через центр ваги або центр мас можна провести як завгодно багато вісів обертання. Однак, виходячи з геометричної форми тіла і розподілу маси в ньому, можна виділити дві взаємно перпендикулярних вісі з найбільшим і найменшим моментами інерції ($J = mR^2$). Стійке обертання незакріпленого тіла можливе тільки навколо цих осей. Таке обертання тіла навколо осі, перпендикулярної двом першим, неможливо. Всі три осі називаються головними осями інерції даного тіла. Будь-який контакт з опорною поверхнею додає додаткову точку або ось обертання, що впливає на характер руху спортсмена.

1.18.1. ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ТЯЖІННЯ І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ У РУХАХ

Форма тіла та розміщення у ньому його маси визначають місце розташування центра тяжіння. Центр тяжіння може знаходитися і за межами об'єму тіла. Центр тяжіння - це умовна точка (геометричний образ), через яку проходить лінія тяжіння. Положення центра тяжіння відносно опори впливає і на ступінь стійкості тіла та умови його рівноваги.

Рівновага тіла людини проявляється тоді, коли всі сили, що діють на нього, і моменти сил є зрівноваженими (будь-які його прискорення дорівнюють нулю). У цьому положенні тіло може бути у спокої, рухатися прямолінійно та рівномірно або рівномірно обертатися навколо осі, що проходить через центр його тяжіння. Рівновага тіла людини має місце тоді, коли геометрична сума векторів усіх прикладених до тіла сил також дорівнює нулю. Рівновага тіла може бути стійкою, нестійкою, байдужою. При розв'язанні різноманітних рухових завдань досить часто доводиться зберігати нерухоме положення тіла. З іншого боку, так само часто вона вирішує завдання щодо збереження такого положення у взаємодії з іншими тілами, спортивними снарядами (наприклад, штанга, котру необхідно зафіксувати у положенні стоячи на прямих руках над головою). Для того щоб утримати, зафіксувати такі та багато інших положень свого тіла, людина повинна перебувати у рівновазі. Закони та правила, за котрими це відбувається, є предметом *біостатичного аналізу*.

Тіло людини та окремі його ланки можуть набувати положення стійкої рівноваги. Характерними прикладами найбільш стійкого положення тіла людини можуть бути положення лежачи на горизонтальній площині (нижня опора), вис на перекладині (верхня опора). Займаючи звичне положення у просторі, тіло людини перебуває у нестійкій рівновазі. Положення байдужої рівноваги у природних умовах тіло людини набути не може. Важливою характеристикою є площа опори. Це площа, обмежена крайніми точками опори тіла. Наприклад широко розставлені стопи

ніг. Чим більша площа опори, тим тіло є більш стійким. Вона, однак, рідко набуває правильної форми. Лінія тяжіння – це перпендикуляр, опущений з центра тяжіння тіла на площу опори рідко перетинає площу опори через центр. Тому стійкість тіла не в усіх напрямках однакова. Так, у важкоатлета, який зафіксував штангу на прямих руках над головою, у передньозадньому напрямку ступнів стійкості буде меншою, у фронтальному - більшою.

Для точнішої оцінки цього положення тіла визначають кути стійкості. Кутом стійкості називається кут між лінією тяжіння та похилою лінією, проведеною із ЗЦМ до будь-якої точки межі площі опори тіла. Чим більший кут стійкості, тим більшу стійкість має тіло у даному конкретному напрямку.

Важливим є *момент стійкості* ($M_{\text{стійк}}$) тіла, який визначається добутком ваги тіла (P) на плече його прикладання (L) - величину перпендикуляра, проведеного від межі площі опори до лінії тяжіння - радіуса стійкості. Чисельно він залежить від двох величин: ваги тіла (P) та радіуса стійкості (r) у даному напрямку. Чим більшими є ці величини, тим більшим буде момент стійкості, а відповідно і ступінь стійкості усього тіла: $M_{\text{стійк}} = Pr$. Для збереження рівноваги тіла людини необхідно, щоб момент стійкості був більшим, ніж перекидний момент. Відношення моменту стійкості ($M_{\text{стійк}}$) до перекидного моменту ($M_{\text{пер}}$) називається *коефіцієнтом стійкості*: $K_{\text{стійк}} = M_{\text{стійк}} : M_{\text{пер}}$. Якщо коефіцієнт стійкості більший за одиницю, то рівнодіюча двох сил $F_{\text{пер}}$ та P проходить у межах площі опори. Коли коефіцієнт стійкості дорівнює одиниці, то тіло людини набуває крайнього положення рівноваги. При коефіцієнті стійкості, меншому за одиницю, лінія дії рівнодіючої (K) двох сил - $F_{\text{пер}}$ та P проходить за межами площі опори і тіло втрачає рівновагу. Отже, тіло людини набуває тим стійкішого положення, чим нижче розташований її ЗЦМ, чим більша його площа опори, чим ближче до центра перетину площі опори лінія тяжіння, чим більший кут і момент стійкості, чим більший за одиницю його коефіцієнт стійкості.

Змінюючи тільки позу, людина звичайно здійснює багато робочих рухів. У випадку, коли положення її тіла стійке, то рухи виконуються легко, з високою точністю. Найбільш наочним прикладом є рухи художника, ювеліра, годинникаря тощо. Для того щоб здійснити рухи зі зміною пози і положення тіла, людина має виконати попередню перебудову своєї пози - так звану підготовчу фазу. Прикладом таких рухів може слугувати перехід із положення сидючи у положення стоячи і назад. Підготовча фаза необхідна для того, щоб створити для тіла необхідний ступінь стійкості. У другій, основній, фазі, власне, реалізується основна частина рухового завдання — зміна положення тіла. При виконанні рухів без зміни місця відбувається зміна *умов рівноваги* тіла людини. Спостерігаються два процеси: 1) переміщення ЗЦМ по вертикалі; 2) переміщення ЗЦМ по горизонталі. І у тому і в іншому випадках помітна тенденція до втрати рівноваги тіла. При переміщенні ЗЦМ по вертикалі відбувається зміна тиску тіла на опору. У спокої вона дорівнює вазі тіла (P). При русі тіла з прискоренням по вертикалі до ваги тіла додається або від нього віднімається, залежно від напрямку вектора прискорення, сила інерції $P_{\text{ін}}$ певної частини тіла. При переміщенні ЗЦМ по горизонталі лінія тяжіння може переміщуватися до края межі площі опори.

Для збереження рівноваги у такому положенні рекомендується виконувати так звані *компенсаторні рухи*. Ці рухи дають змогу компенсувати переміщення певних мас ланок тіла у протилежному напрямку, внаслідок чого ЗЦМ системи суттєво не змінює свого положення відносно опори. При нижній опорі компенсаторні рухи рекомендується виконувати, починаючи з тих суглобів і ланок тіла, котрі розташовуються ближче до опори.

Запитання для самоперевірки

1. Що є предметом біостатичного аналізу?
2. Що таке момент стійкості та його коефіцієнт, їх значення?
3. Охарактеризувати умови рівноваги
4. Що таке компенсаторні рухи, яке їх призначення?
5. Як охарактеризувати центр тяжіння тіла людини, вказати метод його визначення?
6. Для чого важливими є знання розташування ЗЦТ?

7. Що таке умови зв'язків та ступені свободи, яке їх значення для опорно-рухового апарату людини?
8. Від чого залежить швидкість у рідинному середовищі, зокрема крові?
9. Що таке компенсаторні рухи, яке їх значення?

Практична робота № 9.

Тема: Біостатика тіла людини та біодинаміка рухових дій, вимірювання фізичних біокінематичних характеристик тіла та визначення основних характеристик організму як біомеханічної системи, зокрема кровоносної.

Мета: закріпити теоретичні знання з теми і отримати практичні навички визначення основних методів розрахунків ЗЦТ, закріпити теоретичні знання про біомеханічні властивості опорно-рухового апарату та методи і засоби вимірювання його характеристик.

Обладнання: фотоапарат, лінійка, рулетка, вимірювальна стрічка, секундомір, динамометр, тонометр.

1. Теоретична частина

1. Яка теорема визначає розташування ЗЦТ у системі координат?
2. Охарактеризувати теорему Варіньона, вказавши її значення у біомеханіці.
3. Який алгоритм дій при визначенні центра тяжіння?
4. Яка послідовність дій при визначенні ЗЦТ графічним методом?
5. Чим відрізняється аналітичний метод визначення загального центра тяжіння від графічного?
6. Яка будова, функції, властивості опорно-рухового апарату людини?
7. Що таке важелі та маятники, біокінематичні ланцюги та їх значення?
8. Від чого залежить швидкість кровотоку по судинах?
9. Які значення артеріального тиску у здорової людини?
10. Які основні показники тренованості організму?
11. Що таке фактичний індекс кровопостачання (ФІК) і від чого він залежить?
12. Що таке біологічний та календарний віки, що вони характеризують?

2. Практична частина

Завдання 1. Надати блок-схему аналітичного (розрахункового) метода розрахунку ЗЦТ.

Завдання 2. Зобразити графічну схему визначення ЦТ верхньої кінцівки

Завдання 3. Надати блок-схему графічного метода розрахунку ЗЦТ.

Завдання 4. Зобразити схематично систему найбільш вагомих біокінематичних ланцюгів опорно-рухового апарату

Завдання 5. Розрахувати кількість умов зв'язків та ступенів свободи для опорно-рухового апарату людини та охарактеризувати інерційні характеристики рухів

Завдання 6. Обчислити фактичний індекс кровопостачання (ФІК) за формулою:

$$ФІК = [(100 + 0,5ПТ - 0,6ДТ - 0,6В) : ЧП] : Р$$
, де: ДТ – діастолічний тиск, мм. рт. ст.; ПТ – пульсовий тиск - це різниця між значеннями систолічного та діастолічного тисків, мм. рт. ст.; В – вік; Р – вага тіла; ЧП – частота пульсу; ФІК – це кількість крові, яка протікає через 1 кг ваги тіла за 1 хв. Цей показник визначає біологічний, не календарний, вік (БВ). Для його визначення скористатися графіком, на якому на осі абсцис БВ, на ординаті значення ФІК.

Завдання 7. Визначити індекс периферійного опору (ІПО) судин за формулою:

$$ІПО = \frac{P_{ср. Ф.І.К.}}{Q}$$

$P_v \cdot 100$, де:

$P_{ср.}$ – середній артеріальний тиск, який визначається за формулою:

$P_{ср.} = ДТ + 1/3 \cdot ПТ$, де ДТ – діастолічний (верхній) тиск;

ПТ – пульсовий тиск - різниця між значеннями верхнього та нижнього тисків;

ФІК – фактичний індекс кровопостачання, вирахований у попередньому завданні;

P_v – середній артеріальний тиск для даного віку, який визначаємо за таблицею, зробивши висновки про стан власної кровоносної системи та вік – біологічний та календарний:

Вік, роки	Чоловіки	Жінки
3-7	70	70
7-12	74	74
12-16	76	76
16-19	78	78
20-29	80	80
34-49	85	85
50-59	90	85
60-74	95	100
75 та старше	105	110

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ПРИКЛАДНОЇ БІОМЕХАНІКИ

У широкому науковому плані біомеханіка вивчає просторові рухи біологічних макро- та мікрооб'єктів. Незважаючи на те що біомеханіка вивчає переважно механічні форми рухів, вона не може не урахувати біологічні (насамперед анатомічні та фізіологічні) особливості об'єкта, котрий рухається (людина або тварина). Загальна біомеханіка біологічних об'єктів (зокрема, людини) вивчає загальні закономірності будови їхніх рухових систем, органів та їх рухів.

Окремі напрями біомеханіки мають забезпечити конкретні галузі рухової діяльності людини - *біомеханіка трудових процесів, ергономічна біомеханіка, медична і клінічна біомеханіка, біомеханіка військової справи та космонавтики, біомеханіка рухової реабілітації та кінезіотерапії, біомеханіка фізичного виховання та спорту* тощо.

В існуючій сучасній системі наукових знань біомеханіці відводиться важливе місце. Фахівці відносять її, через прикладне, практичне значення до найбільш значущих розділів сучасної науки XXI століття.

2.1. РОЛЬ БІОМЕХАНІКИ У ПЛАНУВАННІ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

З цієї точки зору *біомеханіка* — галузь природничих наук, що на основі ідей та методів механіки вивчає фізичні якості біологічних об'єктів, закономірності їх адаптації до навколишнього середовища, поведінку навчання та механічні рухи на всіх рівнях організації і в різних станах, включаючи періоди розвитку та згасання, а також при патологіях.

Найважливіші *напрями наукових досліджень у сучасній біомеханіці* стали основою розділів прикладної біомеханіки:

- вивчення механічних якостей та структури клітин, біологічних рідин, м'яких та твердих тканин, окремих органів і систем - *біореологія*;
- вивчення руху біологічних рідин, тепло- і масопереносу, напруження та деформацій у клітинах, тканинах та органах;

- вивчення механіки руху клітини та субклітинних структур - мембрани, цитоплазми, тощо, включаючи мітотичні рухи, фагоцитоз, везикулярний транспорт;
- вивчення механіки опорно-рухового апарату (скелета, м'язів) людини та тварин для їх моделювання;
- вивчення природних локомоцій людини та тварин (плавання, політ, наземні пересування), а також маніпуляційних рухів людини, які можуть знайти застосування у виробничій, спортивній діяльності;
- вивчення фізичних основ, механізмів та виявлень у правління (регуляції) у біологічних системах;
- вивчення фізичних основ психомоторики та закономірностей формування у людини і тварин складних рухових навичок та заданих моделей рухів і рухових дій;
- вивчення рухової діяльності операторів у "людино-машинних" системах з метою раціоналізувати її, оптимізувати та підвищити ефективність;
- вивчення різних виявлень рухової активності та здібностей людини до розв'язання складних рухових завдань в екстремальних умовах (в орбітальних польотах, у відкритому космосі, у стратосфері, під водою, за умов наднизьких та надвисоких температур);
- розробка технологій і засобів (на основі фізичних методів) для дослідження якостей та явищ у живих системах для спрямованого впливу на них та їх захисту від впливу зовнішніх чинників;
- створення замінників органів і тканин (переважно для потреб медицини);
- розробка моделей ефективного розв'язання людиною складних рухових завдань у різній професійній (трудовій), військовій, космічній практиці, у мистецтві, фізичному вихованні та спорті;
- розробка методик і технологій ефективного навчання людини рухів та різних способів розв'язання складних рухових завдань;
- розробка технічних засобів (тренажерів) та іншого спорядження (у тому числі медичного обладнання та спортивного інвентаря), призначеного для відновлення тимчасово втрачених функцій (у медицині), а також для розширення й удосконалення рухових можливостей людини у різних видах її професійної (трудової), військової практики, фізичній культурі та спорті. Контроль за впливами стану природного середовища на біомеханічну активність людини – основи *спортивної екології*, розділом якої є *спортивний туризм*. Спортивна екологія досліджує впливи повітря, його негативних факторів – перевищення концентрації шкідливих речовин – пил, отруйні гази (оксиди азоту, сірки, чадний газ), фізико-механічних показників – швидкість та напрям вітру, його вологість на здоров'я людини, а отже і на спортивні результати.

Сучасне природне оточення через надмірні викиди шкідливих речовин від автотранспорту, промисловості, через перевищення інтенсивності фізичних факторів – електромагнітних, радіоактивних випромінювань може негативно впливати на фізичний стан людини. Тому часто тренування, активні фізичні навантаження поблизу великих підприємств, особливо хіміко-металургійного комплексу, автострад з великим скупченням автотранспорту у містах можуть наносити великої шкоди здоров'ю через перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин (ГДК, мг/кг;л;куб.м) у повітрі, воді, продуктах харчування та гранично допустимих рівнів (ГДР) фізичних забруднень – світлових, звукових, електромагнітних, радіоактивних випромінювань. Це проблеми перед усім *медичної екології*, тісно пов'язаною з біомеханікою, з її практичним значенням для оздоровлення, підсилення фізичної активності людини. *Завдання спортивної екології* – дослідження впливу оточуючого середовища на стан здоров'я людини, спортсмена.

Запитання для самоперевірки

1. Які напрями сучасної біомеханіки мають найбільше прикладне значення у руховій діяльності людини?
2. Які найважливіші напрями наукових досліджень у сучасній прикладній біомеханіці?
3. Що таке спортивна екологія, яке її значення та як і чим пов'язані медична екологія та спортивна екологія, які їх завдання?

4. Охарактеризувати умови тренувань які можуть нашкодити здоров'ю

2.2. Поняття про біомеханічне моделювання

Моделювання – це процес створення певного штучного об'єкта або умов, які відображують реальний об'єкт або умови, в яких він може діяти – рухатися, впливати на середовище. Біомеханічне моделювання складається з *аналізу, синтезу, проектування та прогнозування* рухів людини. Досліджувані рухи необхідно моделювати так, щоб не втратити суттєво важливу інформацію. Для цього необхідно знати і враховувати відповідні *закони механіки, правила моделювання та враховувати складність динамічних систем*. Системні якості рухів, *рухових дій* проявляються *інтегративним ефектом* – сумарний ефект дії різних частин тіла. Важливо виділяти *елемент руху* як частину руху. Сукупність таких елементів утворює *підсистему дій*. Сукупність підсистем дій утворює *надсистему дій*. Отже окрема дія – це надсистема більш низького порядку щодо складових елементів рухів. Кожна рухова дія як система має “ВХІД” і “ВИХІД”.

“Вхід” - це впливи оточуючого середовища (температура, швидкість вітру, його напрям, освітленість, гравітаційні сили), вони утворюють дискретні (перервні) або безперервні впливи середовища, які виступають у вигляді певних програм, які впливають на режим рухів.

“Вихід” – це показники, зовнішні характеристики, умови взаємодії людини з середовищем, зокрема його тілом. Рух впливає на тіло через теплові, енергетичні, інформаційні ефекти. Отже, виконання рухових дій – це керований процес речового, енергетичного та інформаційного обміну організму людини із зовнішнім середовищем, зокрема його медичним типом погоди, яких виділено чотири.

Стан системи рухової дії – це певним чином організована сукупність значних зовнішніх і внутрішніх характеристик, які об'єктивно характеризують рухові процеси. Рухові дії утворюють складні системи, для яких характерні якості: унікальність, цілеспрямованість (негентропійність), передбачуваність та інші. Кожний рух - унікальна система, яка не має повних аналогів за характером взаємодії організму із середовищем.

Система будь-якої рухової дії визначається *цілеспрямованістю*, яка пов'язана з *негентропійністю*, тобто із зменшенням ентропії, неупорядкованості, яка може збільшуватися під дією оточуючого середовища, впливаючи на *геометрію рухів* тіла. Усі перетворення, зміни рухових дій базуються на принципах фізичності (закони фізики, зокрема механіки), хімічності (закони хімії, зокрема біохімії), модельованості (закони інформатики). Важливими є причинно-наслідкові зв'язки підсистем та елементів рухових дій.

Системність рухових дій проявляється, коли принцип фізичності враховує *постулат цілісності*, який проявляється у процесі інтегрування окремих елементів і одночасно диференціювання дії на окремі рухи. Отже процеси інтегрування та диференціювання – це процеси композиції та декомпозиції. Будь-який рух – це поєднання одних процесів і одночасно роз'єднання інших процесів, припинення їх дії або об'єднання певних систем, частин тіла з іншими. Отже, це складний процес, який складається з різноманітних систем, процесів. Одна з умов моделювання є геометрична подібність за формою та фізична – подібність за певними фізичними характеристиками (часові, швидкісні, силові та інші), наприклад пропорційними (координатними) характеристиками. Геометричну подібність простіше зафіксувати і дослідити за допомогою фото-, кіно- та відеоз'йомки.

Важливе значення має принцип інваріантності рухів. *Інваріантність*, або незмінність, незалежність від фізичних умов та *багатоваріантність* – методологічні принципи пошуку найбільш унікальних, цілеспрямованих та ефективних рухів – інваріантів, незмінності рухів, які спираються на відомі закономірності гомоморфного та ізоморфного відношень.

Інваріантність проявляється у двох напрямках: 1) для визначення стійкості відносин у структурі різних видів рухів; 2) для визначення стану технічної підготовленості через зіставлення, порівняння отриманих результатів.

Інваріантність тісно пов'язана із законами збереження енергії, речовини, однорідністю простора, рівноправністю всіх напрямів простору (ізотропія простору) та законом збереження моменту кількості руху – *теорема Еммі Ньєтер*, яка стверджує, що для будь-якої фізичної системи рівняння руху є результатом *варіаційного* (лат. – мінливість) *принципа механіки*. Крім цього принципу існують *неваріаційні принципи механіки*, тобто незмінні. Вони є справедливими для будь-якої механічної системи. Це вихідні положення, які відображують загальні закономірності механічних явищ. До цих принципів відноситься 2-й закон *І. Ньютона*, згідно якому при русі точки добуток її маси на прискорення дорівнює сумі всіх сил, прикладених до цієї точки ($F=ma$).

З цього слідує методичний прийом, який встановлює однаковість зв'язків, дій для виникнення руху – принцип *гомоморфності* (гр. гомо – однаковий, гр. морфо – тіло) та *ізоморфності* (гр. ізо – рівний, однаковий) – принцип, який встановлює чіткі закономірності зв'язків між окремими рухами.

Інваріантність є основою побудови моделей у *спортивній техніці, педагогічному процесі*, зокрема у моделюванні рухів. Моделі спортивної техніки вирізняються великою складністю. Моделювання може мати уявний та матеріальний характер.

Усі види моделювання складають групи: 1) уявно ідеально-теоретичне моделювання у вигляді певних планів, задумів, які повинні втілитися у реальні рухові дії за допомогою певного матеріального (речовинного) обладнання – прилади, пристрої - тренажери; 2) матеріальне вимагає застосування певних речовинних об'єктів, необхідних для виконання певних рухів; 3) реально-практичне або речово-агрегатне моделювання.

Для перевірки гіпотез або теоретичних положень при розв'язанні рухових завдань, максимально наближених до природних використовують *натурне моделювання* – використовують фотографічне, наприклад, зображення для перевірки гіпотез або теоретичних положень максимально наближеного до природного стану об'єкта. Велике значення має *математично-уявне моделювання* за допомогою ЕОМ, комп'ютерів. Воно тісно пов'язане з новітніми методами моделювання рухів. *Аналого-цифрове* моделювання базується на *ізоморфізмі* математичних рівнянь, для рішення яких використовують ЕОМ, комп'ютерну техніку. Це так званий гібридний спосіб. *Фізичне моделювання* застосовують в умовах максимально можливої фізичної подібності тіла і його зображення, використовуючи масштабні коефіцієнти. Наприклад 1:200 вказує, що в 1 см графіка вміщується 200 см або 2 метри. Але будь-яка модель руху – це неповна копія оригіналу, який часто є неповторним, оригінальним.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке біомеханічне моделювання, які його групи, правила?
2. З яких характеристик складаються системні якості рухів?
3. Як теорема Еммі Ньєтер характеризує варіаційний принцип механіки?
4. Які принципи встановлюють чіткі закономірності зв'язків між окремими рухами?

Практична робота № 10.

Тема: Прикладна біомеханіка та її роль у плануванні фізичних навантажень, моделюванні рухів

Мета: закріпити знання про прикладну біомеханіку, її практичне значення.

Обладнання: кіно-, фото-, відеокамери, кіно-, фотоматеріали

1. Теоретична частина

1. Які напрями біомеханіки мають забезпечити конкретні галузі рухової діяльності людини?
2. Які найважливіші напрями наукових досліджень сучасної біомеханіки та їх значення у розробці різноманітного спорядження, в тому числі призначеного для відновлення тимчасово втрачених функцій?
3. Охарактеризуйте біомеханічні основи контролю за фізичним розвитком та фізичною підготовкою учнів.

4. Що таке спортивна екологія, які її завдання?
5. Що таке біомеханічне моделювання, його складові, види та значення у фізвихованні?
6. Які правила моделювання і що вони враховують?
7. Чим є окрема дія та яка її будова?
8. Чим визначається система будь-якої рухової дії?
9. Що таке постулат цілісності рухів, чим він проявляється?
7. Що таке принцип інваріантності рухів та чим і як він проявляється?

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання 1. Надати схему основних напрямів біомеханіки, які мають забезпечити рухову активність людини у різних видах діяльності.

Завдання 2. Надати узагальнену таблицю рухів у великих суглобах

Завдання 3. Охарактеризувати основні показники стану середовища, які можуть негативно впливати на біомеханічну активність людини.

Завдання 4. Визначити біомеханічні закономірності гімнастичних вправ, ходьби, бігу, плавання з врахуванням фізичних, хімічних характеристик середовища – повітряного, водного, ґрунтового.

Завдання 5. Скласти структурну схему біомеханічного моделювання рухів

Завдання 6. Скласти блок-схему моделювання рухів за групами, вказавши їх зміст

Завдання 7. З яких дій складається біомеханічне моделювання?

2.2.1. ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТСМЕНІВ

Модельні характеристики - показники, тести, які сприяють підвищенню результатів, приводить до збільшення досягнень у змаганнях. Отже, в якості модельних характеристик треба використовувати тільки інформативні, достовірні тести.

У будь-якому виді спорту існують *проміжні і кінцеві* модельні характеристики. Першу групу утворюють показники, інформативні стосовно проміжних змагальних результатів - наприклад результати, що відповідають другому розряду норм майстра спорту. Кінцеві або модельні характеристики - це показники, інформативні стосовно результатів на рівні світових рекордів. Тому основна властивість модельних характеристик - їх інформативності. Значення модельних характеристик - це ті норми, яких повинен досягти спортсмен для того, щоб показати необхідний результат у змаганнях. Визначення показників модельних характеристик відбувається двома основними способами: 1) вони прирівнюються до значень, які демонструють спортсмени різного рівня. Наприклад, для спортсменів, що пробігають 100 м за 10,2 сек., час опори перших чотирьох кроків зменшується від 220 до 210 мс; у спортсменів, що пробігають цю ж дистанцію за 12,0 сек., значення цих модельних показників складають 305-300 мс;

Модельні характеристики специфічні, і їх характеристики впливають на досягнення у певному виді спорту. Наприклад, зріст - довжина тіла може розглядатися модельною характеристикою в баскетболі, волейболі, веслуванні. Від цього показника в значній мірі залежить результат змагань. Тому, ще до зустрічі двох баскетбольних команд, у членів яких різні середні значення довжини тіла (припустимо, у першої команди $X_1=205$ од., у другої $X_2=195$ од.), можна прогнозувати перевагу першої. Цього не можна зробити при аналізі довжини тіла двох спринтерів: 185 од. і 172 од., бо історія цієї легкоатлетичної дисципліни показує, що видатних досягнень досягали спортсмени з довжиною тіла від 154 до 192 од. Отже, орієнтуватися тільки на такі показники не можна. Слід прийняти до уваги інші показники, зокрема фізіологічні, біохімічні, генетичні.

Розрізняють *консервативні і неконсервативні модельні характеристики*. Перші з них обумовлені генетичними (уродженими) факторами. Підвищувати результати можна тільки до певної межі, обмеженої індивідуальними можливостями спортсмена. Наприклад, до консервативних показників відносять довжинні розміри тіла, максимальну швидкість бігу, максимальне споживання кисню. Необхідно пам'ятати, що індивідуальну межу в них визначити практично неможливо і тому низькі прирости значень споживання кисню протягом ряду років можуть свідчити не тільки про слабкі можливості спортсмена, але і про те, що його неякісно

тренують. Консервативні показники є основними, і на їх результатах повинно насамперед будуватися добір команди. Кожний з розглянутих вище модельних показників може бути компенсованим і некомпенсованим.

Компенсовані модельні показники - це модельні характеристики, низький рівень яких компенсується високими показниками інших характеристик. Наприклад, недостатньо висока точність техніко-тактичних дій футболістів компенсується силовими якостями, вагою тіла.

Низький рівень *некомпенсованих модельних показників* непоправний. Наприклад, навіть дуже високий рівень рухових якостей не дозволить стати видатним веслярем-академістом 20-літньому юнаку, зріст якого 160 см, а вага 65—70 кг.

Більшість модельних показників відносяться до *частково компенсованих*. Наприклад, потреба у поглинанні кисню у видатних бігунів на середні дистанції варіює від 70 до 84 мол/кг-хв. Слід відзначити, що і найменше його значення в цілому є високим. Однак для даного виду спорту такий рівень поглинання кисню повинен бути компенсований більш ефективною технікою, кращими швидкісними якостями. Модельні характеристики і їхні значення необхідно розглядати як орієнтири, яких повинні досягти спортсмени на різних етапах підготовки. Для цього треба володіти різноманітними методами оцінок, зокрема - оцінка залежності: сила(F)– вага (P).

Великі значення маси тіла (m) формують великі значення сили (F), що важливо для класифікації штангістів по силовим категоріям. Важливим поняттям є відносна сила – відношення F/m , що важливо для важкоатлетів. Це результат того, що вага пропорційна кубу її лінійних розмірів, а сила – функція поперечного перерізу м'яза (S). Зв'язок між показником сили (F) та вагою (P) і спортивним результатом (U) можна охарактеризувати рівнянням: $U=a \times m^{2/3}$, де U – спортивний результат; m – власна маса тіла, a – постійна, яка характеризує рівень досягнутих результатів. Після логарифмування одержуємо: $\lg P = \lg a + 0,666 \lg m$. Ця залежність відображає результати світових рекордів у сумі важкоатлетичного триборства в окремих рухах, за результатами силових показників у борців. Відомо, що в багатьох випадках показник ступеня ваги (m) дорівнює або близький до $0,666 \approx 0,7$. Отже, ця характеристика може бути критерієм добору, а вказані залежності - кваліфікаційними.

Важко вказати вид спорту, де другорядними є швидкість, час, але серед всіх видів найчутливішими до цих показників є біг, плавання – циклічні види. У цих видах спорту важлива залежність швидкості (V) від часу (t) руху. Відомо, що при зростанні довжини дистанції (l), швидкість закономірно знижується, що піддаються обробці математичними засобами (криві рекордів). Наприклад, маємо 3 величини: дистанція (l), час (t) і швидкість (V). Але тільки за цими показниками не можна робити висновки. Необхідно врахувати ще механічні показники, біохімічні, зокрема:

1) розпад макроергічних сполук КрФ і АТФ; 2) гліколіз; 3) аеробне окиснювання жирів, вуглеводів. Виявилося, що в діапазоні робіт тривалістю від 4 до 30 хвилин залежність (l) від (t) – прямолінійна і її можна характеризувати рівнянням загального виду: $S=a+bt$, а загальна кількість енергії (E), яка витрачається при м'язовій роботі може бути виражена рівнянням: $E=a'+b't$, де a середнє споживання кисню (л/хв.). Константи a' і b' пропорційні, вказане рівняння фактично співпадає з «Кривою рекордів», тобто одночасно проявляються прямолінійні та криволінійні залежності. Слід підкреслити, що спортивні, фізичні навантаження впливають на здатність до переробки інформації, що важливо у змагальних ситуаціях.

Відомо, що час реакції людини на подразник зв'язаний із середньою кількістю інформації, що міститься в сигналі – закон Хика (1964 р.), який характеризує рівняння: $T=a+b$, де T – середній час реакції; I – кількість інформації (bit) у сигналі; a, b – константи. Це важливоу боксі, а сила, швидкість переробки інформації в зорово-моторних центрах. Швидкість переробки інформації боксерами характеризує рівняння: $y=162+242x$ для «новачків», а для майстрів інша залежність: $y=150+84x$. Користуючись вказаними та іншими залежностями можна оцінювати динаміку результатів та здійснювати прогноз спортивних результатів. Відомо, що динаміку зростання показників світових рекордів у бігу характеризують відомі криві, які можна охарактеризувати в загальному виді: $y(t)=x(t)+\omega(t)$, де: $x(t)$ – часовий дрейф відхилення; $\omega(t)$ – перешкоди у вигляді кривих залежностей. Це складно описати через надскладність системи людина-середовище.

2.2.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ОСІБ ЗА РІВНЕМ СПОРТИВНОЇ ОБДАРОВАНОСТІ

За результатами добору дітей класифікують на здатних показати в майбутньому високі досягнення у конкретному виді спорту і тих, кому краще спробувати себе в іншій спортивній діяльності. Алгоритм добору: після зарахування дітей у спортивну школу проводиться перше обстеження, у ході якого оцінюється їх підготовленість. Як відомо, у перші півтора-два року такий контроль здійснюється періодично, і щораз за його результатами діти класифікують на групи.

Для цього необхідно оцінити, наскільки правильно удалося розпізнати обдарованість дітей, склавши наступний графік. На осі абсцис відкладають значення ювенільних показників – рост, вага, об'єм грудної клітки, в окремому випадку - результати будь-якого попереднього контролю). На осі ординат - значення дефінітивних показників (в окремому випадку - результати наступного фіксування результатів змагань). Такі графіки треба складати періодично, і щораз утворювати чотири групи дітей: 1) діти, обдарованість яких була визначена правильно; 2) діти, здібності яких не розпізнали і вони помилково були віднесені до безперспективних в даному виді спорту; 3) діти, правильно віднесені до нездатних в цьому виді спорту; 4) діти, яких помилково оцінили як обдарованих. Для оцінки ефективності добору (S_i) застосовують номограми, з якими можна працювати, якщо відомі коефіцієнт інформативності тесту.

Темпи приросту спортивних досягнень залежать від природної обдарованості дітей і від того, як вони тренуються. Може статися так, що у рухально обдарованій людині результати будуть зростати повільніше через те, що вона вправляється гірше своїх однолітків. Тому на початковому етапі добору доцільно використовувати *стандартні тренувальні програми*. У цей час повинні бути однаковими для всіх дітей кількість занять, склад тренувальних вправ, фізичне навантаження, його інтенсивність і послідовність виконання вправ, методи навчання. Оцінку темпів приросту треба проводити з урахуванням обсягу та інтенсивності навантаження, виконаного кожною дитиною, дорослою людиною. Підвищити ефективність результатів тренувань можна за допомогою різноманітних тренажерів.

Тренажери - це пристрої, обладнання, які допомагають моделювати ті чи інші умови майбутньої реальної діяльності учнів. Вони дозволяють моделювати різні умови та ситуації. В основу їх конструкції закладені різноманітні механічні, електричні, логічні, інформаційні процеси. Суттєвим є те, які біомеханічні, психологічні структури рухів він може моделювати.

Тренажери класифікують: 1) за призначенням - обладнання, яке використовують з метою розвитку певних рухових можливостей; 2) засоби, які використовують для розвитку рухових якостей; 3) обладнання, яке призначене для управління процесами формування спеціальних рухових навичок; 4) спрямуванням - опанування біометрії рухів, біокінематичної чи біодинамічної структури рухів; 5) за напрямом моделювання спортивних знарядь, по відношенню до спортсмена, який навчається, у залежності від явищ та умов середовища; 6) за засобом моделювання, який заснований на використанні механічних, інформаційних факторів, логічних схем; 7) за характером інформаційного обміну з можливістю дублювання зворотного зв'язку, з використанням звукових, силових на інших каналів зв'язку. Тренажери із зворотнім зв'язком забезпечують автоматичне вимірювання показників, які характеризують стан спортсмена, та порівнюють його з програмним значенням. Тренажери із зворотнім зв'язком діляться на *тренажери без термінової інформації* та *тренажери з терміновою інформацією*.

Багатоконтурні тренажери дозволяють більш точно та цілеспрямовано дозувати тренувальні навантаження та знаходити індивідуальні оптимальні варіанти техніки та тактики рухів. Навчання з широким застосуванням ТЗН реалізує всі основні дидактичні принципи. За допомогою такого обладнання педагог може визначити рівень здібностей людини, проконтролювати якість виконання вправи, фізичне навантаження на людину. *Тренажери* - це пристрої, обладнання, які допомагають моделювати ті чи інші умови майбутньої реальної діяльності учнів. Тренажери дозволяють моделювати різні умови та ситуації. В основу їх конструкції закладені різні механічні,

електричні, логічні чи інформаційні процеси. Суттєвим є те, які біомеханічні (психологічні та ін.) структури рухів він дозволяє моделювати.

Тренажери класифікують: 1) за призначенням - обладнання, яке використовують з метою розвитку певних рухових можливостей; засоби, які використовують з метою розвитку рухових якостей; 2) за обладнанням, яке призначене для управління процесами формування спеціальних рухових навичок; за спрямованістю – сприяють опануванню біометрії рухів, біокінематичної чи біодинамічної структури рухів; 3) за способом моделювання рухів - спортивні знаряддя, які при звичають спортсмена до мінливих умов оточуючого середовища; 4) за способом моделювання рухів, який заснований на використанні механічних, інформаційних факторів, логічних схем; 5) за характером інформаційного обміну з дублюванням зворотного зв'язку та використанням звукових, силових на інших каналів зв'язку. Тренажери із зворотним зв'язком забезпечують автоматичне вимірювання показників, які характеризують спортсмена, та порівняння їх з програмним значенням. Такі тренажери ділять на тренажери без термінової інформації та тренажери з терміновою інформацією. Особливо виділяють дві їх групи: 1) кардіотренажери – еліптичні, гребні, велотренажери, степперні та бігові доріжки; 2) силові тренажери – тяга зверху, вертикальний жим від грудей; 3) жим від плеч; 4) трицепс-машина; 5) жим ногами. Всі ці тренажери класифікують за напрямом їх використання та результатом впливу на певні процеси, частини тіла: еліптичні – підсилюють роботу серця та легенів, підвищують тонус м'язів, підвищують витривалість кісток і м'язів, спалюють жирові відкладення; гребний – підвищує м'язів тонус, витривалість кісток і м'язів спини, рук, ніг, спалює жирові відкладення; степпер – укріплює серце, легені, підвищує м'язовий тонус, витривалість кісток спини, спалює жирові відкладення. За допомогою цього обладнання педагог може визначити рівень здібностей людини, проконтролювати якість виконання вправи.

2.2.3. БІОМЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Педагогіка спорту розглядає фізичні вправи як основні засоби фізичного виховання. Проте незважаючи на це, понятійний апарат і змістовність методики їх розробки та використання на сьогодні потребують детальнішого висвітлення.

Оскільки фізичні вправи, як специфічні засоби фізичного виховання, відрізняються від усіх інших педагогічних засобів і вправ, які застосовуються традиційно в загальній педагогіці, слід визнати доцільним більш детальний розгляд деяких закономірностей. Необхідно зазначити, що для педагогів, тренерів мають великий інтерес саме ті відмінні особливості фізичних вправ, які в сукупності і виявляють їх специфіку як систему засобів фізичного виховання. При цьому велике значення має розгляд фізичної вправи в єдності з тими умовами - зовнішніми і внутрішніми факторами, які насамперед визначають їх закономірності.

Як відомо одним із фундаментальних факторів навколишнього середовища є *механічний рух* речовинних систем, зокрема і тіла людини. Досить часто в спортивно-педагогічній практиці поняття "рух" і "фізична вправа" використовуються як тотожні. Зрештою це не так.

Рухова функція - одна з найважливіших функцій організму людини. Під рухом треба розуміти різноманітні зміни в організмі, його внутрішні і зовнішні взаємодії, а також зміну його стану. *Механічний рух* людини – це зміна положення її тіла або окремих його частин відносно інших, вибраних систем відліку з плином часу. Якщо при розгляді деяких рухів тіло людини і його розміри не мають суттєвого значення, то з метою спрощення задачі ними можна знехтувати і вважати їх точкою. В таких випадках при вивченні рухів тіло людини геометрично замінюють так званою *матеріальною точкою*, яка на відміну від тіла не має розмірів.

Коли ж при аналізі рухів розмірами тіла людини знехтувати неможливо, оскільки тоді зникає зміст вирішуваної задачі, тіло людини треба розглядати як систему матеріальних точок. При цьому допускається ще одне спрощення: тіло людини умовно вважається абсолютно твердим, тобто форми і розміри його окремих ділянок залишаються незмінними при рухах і тому відстані між матеріальними точками кожної ділянки або частини тіла постійні.

Для того, щоб оцінити окремі рухи, треба зіставити їх між собою, визначивши їх *біомеханічні характеристики*. Розрізняють біокінематичні та біодинамічні характеристики рухів тіла людини.

Біокінематичні характеристики визначають: системи відліку часу; просторові характеристики - координати точки, тіла, системи тіл, траєкторії точок; часові характеристики - момент часу, тривалість руху, темп і ритм рухів; просторово-часові характеристики - швидкість та прискорення точок і тіла.

Біодинамічні характеристики рухів людини включають інерційні характеристики - маса тіла, момент інерції; силові характеристики – причини виникнення сили, моменти сил, імпульс сили та імпульс моментів сил; енергетичні характеристики - робота сил, потужність, механічна енергія тіла - кінетична і потенційна.

Кожна людина наділена цілком конкретним комплексом рухових можливостей. Вони залежать від віку, статі, способу життя тощо. *Рухові можливості* — це передумови, які склалися в організмі в процесі його *філогенезу* (історично тривалий, еволюційний розвиток) і *онтогенезу* (індивідуальний розвиток під впливом умов середовища – фізичних, хімічних, біологічних, соціальних) до виконання рухів з відповідними біомеханічними характеристиками. Однак оволодіння тими чи іншими руховими можливостями відтак не гарантує людині їх безумовну реалізацію.

Рухові можливості кожної людини можна визначити також за її *руховою активністю*. Під руховою активністю розуміють біологічно детермінований рівень прояву рухових можливостей, обумовлений генотипними і фенотипними особливостями організму людини.

У процесі фізичного виховання висуваються відповідні *рухові задачі*, які обов'язково повинні бути вирішені, оскільки лише так можна досягти відповідних цілей занять. *Рухова задача* - це соціально і біологічно обумовлена необхідність у відповідних рухах з заданими біомеханічними характеристиками, які стимулюють людину до активізації мислячої і рухової діяльності, допомагає досягти відповідних цілей в процесі фізичного виховання.

Між руховою задачею і *руховими можливостями* учнів виникають відповідні діалектичні протиріччя. Рухова сила фізичного виховання як педагогічного процесу виникає при вирішенні таких протиріч. Виходячи з цього, педагогу-тренеру необхідно таким чином формулювати рухові задачі перед учнями, щоб вони могли їх реально вирішити, маючи для цього відповідні рухові можливості.

Та чи інша рухова задача звичайно вирішується шляхом соціально-організованих *рухових дій* учнів. *Рухові дії* - це виявлення рухової активності людини, свідомо цілеспрямоване на рішення певної конкретної рухової задачі. Основним засобом вирішення діалектичних протиріч між руховими можливостями учнів і поставленими перед ними руховими задачами є *фізичні вправи*.

Фізичні вправи можна охарактеризувати як *комплекс рухових дій*, спрямованих на вирішення відповідних задач *фізичного виховання*, виконаних при суворому дотриманні рекомендації біомеханічних характеристик рухів, зовнішніх умов і стану організму людини. Оскільки кожна окрема фізична вправа в процесі використання може вирішувати тільки відносно вузькі задачі, то за різних умов її можна включити до складу відповідного комплексу аналогічних вправ.

Комплекс фізичних вправ являє собою систему взаємозв'язаних вправ, об'єднаних спільністю рішень задач і досягненням цілей на відповідному етапі фізичного виховання людини. Також, як і кожна окремо взята фізична вправа, той чи інший комплекс повинен мати чітко виявлену цільову спрямованість, узгоджену з руховими можливостями і вимогами відповідного контингенту учнів і періодом навчально-тренувального процесу.

Однією з найважливіших цілей кожного етапу фізичного виховання є надбання учнями відповідних рухових умінь і навиків. *Руховий навик* являє собою автоматизований компонент рухової дії, в якому усвідомлюються тільки ті сенсорні проєкції, які забезпечують його свідому і програмну частини.

Рухові уміння формуються на основі вироблених раніше навиків і представляють собою відповідний достатньо високий рівень підготовленості учнів до ефективного рішення поставлених рухових задач. Отже очевидно, що серед таких специфічних понять, як *рухи*, *рухові можливості*

людини, її *рухова активність, рухові задачі, рухові дії, рухові навички, рухові уміння*, поняттю "*фізична вправа*" відводиться найважливіше, ключове місце.

Фізичні вправи і теоретично, і практично, ніби зв'язують усі ці фактори і поняття процесу фізичного виховання між собою. З одного боку, вони органічно включають в себе деякі з цих понять, з іншого - знаходяться з ними в складних причинно-наслідкових зв'язках, протиріччях.

Так, зокрема, "*рух*" може використовуватися як самостійне поняття, яке характеризує *стан організму* людини. "*Рух*" також входить до кожної фізичної вправи як *засіб фізичного виховання*, з допомогою якого організм людини може бути доведений до того стану, який оцінюється як *рух*.

Отже, фізична вправа представляє великий інтерес для спеціалістів, педагогів, тренерів, і перед усім, як засіб вирішення головних завдань педагогічного процесу. З цієї точки зору в сучасну *класифікації фізичних вправ* повинні бути закладені принципи, які регламентують рамки цільового призначення фізичних вправ в педагогічному процесі як специфічних засобів фізичного виховання.

З урахуванням цього положення можна виділити чотири основних *класи фізичних вправ*: 1) *оздоровчі*; 2) *тренувальні*; 3) *змагальні*; 4) *показові*. Основне призначення оздоровчих фізичних вправ - підтримка оптимального рівня стану здоров'я учнів або підготовка їх до відповідно рівня фізичного розвитку. Клас оздоровчих вправ поділяється на чотири *види*: 1) *закріплюючі*, 2) *лікувальні*; 3) *розвиваючі*; 4) *контрольно-оздоровчі*.

Закріплюючі фізичні вправи забезпечують підтримку відповідного рівня функцій організму учнів і можуть застосовуватися в різних умовах з профілактичною метою.

Лікувальні вправи орієнтовані на підтримку лікувальних дій, спрямовані на ті чи інші системи організму в цілому при різноманітних захворюваннях людини і можуть бути використані як лікувальний засіб або як засіб відновлення організму після перенесених терапевтичних, хірургічних та інших лікувальних заходів.

Розвиваючі фізичні вправи спрямовані на підвищення рівня функціональних можливостей будь-якої окремої системи або організму людини в цілому і завжди застосовується в тому випадку, якщо потрібна корекція будь-яких недоліків фізичного розвитку людини або підвищення рівня функціональних можливостей організму при підготовці учнів до трудової та професійної діяльності - служби в Збройних Силах, де необхідні обов'язкові досягнення відповідного рівня функціональних можливостей організму.

Основне призначення *тренувально-фізичних вправ* - підготовка учнів до ефективного вирішення змагальних завдань, показу найвищих (рекордних) результатів, виведення організму на визначений найвищий рівень фізичного розвитку, досягнення високого рівня рухових можливостей. Тренувально-фізичні вправи поділяють на три види: 1) *підготовчі*; 2) *контрольно-тренувальні*; 3) *зразкові*.

Підготовчі фізичні вправи використовують для успішного вирішення різних проміжних завдань – часткових, етапних завдань тренувального процесу. Вони можуть бути зорієнтовані на розвиток певних рухових можливостей, на формування в учнів відповідних рухових навичок, які дозволяють послідовно вирішувати проміжні завдання для досягнення основної мети тренувального процесу - успішної підготовки до змагань, зокрема досягненню рекордних показників в обраному виді спорту.

Контрольно-тренувальні фізичні вправи застосовують для забезпечення ефективного оперативного, поточного та підсумкового педагогічного контролів за ходом тренувального процесу і дозволяють оцінити рівень засвоєння учнями необхідних рухових навичок, розвитку рухових можливостей, визначити ступінь підготовленості до змагань, оцінити якість тренувального процесу.

Зразкові фізичні вправи в сукупності представляють собою техніку виконання кожного конкретного виду спорту. Основна мета їх використання у фізичному вихованні - досягнення високих та рекордних спортивних результатів. Самі по собі високі та рекордні результати вправ представляють не тільки теоретичну (наукову, пізнавальну) цінність для людства, але прямо чи опосередковано вказують на ту грань, за якою проходить межа адаптаційних варіацій виявлення моторних можливостей людини. За сукупними цифрами рекордів, як пра-

вило, скриті високі показники стану організму людини, яких досягає той чи інший спортсмен при застосуванні в своїй підготовці спеціальних тренувальних фізичних вправ.

З іншого боку самі змагальні вправи можна розглядати як найбільш зручні та об'єктивні наочні моделі тих екстремальних умов, у які може потрапити організм людини в звичайному але разом з тим різнобічному житті суспільства. Тому такі вправи можуть служити для людини своєрідною пробою сил, випробуванням своїх життєвих можливостей та резервів організму.

Змагальні фізичні вправи необхідно класифікувати відповідно до видів спорту, в яких вони використовуються, для вирішення рухових завдань і, як наслідок, досягнення високих і рекордних результатів. Розрізняють три основних види *змагальних фізичних вправ*:

- 1) вправи, робочий ефект яких досягається переважно за рахунок реалізації визначеної біокінематичної структури рухів - художня та спортивна гімнастика, фігурне катання, синхронне плавання тощо;
- 2) вправи, робочий ефект яких досягається переважно за рахунок реалізації певної, визначної біодинамічної структури рухів - важка атлетика, веслування, легка атлетика тощо;
- 3) вправи, в яких важливим є тільки сам по собі їх кінцевий робочий ефект, а не спосіб його досягнення – це всі спортивні види єдиноборств: фехтування, бокс, види боротьби тощо, а також всі спортивні ігри: футбол, волейбол, баскетбол, хокей тощо.

До вище вказаного можна додати, що такий розподіл вправ надто умовний, оскільки практично в усіх видах спорту зустрічаються рухові задачі, у вирішенні яких спортсмени можуть використовувати всі перераховані види фізичних вправ. Проте наявне й інше - приведені елементи класифікації змагальних вправ хоч і умовні, але надзвичайно важливі для орієнтування всієї стратегії спеціальної змагальної підготовки в різних видах спорту. Показові фізичні вправи застосовуються звичайно для демонстрації широким масам населення тих рухових можливостей, яких можна досягти в заняттях фізичною культурою і спортом. Показ таких вправ найчастіше всього носить агітаційний, виховний характер і використовується для залучення молоді та інших вікових груп населення в ряди фізкультурників і спортсменів.

Показові вправи, як правило, демонструються в комплексі з іншими виховними заходами, супроводжуються художнім оформленням, мають великий естетичний вплив на глядачів.

Фізичні вправи - як основний засіб фізичного виховання самі по собі багатомірні, багатокомпонентні, багатоструктурні. Тому ефект від використання кожної фізичної вправи теж неоднозначний. Педагог-тренер, використовуючи ту чи іншу фізичну вправу в навчально-тренувальному процесі, повинен досконало володіти інформацією про їх зміст, про можливі рамки і, можливо, про результати їх використання.

За таких умов тренер повинен не тільки сам мати достатньо повне уявлення про використання вправи, але й передати учням максимально доступні повні та достовірні відомості про неї. Враховуючи складність кожної вправи, зробити все це надзвичайно складно. Вихід один - необхідно якимось чином "стиснути" інформацію про вправу, не перекручуючи в той час її змісту, її суті. Це можливо зробити тільки за допомогою моделювання вправ, базуючись на досвіді кібернетичного системного моделювання об'єктів іншої фізичної природи, але таких же складних і багатомірних, як і фізичні вправи.

Розмірковуючи з таких позицій, можна відзначити, що фізична вправа як система має "входи" і "виходи". "Вхід" вправи формується чисельністю каналів, через які в його систему надходять дискретні або безперервні впливи навколишнього середовища, які виступають у цьому випадку як педагогічні програми, задаючи режим виконання вправ, характеристики спортивних приладів, умов тренування, змагання та інші фактори. "Вихід" системи вправ характеризується показниками, які описують зовнішні характеристики, умови взаємодії людини з середовищем, спортивні результати тощо.

Стан системи фізичної вправи можна розглядати як відповідним чином організовану - упорядковану сукупність значень внутрішніх та зовнішніх параметрів, об'єктивно характеризуючих процеси, які відбуваються в організмі людини, і його рухи при виконанні вправ. Фізичні вправи можна віднести до розряду так званих складних систем. Більшість їх відрізняються

такими властивостями, як унікальність, низька передбачуваність результату, при високій цілеспрямованості - *негентропійності* та деякі інші.

Негентропійність – це здатність системи, наприклад тіла людини, керувати ентропією свого стану, - зменшувати небажані впливи середовища - як зовнішнього, так і внутрішнього і зберігати сталість у відповідних межах в умовах постійної взаємодії середовища з тілом. Цілком очевидно, що система кожної фізичної вправи є цілеспрямованою. Враховуючи, що вправа, як активний рух, є подоланням людиною певних перешкод відносно зовнішніх і внутрішніх факторів середовища власного організму, *негентропія* може розглядатися як найважливіша характеристика систематичності фізичних вправ. Іншими словами, негентропія - це визначена міра ймовірності підтримки відповідного стану системи вправ, не зважаючи на фізичні перешкоди до її виконання (подавання сил гравітації, інерції тощо), а також біологічні реакції організму (розвиваюча втома тощо). Наприклад, підтримуючи певну геометрію рухів свого тіла, фігурист чи гімнаст досягає основної мети вправи - високої оцінки у балах.

Як унікальна система, кожна фізична вправа не має повних аналогів за характером взаємодії організму із середовищем та специфікою взаємодії.

Незважаючи на успіхи біомеханіки та інших галузей знань у кількісному визначенні характеристик фізичних вправ, у системі залишається значно важливий ступінь слабкопрогнозування і непередбачуваності взагалі, що не дозволяє з бажаним ступенем об'єктивності судити про ефект використання таких вправ у практиці. У процесі виконання фізичних вправ у системі рухів спортсменів спостерігається тенденція до збереження біодинамічної структури рухів, яка зовнішньо хоч і невидима, однак саме її стабілізація визначає негентропію - зменшення ентропії - неупорядкованості, збільшення цілеспрямованості всієї системи - організму.

Як всякі складні системи, фізичні вправи можуть бути досліджені, використані в практиці та придатні до проектування з метою їх майбутнього застосування в спорті. Всі фази перетворення вправ, які складають основу процесу фізичного виховання та спортивного тренування і повинні базуватися на принципах фізичності, моделювання та цілеспрямованості.

Системне розуміння фізичних вправ не втрачається тільки тоді, коли в принципі їх фізичності зберігається постулат цілісності. Цей постулат найбільш наглядно виявляється в процесі композиції (складання, проектування окремих елементів) та декомпозиції (розподіл на елементи, наприклад, при аналізі) системи фізичних вправ. При цих процесах допустима втрата основних понять, які характеризують сутність, задум і призначення фізичних вправ. Наприклад, може так статися, що при композиції нової вправи до її рухомого складу застосовуються такі елементи, засоби яких взаємозаперечні і не вкладаються в єдину систему, не забезпечуючи її цілісності і, як наслідок цього, не дає бажаного кінцевого ефекту.

Принцип моделювання при вивченні фізичних вправ реалізується на основі використання результатів виміру їх характеристик. Але зрозуміло, що можливості виміру характеристик не завжди співпадають з потребами всебічного вивчення вправ. Тому моделювання може бути достатньо ефективним засобом пізнання фізичних вправ.

Принцип моделювання при вивченні вправ у своєму практичному втіленні базується на *постулатах доповнення*, дії та невизначеності. Вимірювання характеристик фізичних вправ реєструюча апаратура, як правило, не може одночасно фіксувати всі властивості системи. Це стосується так званих альтернативних або неспільних характеристик, які не можуть проявлятися одночасно. Тому їх реєструють окремо, в різні періоди часу. Наприклад, багатоструктурність системи вправ, наявність одночасно біокінематичної та сенсорної структур, інформаційної та ритмічної, психологічної та біодинамічної і багатьох інших характеристик, ознак тієї самої вправи утворює складність для одночасного виміру всіх її сторін.

Фізична вправа в усіх своїх структурах на практиці реалізується одночасно, проте об'єктивне синхронне відображення кожної з них поки що недоступне для дослідження або доступне тільки порізно. Таким чином, принцип доповнюваності у цьому випадку полягає у тому, що фізична вправа як складна система у взаємодії з іншими системами може в одних і тих же умовах спостереження виявляти різні властивості, несумісні одна з іншою.

Принцип моделювання фізичних вправ базується також на *постулаті дії*, зміст якого пояснюється тим, що характеристики вправ мають *пороговий характер*, обумовлений кінцевістю фізичних (матеріальних) можливостей організму людини, взаємодіючого в цей момент з навколишнім середовищем. У цьому полягає *робочий ефект* кожної вправи і одночасно постулат дії як складної системи.

У кожній фізичній вправі, як у складній системі, закладений *принцип цілеспрямованості*. Це такий стан функцій системи, який дозволяє їй відповідним чином забезпечувати стійкість своєї структури і в той же час здійснювати вибір поведінки щодо об'єктів середовища. Тому цілеспрямованість системи не може бути забезпечена без реалізації *постулату вибору*.

Вибір поведінки системи вправ програмується за його розробкою, яка базується на попередньо вивчених особливостях поведінки різноманітних підсистем організму спортсмена у відповідь на взаємодію з фізико-механічними факторами середовища, його екологічними характеристиками. Саме завдяки цьому завжди цілеспрямовано впливають на ті чи інші елементи морфологічні структури та фізіологічні функції організму.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 11.

Тема: Біомеханічні основи побудови фізичних вправ

Мета: оволодіти основними методами побудови фізичних вправ, рухів

Обладнання: кіно-, фотоматеріали рухів.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1. Який зміст понять у спортивно-педагогічній практиці понять "рух" і "фізична вправа"?
2. Який зміст поняття "Рухова функція"?
3. Наведіть і охарактеризуйте біокінематичні характеристики
4. Чим зумовлені рухові можливості?
5. Охарактеризуйте класи та види фізичних вправ і тренажерів за їх застосуванням, типами
6. Охарактеризуйте види тренувально-фізичних та змагальних вправ
7. Який зміст і значення понять "Вхід" і "Вихід" у фізичних вправах?
8. Які постулати є основою принципу моделювання?
9. Що таке принцип цілеспрямованості, який його зміст, від чого він залежить?
10. Що впливає на кінцевий ефект фізичної вправи?

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

Завдання 1. Зобразити структуру біокінематичних та біодинамічних характеристик рухів тіла людини.

Завдання 2. Надати у вигляді таблиці або схеми рухових можливостей людини.

Завдання 3. У вигляді схеми або таблиці охарактеризувати тренувально-фізичні та змагальні вправи.

Завдання 4. У вигляді схеми або таблиці класифікувати змагальні фізичні вправи.

Завдання 5. Скласти схему класифікації тренажерів за їх дією.

2.3. КІНЕМАТИКА ХОДЬБИ ТА БІГУ. ТОПОГРАФІЯ ПРАЦЮЮЧИХ М'ЯЗІВ

Як і у всіх циклічних локомоціях, при ходьбі та бігу швидкість пересування прямо пропорційна довжині кроку й темпу: $v = Ln/60$, де v – швидкість руху (м/с); L - довжина кроку (м); n -частота кроків (за 1/хв). Щоб визначити темп ходьби або бігу, звичайно реєструють число кроків у хвилину, або частоту кроків. Але однакова швидкість може бути досягнута при різних сполученнях довжини й частоти кроків. Для того щоб зрозуміти, як людина ходить або бігає, насамперед потрібно вивчити фазовий склад цих локомоцій. Відомості про швидкість, темп, довжину кроку, довжину опори, перенесення ноги в польоті необхідні для вдосконалення тактики

ходьби й бігу, але дають найзагальніше уявлення про техніку. На рис.9. показано, що кожен напівцикл звичайної ходьби складається з п'яти фаз (римські цифри). Фази відокремлені одна від одної п'ятьма граничними позами (арабські цифри 1-5).



Рис. 8. Фази ходьби, граничні пози, елементарні дії (за Д. Д. Донським та В.Л. Уткіним)

Крокуюча людина на рис. 9 зображена у п'яти граничних позах:

- 1) - відрив стопи правої ноги від опори з підсіданням на лівій (опорній) нозі, її згинання у колінному суглобі;
- 2) - початок розгинання лівої ноги з її випрямленням та розгинанням у колінному суглобі; 3 - момент, коли права нога в процесі перенесення спочатку випереджає ліву;
- 3) - винесення правої ноги з опорою на всю стопу лівої ноги з відривом п'ятки лівої ноги від опори;
- 4) - винесення правої ноги з опорою на носок лівої ноги та постановка правої ноги на опору; V - подвійна опора, перехід опори з лівої ноги на праву. У другому напівциклі фази й граничні пози ті ж, тільки в їхніх назвах праву ногу потрібно замінити лівою, а ліву - правою. Для розуміння механізмів ходьби потрібно знати, які елементарні дії виконуються кожною ногою. За часом вони не завжди збігаються з фазами ходьби (рис. 9). У процесі опори виконуються рухи: амортизація, переكات з п'яти на всю ступню, відштовхування й переكات з усією ступнею на носок. У періоді перенесення нога спочатку згинається, а потім розгинається у колінному суглобі. З елементарних дій формуються фази. Топографія м'язів, що працюють при ходьбі показана на рис.9.

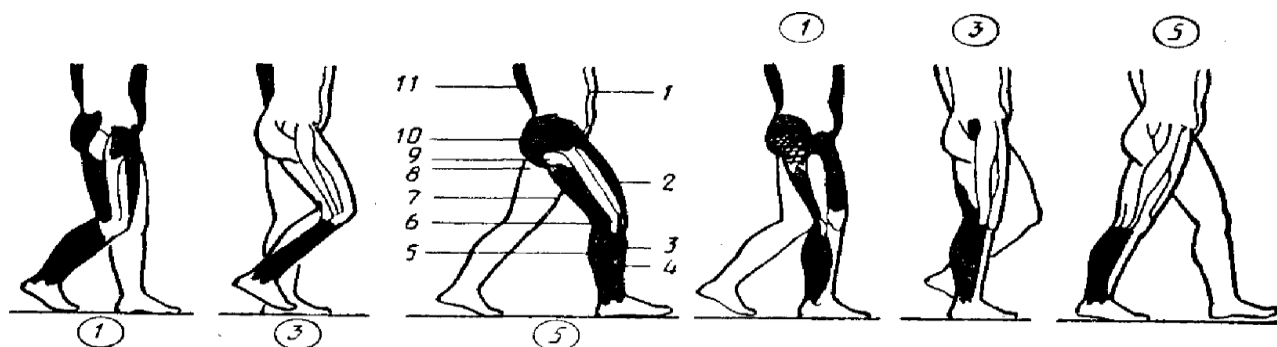


Рис. 9. М'язи тулуба й ніг, на які припадають основні навантаження при ходьбі (за В. С. Гурфінкелем)

Це найбільш активні м'язи: 1-прямий м'яз живота; 2 - чотириголовий м'яз стегна; 3 - передній великогомілковий м'яз; 4 - довгий малогомілковий м'яз; 5 - триголовий м'яз; 9 - м'яз натягач широкої фасції; 10 - середній сідничний м'яз; 11— м'яз, що випрямляє хребет. Цифри, які заштриховані позначають номери граничних поз відповідно до рис. 10.

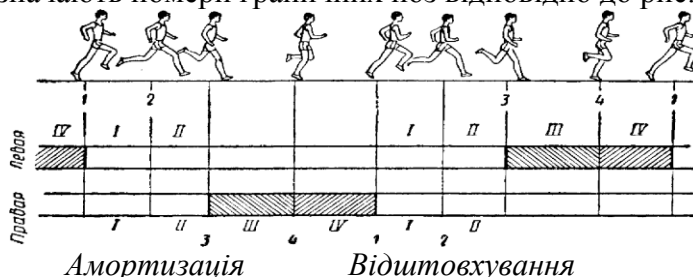


Рис. 10. Фази й граничні пози перегону (за Д. Д. Донським, В.Л.Уткіним)

Кожна половина циклу складається із чотирьох фаз, позначених римськими цифрами (I-IV), відокремлених одна від одної граничними позами (арабські цифри). У тому числі: I - відрив лівої стопи від опори; II - розведення стоп; III - початок винесення лівої ноги вперед; IV - зведення стоп з винесенням лівої ноги вперед; V - постановка правої стопи на опору; VI - амортизація, або підсідання зі згинанням правої (опорної) ноги; VII - початок розгинання правої ноги; VIII - відштовхування з випрямленням правої ноги до відриву від опори. Друга половина циклу симетрична першій. У назвах фаз і граничних поз права нога замінюється лівою й навпаки.

При бігу навантаження припадає в основному на ті ж м'язи, що й при ходьбі. Однак неоднакова міжм'язова координація тобто послідовність включення й вимикання м'язів. І крім того, ступінь напруження м'язів при бігу істотно більше. Для тренування необхідних м'язів використовують тренажер – «Бігова доріжка», яка підвищує м'язовий тонус, витривалість кісток ніг, серця та легенів. Але надмірне ударне навантаження може пошкодити суглоби.

2.3.1. ОПТИМІЗАЦІЯ ХОДЬБИ ТА БІГУ

Для *оптимізації ходьби* та бігу насамперед необхідно зменшити непродуктивні енерговитрати, збільшити економічність руху. У процесі оптимізації ходьби та бігу треба вирішити завдання: 1) обрати оптимальну швидкість, довжину кроку та його темп. Найбільш економічні величини швидкості, довжини кроку й темпу змінюються з віком. У дітей та людей похилого віку значення оптимальних показників нижчі (за винятком темпу в дітей), чим у здорових людей зрілого віку. На ці значення впливає ряд факторів: стан здоров'я, спортивна кваліфікація, ступінь тренуваності, наявність втоми, якість взуття; 2) знизити вертикальні та поперечні коливання загального центра мас. Під час ходьби та бігу корисною роботою є тільки горизонтальна зовнішня робота. Вертикальні й поперечні переміщення тіла відносяться до непродуктивних рухів. Але усунення вертикальних переміщень не можуть зробити ходьбу та біг більш економічними. Навпаки, при повній відсутності вертикальних коливань їхні енергетичні витрати зростають через те, що рухи стають скованими і втрачається та частина енергії, яка при природній техніці рухів рекуперується. При ходьбі та бігу існує оптимальна величина розмаху вертикальних коливань загального центра мас, при яких енерговитрати мінімальні.

Для усунення непродуктивних переміщень тіла доцільно використовувати повороти таза. Завдяки поворотам таза не тільки зменшуються вертикальні та бічні коливання тіла, але подовжується крок і прискорюється постановка стопи на опору. У цьому виді спорту, як і в інших, слід знайти свій ідеальний морфотип спортсмена. Так, для велосипедистів-трековиків характерні широкі таз і талія, розвинена мускулатура ніг, рук, спини і живота при слабкому розвитку підшкірної жирової клітковини.

Відомо, що для спортсменів з відносно незначними коливаннями м'язового і жирового компонентів маси тіла характерним є стабільно успішний виступ на змаганнях. Спортсменам з більш значними коливаннями маси тіла характерна менша стабільність успішних виступів. Спортсмени, у яких дуже часто відбувається різке коливання маси тіла (1,3-3,0кг і більше), характеризуються нестабільністю виступів на змаганнях і їм більше притаманна перетренованість. На результати впливають багато показників – склад крові, тип дихання та інші.

Так, спортсмени різної спеціалізації (спринтери та стайери) відрізняються морфологічною картиною периферичної крові, зокрема, процентним складом еозинофілів. У спринтерів еозинофіли складають 0,5-2,0 %, у стайерів – 2,0-7,0 %. Це тому, що функціональна активність еозинофілів пов'язана із синтезом, транспортом і інтеграцією речовин гуморальної природи.

Аналіз периферичної крові напередодні змагань у спортсменів різної спеціалізації (спринтерів і стайерів) дозволив зв'язати пік спортивної форми з кількістю лімфоцитів. У спринтерів процентний вміст лімфоцитів склав 29-32 %, у середньовиків – 33-36 %.

Важливо також звернути увагу на тип дихання і висоту стояння діафрагми в грудній порожнині. У спортсменів однакової статі та віку вона розташовується не однаково і ступінь її рухливості різна. Наприклад для велосипедистів найбільш перспективним типом дихання є змішаний з перевагою діафрагмального.

2.3.2. ЕНЕРГЕТИКА ХОДЬБИ ТА БІГУ

При ходьбі та бігу механічна енергія визначається швидкостями руху тіла і його ланок, їхнім розташуванням, тобто кінетичною й потенційною енергією. При цьому людина витрачає енергію не тільки на горизонтальні, але й на вертикальні та поперечні переміщення загального центра мас.

Залежно від фази циклу величини кінетичної та потенційної енергій тіла змінюється. Характер цих змін у ходьбі, бігу принципово різні. Кінетична й потенційна енергії в ходьбі змінюються в протифазі. Наприклад, при ходьбі у момент постановки ноги на опору максимум кінетичної енергії збігається з мінімумом потенційної, а при бігу – синфазно - у вищій точці польоту максимум кінетичної енергії збігається з максимумом потенційної енергії.

Отже, при ходьбі відбувається *рекуперація енергії*, тобто її збереження шляхом переходу кінетичної енергії в потенційну енергію гравітації й назад. При бігу цей вид рекуперації практично відсутній. При бігу значно більше виражений інший вид рекуперації, коли кінетична енергія переходить у потенційну енергію м'язів, що скорочуються, діючи подібно пружині.

Енерговитрати на 1 м шляху при ходьбі менші, ніж при бігу, але тільки при низьких швидкостях пересування. При високих швидкостях біг, навпаки, економічніше за ходьбу. Зона, яка енергетично більш вигідніша для бігу, відрізняється граничною швидкістю від зони, що більш вигідна для ходьби.

Граничну швидкість визначає число *Фруда* (Φ), яке обчислюється за формулою: $\Phi = v^2 / gL_0$, де g – середнє прискорення земного тяжіння (м/с^2); v - швидкість пересування людини (м/с); L_0 – висота загального центра мас тіла в основній стійці (м). Якщо число Фруда менше одиниці ($\Phi < 1$), то вигідніше ходьба, а при $\Phi > 1$ вигіднішим є біг.

Енергетичні витрати залежать від багатьох факторів, в тому числі від сполучення довжини й частоти кроків. При занадто коротких або надто довгих кроках, що пов'язано з недостатньою або надмірною силою відштовхування енерговитрати на 1 м шляху більші, ніж при оптимальному сполученні довжини та частоти кроків. Наприклад, відхилення довжини кроку від оптимальної величини на 6% при бігу зі швидкістю 4 м/с збільшує енергетичні витрати, які витрачаються на метр шляху, в середньому на 1 Дж.

2.4. БІОДИНАМІКА РУХВ ПРИ ПЕРЕСУВАННІ ПРИ ПЕДАЛЮВАННІ.

Велосипед – пристрій, який був винайдений ще *Леонардо-да-Вінчі*, для передачі зусиль на опору, створює особливі умови для формування зусиль велосипедиста і подання зовнішніх сил. Тиск ноги велосипедиста на педаль в системі велосипедист-велосипед – це внутрішня сила, яка спрямована проти зовнішніх сил – тертя колеса з поверхнею, поверхні тіла людини з повітрям, з гравітацією. Тиск на педаль (гр. педіс – вести, нога) створює момент сили відносно осі ведучої шестерні. Через ланцюг ця сила передається на введому шестерню заднього колеса. Під дією цієї сили воно обертається навколо своєї осі. При опорі завдяки зчепленню покриття колеса з ґрунтом сила тертя, спрямована вперед і урівноважує дію обода на покриття, спрямовану назад. В результаті колесо не прослизає і вперед рухається колесна вісь. Точка, щодо якої вона рухається, - місце опори колеса.

Джерело рушійної сили - м'язи ніг спортсмена, які передають зусилля через педаль, на шатун, провідну шестерню та ланцюг, спрямовані на задню шестерню. Нижня точка обода заднього колеса не може зміститися назад, бо вона фіксована на опорі за допомогою сили тертя, проти дії якої необхідна зовнішня сила. Тому вісь від пов'язаної з нею задньої шестерні отримує прискорення вперед. Сила тертя ковзання є статичною і не дає змоги прослизати покриттю

заднього колеса назад по ґрунту. Вона є тієї зовнішньою силою, без якої прискорення системи на горизонтальній поверхні неможливо.

Перші велосипеди були побудовані у Германії (Ганштель, 1649 р.), у Франції (ла Рошеллі, 1693 р., в Росії (Шамшуренко, 1752 р.), пізніше у Росії кріпак Артамонов побудував велосипед, на якому проїхав у 1801 році з Пермі до Петербурга.

2.4.1. БІОМЕХАНІЧНІ, БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЕЛОСПОРТУ

Велосипед (лат. *velox* – швидкий, лат. *pes* – вести, нога) – механічний пристрій для швидкого пересування, конструкцію якого у вигляді схеми запропонував Леонардо-да-Вінчі. Перші металеві конструкції з'явилися у Германії (1693 р.), у Росії (1801 р.). Це був перший двухколісний велосипед з великого діаметру переднім і малого заднім колесами та педалями, який став прототипом сучасного велосипеда. Тепер існують *велосипеди дорожні* з міцною рамою та широкими колесами, *велосипеди легкодорожні* та *спортивні* для яких характерна полегшена конструкція (вага 8-11 кг), низько розмішений руль, наявність переключення швидкості руху, ручних тормозів. Місце проведення змагань – *велодром* (гр. *dromos* – місце змагань). Широко розвинений *велоспорт* – вид спорту – гонки на місцевості – шосе, гірські рівнини, а також фігурна їзда та *велобол*. Перші офіційні змагання з велоспорту відбулися у 1869 році у Франції на дерев'яних велосипедах. Вперше першість світу на треку відбулася у Чикаго у 1893 році, а ша шосе – у Копенгагені в 1923 році. З 1896 року велоспорт увійшов у програму Олімпійських ігор. У 1990 році був заснований Міжнародний союз велосипедистів. Велоспорт найбільш активно розвинений в Італії, Франції, Англії, Нідерландах, Данії, що сприяє розвитку цього виду спорту.

У велосипедистів найбільше навантаження несуть нижні кінцівки, які виконують ритмічну динамічну роботу, у той час як м'язи спини і рук здійснюють статичні рухи і зусилля. Величина статичної напруги змінюється в залежності від характеру посадки, висоти руля, від швидкості їзди та інших факторів. У зв'язку з особливістю робочої пози велосипедиста, зв'язаної з необхідністю дещо відхиляти голову назад, м'язи ший знаходяться в постійній тонічній напрузі. Низька робоча поза менш вигідна для велосипедистів, тому що веде до великої статичної напруги м'язів тулуба. Висока посадка більш сприятлива, оскільки утворюються кращі умови для подиху за рахунок меншої напруги м'язів плечового пояса і живота, які забезпечують грудний і діафрагмальний подих.

У кожному виді спорту можна знайти свій ідеальний морфотип спортсмена. Так, для велосипедистів-трековиків характерні широкий таз і талія, розвинена мускулатура ніг, рук, спини та живота при слабкому розвитку підшкірної жирової клітковини. Відомо, що для спортсменів з відносно незначними коливаннями м'язового і жирового компонентів маси тіла характерним є стабільно успішний виступ на змаганнях. Спортсмени зі значними коливаннями маси тіла характеризуються меншою стабільністю успішних виступів.

Для спортсменів з різкими коливаннями маси тіла (1,3-3,0 кг і більше), характерна нестабільність виступів на змаганнях. Спортсмени різної спеціалізації (спринтери та стайєри) відрізняються морфологічною картиною периферичної крові, зокрема, процентним вмістом еозинофілів. У спринтерів еозинофіли складають 0,5-2,0 %, у стайєрів – 2,0-7,0 %. Аналіз периферичної крові напередодні змагань у спортсменів різної спеціалізації (спринтерів і стайєрів) дозволив зв'язати пік спортивної форми з кількістю лімфоцитів.

У спринтерів процентний вміст лімфоцитів склав 29-32 %, у стайєрів – 33-36 %. Важливо також звернути увагу на тип подиху і висоту стояння діафрагми в грудній порожнині. Для велосипедистів найбільш перспективним типом подиху є змішаний, з перевагою діафрагмального.

Багатоденна напружена діяльність викликає в організмі спортсмена глибокі біохімічні зміни. При роботі на субмаксимальній потужності енергозабезпечення здійснюється, в основному, за рахунок гліколізу, що знижує працездатність. Висока концентрація молочної кислоти і зміна рН у м'язах і крові зменшують активність ферментів, інтенсивність обмінних процесів.

Розвиток стомлення при велогонках з роботою максимальної потужності супроводжується порушенням обміну речовин, гнобленням діяльності наднирок, зниженням концентрації АТФ, креатинфосфата, аміномасляної кислоти та рухових зон кори великих півкуль. Чим швидше розвивається стомлення під впливом навантажень максимальної потужності тим більші біохімічні зрушення в ЦНС, ендокринній системі, м'язах. Для тренувань використовують різноманітні тренажери – еліптичні, степерні – тренують серце та легені та особливо – велотренажери, які підвищують тонус м'язів, витривалість кісток ніг, при безпечних навантаженнях, через відсутність ударних навантажень, травматизм мінімальний.

2.5. СОБЛИВОСТІ РУХІВ У ВОДНИХ ВИДАХ СПОРТА

Всі види водного спорту пов'язані з подоланням сили тяжіння, тертя об воду, з її фізичними характеристиками, зокрема температурою, пружністю. Водні види спорта це воднолижний спорт, водно-моторний спорт, водне поло, гребля академічна, гребля на байдарках і каное, парусний спорт, прижки у воду, плавання. При всіх гребкових рухах гребців ланки його тіла рухаються щодо інших частин тіла назад, а останні відносно гребних ланок - вперед. На початку гребкового руху спортсмен пливе по дистанції з деякою початковою швидкістю. Внаслідок гребка тулуб просувається вперед зі швидкістю більшою, ніж початкова. Гребущі ланки рухаються щодо тулуба назад швидше, ніж щодо води. Таким чином, механізм динамічної взаємодії плавця з водою заснований на змінах опору води, обумовлених в першу чергу швидкістю руху частин тіла відносно води та її фізичними властивостями – температура, щільність, швидкість.

Якщо розглянути техніку *плавання брасом*, то з вихідного положення для гребка із зігнутими і розведеними ногами плавець робить сильний удар ногами назад, випрямляючи їх в колінних суглобах (фаза I). Руки у цій фазі випрямлені вперед. Після закінчення удару ногами відбувається пасивне ковзання у воді при витягнутому положенні тіла (фаза I A). Не допускаючи значної втрати швидкості, плавець починає розводити кисті рук у сторони, поступово згинаючи руки в ліктьових суглобах і опускаючи їх вниз (фаза II). Фаза гребка руками завершується при найбільшій швидкості просування кистей назад щодо тіла.

Один за одним слідує гребкові рухи ніг (удар) і рук, викликаючи вдвічі збільшення швидкості пересування тіла вперед. У фазах I і II плавець прагне збільшити швидкість, у фазі I A, надаючи обтічну форму тіла, - менше втрачає швидкість. Із закінченням гребка руками починається виведення їх вперед зі згинанням в ліктьових суглобах (фаза III), а також згинання ніг. Це підготовка до гребкових рухів у наступному циклі плавання.

Рухи починаються повільно, щоб не втрачати значної швидкості рухів назустріч потоку. Одночасно виконуються і підготовчі рухи ніг - згинання та рух вперед. У наступній фазі (фаза IV) руки розгинаються в ліктьових суглобах і витягуються вперед, а ноги завершують підтягування вперед до повного згинання в колінних суглобах. У фазі III необхідно уникати різкого зниження швидкості, а у фазі IV - якомога менше втрачати її. Таким чином, з п'яти фаз циклу тільки дві - I і II - представляють собою послідовні гребки (ногами, а потім руками), при яких наростає швидкість. В інших фазах швидкість знижується, причому у IV і V фазах одночасно готуються наступні гребкові рухи чергового циклу. Збільшення частоти гребкових рухів, підвищення їх темпу при збереженні високої швидкості просування і невеликих їх змін сприяє покращанню результатів. Як і у всіх локомоторних вправах, у плаванні шукають оптимальні співвідношення між тривалістю циклу - темп рухів і відстанню, подоланою за один цикл - «крок циклу». Більш довгий «крок» вимагає більшого часу, знижує темп, більший темп вкорочує «крок». І те й інше може знизити швидкість. При оптимальному співвідношенні темпу і «кроку» досягається найвища можлива швидкість.

2.5.1. МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ, ЯКІ СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ У ПЛАВАННІ.

Для занять будь-яким видом спорту важливими є морфологічні особливості організму, його морфотипи, які характеризуються певними фізіологічними, анатомічними даними. Це особливо важливо у плаванні. Спортмени, які спеціалізуються у плаванні кролем на 400 м, мають, в основному, середню довжину руки з довгим плечем, середніми передплеччями та кистями, короткі ноги з довгими стегнами, короткими гомілками і середніми стопами, довгий тулуб, середньої ширини плечі, таз, фронтальний і сагітальний діаметри грудної клітки. За складом тіла: мала загальна маса, середній жировий і м'язовий компоненти, мала кісткова маса. *Тип конституції* – грудино-мускульний, тип пропорції *гипостифроїдний*.

Спортсмени, які спеціалізуються в *плаванні кролем* на стайерських дистанціях мають в основному середньої довжини руки з довгими плечами і передплеччями, короткі кисті, короткі ноги із середньою довжиною стегон, короткі гомілки і стопи, середньої довжини тулуб, вузькі плечі, малий фронтальний діаметр грудної клітки, середній сагітальний діаметр і середній таз. За складом тіла їм характерні: мала загальна маса, малий кістковий, м'язовий і загальний жировий компоненти, середній вміст підшкірного жиру. Тип конституції – грудний. Тип пропорції – *аростоїдний*.

Спортсмени, що спеціалізуються у *плаванні брасом*, мають, в основному, середньої довжини руки та середню довжину плечей і короткі кисті рук, короткі ноги із середніми розмірами стегон, гомілок і стоп, довгий тулуб, середньої ширини плечі, середній фронтальний і малий сагітальний діаметр грудної клітки. За складом тіла їм характерні: велика загальна маса тіла, середня маса загального і підшкірного жиру, м'язового і кісткового компонентів. Тип конституції – черевнево-мускульний. *Тип пропорції* – гипостифроїдний.

Плавання брасом корисний для всього тіла, підвищує рухливість у суглобах, особливо нижніх кінцівок. Виконуючи рухи слід виконати поступові дії: 1) занурившись уводу на видиху ковзати у неї, витягнувши руки і ноги, зануривши лице у воду, дивлячись вниз; 2) загребаючи обома руками під груди стопи розвернути у сторони, підтягнувши п'ятки до ягодиць (поза жабки), повільно піднімаючи голову, винирніть і зробить вдих; 3) занурити лице у низ і зробити повільний видих, загрибаючи обома ногами в сторони і назад, відчуваючи як відштовхується від води підошвами стоп і внутрішніми поверхнями стегон. У кінці гребка цієї третьої стадії витягніть руки і ноги, надавши тілу найбільш обтічну форму, ковзаючи ним у воді.

Спортсмени, що спеціалізуються у *плаванні на спині*, мають, в основному, середньої довжини руки, довгі плечі, середніх розмірів передплеччя та короткі кисті, довгі ноги із середньою довжиною стегна, довгі гомілки і стопи, короткий тулуб, середні показники розмірів тазу і грудної клітки, широкі плечі. За складом тіла їх вирізняють: велика маса тіла, загального і підшкірного жиру, середні кістковий і м'язовий компоненти. Тип конституції мускульно-грудний, тип пропорції – гігантоїдний.

Спортсмени, що спеціалізуються в *плаванні способом «дельфін»* мають в основному, середньої довжини руки і ноги з короткими кистями і стопами, середньої довжини плечі, передплеччя та гомілки, короткі стегна, тулуб і середню довжину поперечних розмірів тіла, великий сагітальний діаметр грудної клітки. Маса тіла – середня, як і показники кісткового і м'язового компонентів, загальний підшкірний жир – великої маси. Тип конституції – черевнево-мускульний. Тип пропорції – гормоноїдний.

Спортсмени, що спеціалізуються в *комплексному плаванні*, мають, в основному, довгі руки і ноги, середньої довжини плечі, довгі передплеччя, короткі кисті, довгі стегна, короткі гомілки і середньої довжини стопи. Поперечні розміри тіла – середні, невелика загальна маса, малі маси загального і підшкірного жиру та кісткового компонента, м'язова маса – середня. Тип конституції – мускульно-грудний, тип пропорції – гігантоїдний.

Показники антропометричного контролю досить інформативні у використанні для визначення таких індивідуальних і групових особливостей плавців, як фізичний розвиток, тип статури, біологічна зрілість. Відповідно до морфометричних даних найсильніших плавців світу і виявлених тенденцій їхньої мінливості розроблені перспективні модельні характеристичних показників фізичного розвитку, які наведені у табл. 8.

Оптимальні ознаки показників фізичного розвитку кваліфікованих плавців

Ознаки	Чоловіки	Жінки
Довжина тіла, см	184-190	168-178
Маса, кг	72-82	56-68
Обхват грудей, см	98-106	88-96
ЖЭЛ, куб. л	6800-7800	5200-6200
Сила кисті, кг:		
правої	52-58	34-42
лівої	48-56	32-40
Станова сила, кг	135-150	85-100

Важливим є *харчування плавців*. Воно повинне бути різноманітним, з різноманітним асортиментом продуктів тваринного і рослинного походження. Добова витрата енергії у плавців складає 65-70 ккал на 1 кг маси тіла, а при тривалому плаванні – 68-72 ккал на 1 кг маси тіла. У звичайних умовах плавцям рекомендуються наступні норми харчових речовин у розрахунку на 1 кг маси тіла: білків – 2,1-2,3 г, жирів - 2,0-2,1 г, вуглеводів 9,5-10,0 г. Особливу увагу необхідно звернути на міст вітамінів: С та групи В, а також вітаміну А, необхідного для засвоєння жирів і мінеральних речовин. Для плавців розпорядок прийому їжі повинен передбачати чотириразове харчування. Перед ранковим тренуванням необхідний невеликий сніданок, для чого можна використовувати живильні суміші.

У підготовчому періоді тренування плавців при загальнофізичній підготовці, спрямованій на збільшення м'язової маси і сили, у харчових раціонах необхідно збільшити вміст білків. На етапах тренувань, переважно спрямованих на розвиток витривалості, рекомендується збагачувати їжу вітамінами В1, У2, РР та С. Бажано також застосовувати харчові джерела заліза. При тренуваннях на витривалість норми харчових речовин у розрахунку на один кг маси тіла наступні: білків 2,0-2,1 г, жирів 2,4-2,5 г, вуглеводів 9,0-10,0 г. У тренувальних циклах, в яких переважають швидкісні вправи, у харчування плавців необхідно включати продукти, що містять фосфоромістячі сполуки (молочні продукти, м'ясо, сири).

Для удосконалення швидкісних і швидко-силових якостей плавців у харчовому раціоні повинно міститися в розрахунку на 1 кг маси тіла до 2,1-2,3 г білків, 2,0-2,1 г жирів і 8,0-9,0 г вуглеводів. При цьому вуглеводна частина раціону повинна покриватися за рахунок вівсяної та гречаної круп, картоплі, овочів і фруктів.

У періоді напруженої підготовки і при дворазових чи триразових тренуваннях у день треба застосовувати продукти підвищеної біологічної цінності - спортивний напій з білковим гідролізом, білково-глюкозний шоколад, білкове печиво "Олімп" та інші.

2.5.2. БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ СПОРТСМЕНІВ, ЯКІ СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ У ПЛАВАННІ.

Усі види змагальних дистанцій, виходячи з фізіологічної діяльності за потужністю поділяють на: субмаксимальні – короткі дистанції (50, 100, 200, 400 м) і великої потужності - стайерські дистанції (800, 1500 м). При пропливанні коротких дистанцій в організмі спортсмена спостерігаються найглибші біохімічні зміни. На дистанції 100 м енергозабезпечення роботи плавця переважно здійснюється анаеробними механізмами ресинтеза АТФ - не менш 60–80 % від загальної кількості витраченої енергії. Старт і подання перших 15–20 м цієї дистанції забезпечуються *алактатним механізмом ресинтеза АТФ*, у результаті чого витрачаються запаси креатинфосфата в м'язах. Далі підключається *гликолітичний шлях ресинтеза АТФ*, що вносить істотний внесок в енергозабезпечення роботи, але не сягаючи на 100-метровій дистанції свого максимуму. Його максимум звичайно фіксується при пропливанні 200м.

У результаті переважає гликолітичний шлях енергозабезпечення роботи м'язів при пропливанні 100 і 200 м - у крові спортсменів накопичується велика кількість молочної кислоти. У чоловіків 13-17 ммоль/л – при плаванні на 100м і 13-18,5 ммоль/л – при плаванні на 200 м. У жінок 12-17 ммоль/л -при плаванні на 100м і 12-19 ммоль/л при плаванні на 200 м. Найбільше накопичення молочної кислоти (лактату) в крові звичайно спостерігається при плаванні на 200 м, і якщо її вміст – у межах 16-20 ммоль/л, то це свідчить про повну реалізацію *анаеробних можливостей* організму. При цьому, як правило, це характерно для високих індивідуальних спортивних результатів.

Плавці вищої кваліфікації, що мали після фінішу рівень молочної кислоти більше 20 ммоль/л, звичайно займали на змаганнях призові місця. Підвищення концентрації молочної кислоти в м'язах плавця і накопичення її в крові викликає розвиток метаболічного ацидозу, що виявляється в різкому зниженні рН крові до 7,10 і нижче, у зменшенні лужних резервів крові з 2 до 36-26,7 мм рт.ст. Основну роль в енергозабезпеченні виконують аеробні (кисневі) механізми ресинтеза АТФ. Крім вуглеводів, підключаються до окиснення ліпіди. У крові збільшується кількість продуктів ліполізу – вільні жирні кислоти, кетонів тіла. Концентрація молочної кислоти в крові залишається підвищеною і складає у жінок при плаванні на 800 м - 10-16 ммоль/л, а у чоловіків при плаванні на 1500 м 9-16 ммоль/л. Це обумовлено, в основному, підключенням анаеробних джерел енергії при значному прискоренні на фініші. Кисотно-основний стан (КІС) крові звичайно змінюються незначно, рН крові може зменшуватися до 7- 6,25.

При тренувальних заняттях з плавання з дітьми необхідно враховувати біохімічні особливості зростаючого організму, що має невисокі анаеробні можливості. Це зв'язано зі зниженим вмісту у м'язах креатинфосфата і глікогену, а також із меншою активністю ряду ферментів гліколізу в порівнянні з дорослим організмом. Крім того, у дитячому організмі ще невеликі резервні можливості буферних систем крові.

У стані спокою у дітей енерговитрати значно вищі, ніж у дорослих. Це зв'язано з інтенсивно протікаючими пластичними процесами, що забезпечують ріст організму і збільшення маси тіла, що пов'язано з витратами енергії. Великі енерговитрати у дитячому організмі зв'язані також зі значними тепловтратами. Так, зниження кімнатної температури на 2°C веде до зростання теплопродукції в дитячому організмі в два рази.

В дорослому організмі такі зміни спостерігаються при зниженні середньої кімнатної температури на 14°C. Підвищена витрата енергії у дітей і підлітків забезпечується, інтенсивними окисними процесами. Однак їхня швидкість у свою чергу обмежена у дітей у зв'язку зі зниженими функціональними можливостями органів дихання та кровообігу і меншим вмістом кисневотранспортних білків - гемоглобіну і міоглобіну м'язів. Регуляторні системи організму, що забезпечують мобілізацію енергетичних джерел та інтенсивність окисних процесів при м'язовій роботі, також ще недосконалі.

Усе це вказує на те, що у дітей при систематичних заняттях плаванням повинні бути чітко регламентовані потужність навантаження, період відпочинку, раціональне харчування. Необхідно враховувати також, що розвиток конкретних рухових якостей у підлітків найбільший тоді, коли їхній розвиток сполучений з максимальним природним ростом.

2.6. Біодинаміка пересування ковзанням на лижах

Лижі – пристрій, який збільшує площу опори та полегшує переміщення по сніговій, болотяній або водній поверхні. З'явилися вони у північних племенах ще у неоліті – біля 10 тис. років тому. Існують два типи лиж – ступаючі та ковзаючі. Виділяють лижі спортивні – гоночні, прижкові, горні – слаломні, туристські – універсальні, мисливські та спеціальні. Застосовуються у лижних видах спорту – лижні гонки, прижки з трампліна, слалом, слалом-гігант, біатлон – гонки зі стрільбою з гвинтівки. Перші змагання були проведені у Норвегії в 1767 році. З 1924 року включені до програми Олімпійських ігор, з 1929 року до чемпіонатів світу. Особливість руху в тому, що лижник збільшує швидкість пересування завдяки відштовхуванню лижами і палицями від снігу в поєднанні з маховими рухами рук і ніг. До відштовхування ногою і рукою

приєднуються махи рукою і ногою, кидок тіла вперед - поворот таза вперед і ривок тулуба вгору. У поперемінному двухшаговому ході трохи пізніше відштовхування палицею закінчується відштовхування лижею і починається ковзання на іншій лижі. Вільне ковзання (фаза I) відбувається при гальмуючому впливі тертя лижі по снігу і незначному опорі повітря.

Щоб не зменшити швидкість, не можна робити рухи з прискореннями ланок, спрямованими вгору. Це викличе сили інерції, спрямовані вниз, які притиснуть лижу до снігу і збільшать тертя. Уповільнення рухів рук вгору, і перенос ноги після попереднього відштовхування лижею «на зліт», навпаки, знизить тиск на лижу, зменшить тертя і збільшить швидкість пересування. Вільне ковзання закінчується постановкою палиці на сніг. Після уповільненого завершення махового виносу руки вперед лижник, злегка зігнувши її і зафіксувавши суглоби руки і тулуба, енергією удару ставить палицю на сніг і починається друга фаза ковзання з випрямленням опорної ноги (фаза II). Посилюючи нахил тулуба на палицю, лижник прагне підвищити швидкість ковзної лижі. Стопа опорної ноги, трохи висунута вперед, зменшує втрату енергії на амортизацію і передчасний пережат. Опорна нога випрямляється, готуючись до подальшого підсідання на ній.

Підсідання починається ще при ковзанні лижі (фаза III), яка при енергійному розгинанні опорної ноги в тазостегновому суглобі швидко втрачає швидкість і зупиняється. У першій фазі (I) необхідно якомога менше втрачати швидкість, у фазі II - збільшити швидкість ковзної лижі, у фазі III - швидше зупинити лижу.

Лижа, що стоїть нерухомо на снігу, завдяки статичній силі тертя, служить опорою для відштовхування ногою і махових рухів (рукою, ногою і тулубом). Підсідання, яке розпочато у фазі III, продовжується і завершується у фазі IV та супроводжується випадом - рухом переносної ноги вперед від носка стопи опорної ноги. Із зупинкою лижі тіло лижника продовжує прискорене просування вперед пережатом у послідовності: 1) початок розгинання стегна опорної ноги в тазостегновому суглобі - «активний пережат», 2) випад переносної ноги; 3) мах вільної руки; 4) початок повороту таза вперед і 5) посилений до максимуму натиск на палицю в найбільш нахиленому її положенні.

Із закінченням підсідання починається випрямлення поштовхової ноги в колінному суглобі (фаза V), яка супроводжується завершальним випадом. Відштовхування ногою і ривок тулубом вгору забезпечують загальний напрямок відштовхування «на зліт», що знижує тертя у фазі I наступного ковзаючого кроку. Зниження швидкості випаду через гальмування розтягнутих м'язів-антагоністів кульшового суглоба компенсується, наскільки можливо, прискоренням поворотом таза вперед і енергійним завершенням відштовхування палицею до випрямлення руки і палиці в одну лінію. У фазі IV необхідно підвищити швидкість випаду, у фазі V - менше втрачати швидкість стопи у випаді.

Характерними особливостями сучасної техніки ковзання вважається прагнення зменшити тертя лижі по снігу завершеним відштовхуванням лижею «на зліт» і опорою на палицю, а також високий темп кроків. У добре підготовлених лижників темп кроків досягає 110-120 на хвилину. З підвищенням швидкості ходу змінюється ритм ковзаючого кроку, скорочується час відштовхування лижею, підсідання та випрямлення поштовхової ноги виконуються швидше.

2.7. Програмно-цільовий метод організації процесу навчання рухам

Програмно-цільовий підхід в організації процесу навчання рухам дозволяє здійснити оптимальне керування спортивним тренуванням з метою його інтенсифікації та економізації ресурсів – біохімічних, нервово-психічних, біологічних, фізичних. Теорія структурності вміщує такі основні принципи: 1) принцип цілісності дії; 2) принцип свідомості і цілеспрямованості систем рухів. Ці принципи обумовлюють форми організації процесу навчання рухам та технічної підготовки спортсменів, як об'єктів біомеханічного управління. Дидактичні особливості використання цього методу управління передбачають здійснення одинадцяти етапів його реалізації: 1) дослідження антропоморфологічних та біомеханічних характеристик рухового апарату учнів; 2) вимірювання характеристик біомеханічної структури зразків складних

спортивних рухів, вибраних як об'єкта вивчення в спортивному тренуванні; 3) узгодження біомеханічних характеристик руху, який вивчається з параметрами рухових можливостей учнів; 4) моделювання руху, який вивчається; 5) установка (в кількісній формі) інтегральної цілі процесу навчання; 6) декомпозиція генеральної цілі процесу, побудова дерева цілей; 7) формулювання рухової задачі навчання; 8) розробка та запис алгоритмів рішення рухової задачі в процесі навчання; 9) побудова цільових педагогічних програм навчання; 10) знайомство учнів з рухом, що вивчається, змістом пронесу навчання» його станами, з технічними засобами навчання; 11) тренування учнів по цільовій педагогічній програмі з поступовим засвоєнням в усіх її рівнях та етапах.

Перевага цільових програм навчання рухам виходить з того, що вони призначені для вирішення головних цілей педагогічного процесу на певному етапі розвитку – фізичному, психічному. Досягнення учнем певних цілей навчання рухам може бути реальним при умові найбільш точного виконання відповідних програм, які закономірно ведуть його до поставлених цілей педагогічного процесу.

Основним предметом навчання в спорті є техніка фізичних вправ. Те, що вміє робити спортсмен і як він володіє засвоєними діями прийнято називати *технічною майстерністю*. В технічній підготовці спортсменів виділяють такі її характеристики, як об'єм та різнобічність, раціональність, ефективність та освоєність виконання. Якість технічної підготовленості визначається числом технічних дій, які вміє виконувати спортсмен. Відрізняють спеціальний та загальний об'єм технічної підготовленості.

Різнобічність характеризується ступенем різноманітності рухових дій, якими володів спортсмен чи які застосовують на змаганнях. Тут також виділяють загальну та змагальну різнобічність.

Раціональність технічних дій визначається можливістю досягти на їх основі витих спортивних результатів. *Раціональність техніки* - це характеристики не спортсмена, а самого засобу виконання руху. Важливий показник ефективності оволодіння спортивного технікою або *ефективність техніки* того чи іншого спортсмена. Це ступінь наближення її до найбільш раціонального варіанту.

Особливість техніки - це ступінь оволодіння спортсменом технічних дій. Для добре засвоєних рухів характерні ознаки:

- 1) стабільність спортивного результату та ряду характеристик руху при виконанні його в стандартних умовах;
- 2) стійкість результату при виконанні руху в умовах, які змінюються;
- 3) збереження рухового вміння при перервах в тренуванні;
- 4) автоматизованість виконання.

Цього досягають за допомогою тестів, тренажерів, які мають велике значення в оздоровленні, підготовки до змагань. Технічні засоби навчання (ТЗН) об'єднують різнорідну групу інструментів, пристроїв та обладнань, якими користуються педагоги-тренери, учні та спортсмени. В залежності від місця в педагогічному процесі та задач, які вирішуються, технічні засоби поділяються на тренажери, автоматизовані системи управління та засоби технічного забезпечення - *технічні засоби*, зокрема тренажери. Це технічні засоби, які дозволяють у штучно створених умовах імітувати тренувальну та змагальну діяльність.

Важливими є засоби передачі інформації про спортивні рухи, які призначені для передачі довідкової інформації про техніку спортивних рухів. Вони допомагають правильно поставити пізнавальну задачу, дозволяють виявити біомеханічні параметри кожного руху, оптимізувати обмін інформації між тренером та спортсменом, що забезпечує можливість управління формуванням спеціальних рухових умінь, навичок, удосконаленням техніки спортивних рухів.

Фізичне виховання людини - один з існуючих різновидів або форм процесу пізнання. Він характеризується спільною діяльністю тренера та спортсмена. Навчання руховим діям ґрунтується на дидактичних принципах: принцип науковості та принцип наочності, принцип доступності, принцип індивідуальності та принцип міцності.

Метод вправ використовує багаторазове, усвідомлене повторення в процесі тренування спеціальних фізичних вправ з біомеханічною структурою, що постійно ускладнюється» з метою максимального наближення її характеристик до характеристики руху - зразку або еталона.

Процес фізичного виховання характеризується змістовною та процесуальною або організаційною сторонами діяльності. Змістова складова містить в собі: ціль, функції, напрямки, принципи, методи та стан тих, хто навчається. Процесуальна сторона містить в собі: організацію, керівництво, види діяльності, засоби, форми роботи, ефективність. Вся інформація в педагогічному процесі класифікується по характеру та джерелом надходження. Інформація ділиться на дві групи: систематизовану та несистематизовану. Якісні характеристики інформації містять в собі такі показники як: достовірність, оперативність, економічність. Оцінюючи потоки інформації в інформаційній системі спортивного тренування необхідно аналізувати її кількість, зміст та цінність. Цінність інформації розглядається як приріст відповідності досягнення цілі управління, який відбувся в результаті одержання інформації.

Основу побудови більшості рухових дій складають механізми системних локомоцій. *Локомоції* - це активні рухи людини в просторі, які виконуються шляхом керованої силової взаємодії її рухової системи та зовнішнім середовищем. Вирізняють види спортивних локомоцій: основні та допоміжні, циклічні та ациклічні. Типи локомоцій класифікують: за способом відштовхування від твердої опори чи рідинного середовища та за способом притягування до опори чи середовища, по комбінованому способу. Через це вирізняють види рухових дій: локомоції, рухи навкруги вісів, рухи на місці, перемішуючі рухи та ударні дії.

Рухи на місці - це статичні дії, які зв'язані зі збереженням певного положення тіла. Положення тіла визначається позою, взаємним відносним розташуванням ланок тіла, незалежно від орієнтації та місцезнаходження його в просторі. Важливими є види рівноваги: стійка, нестійка, обмежено-стійка, байдужа та складні поведінкові програми рухів людини, які здійснюються при побудові рухів головним чином завдяки інтегративної діяльності нервової системи, яка об'єднує організм в єдине ціле.

Не менш важливим є процес сприйняття гравітаційних взаємодій, який здійснюється сенсорною системою на її головних рівнях: 1) рецепторний, 2) провідниковий – нерв, який проводить інформацію в певні структури мозку. Рухова поведінка людини - це складний багаторівневий поведінковий комплекс дій, який базується на підсистемах рефлекторних дуг, на комплексах фіксованих дій, довільних рухових діях, які складають основу сенсорного сприйняття і які виконуються свідомо та цілеспрямовано. Кожний *поведінковий акт* складається з етапів.

Перший етап - перетворення гравітаційного стимулу в рецепторному апараті і здійснюється на рівні молекулярних механізмів. Другий етап – складається з перетворення змін в молекулярній структурі мембранного потенціалу рецепторної клітини. Третій етап – в аферентних нервових волокнах відбувається перекодування відповіді рецептора в імпульсивний розряд, який передає інформацію про гравітаційне поле іншим відділам нервової системи і формується м'язове відчуття – кінестезійне.

Знання механізмів та закономірностей формування рухів людини визначає ступінь ефективності та цілеспрямованості навчання. Логіка методів навчання рухам повинна відповідати логіці їх біомеханічної структури, яка базується на принципах: 1) принцип цілісності дії; 2) принцип свідомості і цілеспрямованості систем рухів. Ці принципи обумовлюють форми організації процесу навчання рухам і технічної підготовки спортсменів, як суб'єктів біомеханічного управління. Важливим є програмно-цільовий підхід в організації процесу навчання рухам, який дозволяє здійснити оптимальне керування спортивним тренуванням з метою його інтенсифікації та економізації ресурсів.

Дидактичні особливості використання цього підходу до управління процесом навчання рухам передбачають здійснення етапів його реалізації: 1) дослідження антропоморфологічних та біомеханічних характеристик рухового апарату учнів; 2) вимірювання характеристик біомеханічної структури зразків складних спортивних рухів, обраних об'єктами вивчення в спортивному тренуванні; 3) узгодження біомеханічних характеристик руху, які порівнюються з параметрами рухових можливостей учнів; 4) моделювання руху, який засвоюється; 5) виділення у

кількісній формі інтегральної цілі процесу навчання; 6) декомпозиція генеральної цілі процесу та побудова дерева цілей; 7) формулювання рухової задачі навчання; 8) розробка та запис алгоритмів рішення рухової задачі в процесі навчання; 9) побудова цільових педагогічних програм навчання; 10) знайомство учнів з рухом, який вивчається, зі змістом процесу навчання та його станами, з технічними засобами навчання; 11) тренування учнів за цільовою педагогічною програмою згідно поступовим засвоєнням усіх її рівней та етапів. Перевага цільових програм навчання рухам виходить з того, що вони призначені для вирішення головних цілей педагогічного процесу на тому чи іншому етапі. Досягнення учнем певних цілей навчання рухам може бути реальним при умові найбільш точного виконання відповідних програм, які закономірно ведуть його до поставлених цілей педагогічного процесу.

Основним предметом навчання в спорті є *техніка фізичних вправ* – тобто те, що повинен вміти робити спортсмен і як він володіє засвоєними діями. В технічній підготовці спортсменів виділяють такі її характеристики, як об'єм та різнобічність, раціональність, ефективність та освоєність виконання. Якість технічної підготовленості визначається числом технічних дій, які вміє виконувати спортсмен. Відрізняють спеціальний та загальний об'єм технічної підготовленості. Її різнобічність характеризується ступенем різноманітності рухових дій, якими володів спортсмен та які застосовуються на змаганнях. Також виділяють загальну та змагальну різнобічності.

Великої уваги слід приділити *раціональності технічних дій*, яка визначається можливістю досягнення на їх основі великих спортивних результатів, які залежать від *раціональності техніки*. Це характеристики не спортсмена, а самого засобу виконання руху, пов'язаного з ефективністю оволодіння *спортивною технікою* або *ефективністю техніки* того чи іншого спортсмена. Це ступінь наближення її до найбільш раціонального варіанту, ступінь оволодіння спортсменом технічними діями. Для добре засвоєних рухів характерними є: 1) стабільність спортивного результату та ряду характеристик руху при виконанні його в стандартних умовах; 2) стійкість опанованого результату при виконанні руху в умовах, які змінюються; 3) збереження рухового вміння при перервах в тренуванні; 4) автоматичність виконання. Цього домагаються за допомогою тестів, тренажерів, які мають велике значення в оздоровленні, підготовці до змагань.

Технічні засоби навчання (ТЗН) об'єднують різнорідну групу інструментів, пристроїв та обладнань, якими користуються педагоги-тренери, учні та спортсмени. В залежності від місця в педагогічному процесі та задач, які вирішуються, технічні засоби поділяють на тренажери, автоматизовані системи управління та засоби технічного забезпечення.

Важливими є технічні засоби передачі інформації про спортивні рухи. Вони призначені для передачі довідкової інформації про техніку спортивних рухів і допомагають правильно поставити пізнавальну задачу, дозволяють виявити біомеханічні параметри кожного руху, оптимізувати обмін інформації між тренером та спортсменом, що забезпечує можливість управління формуванням спеціальних рухових умінь, навичок, удосконалення техніки спортивних рухів. Технічні засоби, зокрема тренажери, дозволяють у штучно створених умовах імітувати тренувальну та змагальну діяльність, називаються тренажерами.

Навчання руховим діям ґрунтується на дидактичних принципах: 1) принцип науковості; 2) принцип наочності та активності; 3) принцип доступності; 4) принцип індивідуальності та принцип тривалості засвоєного. Метод вправ розглядає багаторазове, усвідомлене повторення в процесі тренування спеціальних фізичних вправ з біомеханічною структурою, яка постійно ускладнюється з метою максимального її наближення до характеристик зразку - еталону. Процес фізичного виховання характеризується змістовною та процесуальною (організаційною) сторонами діяльності. Змістова сторона містить в собі: мету, функції, напрямки, принципи та методи і стан тих, хто навчається. Процесуальна сторона містить в собі: організацію, керівництво, види діяльності, засоби, форми роботи, ефективність.

2.8. БІОМЕХАНІЧНА СТРУКТУРА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ ТА ЕНЕРГОВИТРАТИ СПОРТСМЕНІВ, ЇХ ХАРЧУВАННЯ.

Біомеханічна структура системи кожної фізичної вправи є своєрідним стрижнем, на якому базується і розвивається решта його структурних елементів. Тому їх виявлення, а в інших випадках і прогнозування дій, відтворення, синтез, програмування рухів набувають великого практичного значення в процесі фізичного виховання. *Структура* - це не тільки побудова і форма організації тієї чи іншої системи. Це, перш за все, закономірність взаємозв'язків між елементами, які забезпечують їх інтеграцію в єдине ціле - *систему*.

Отже, біомеханічна структура фізичних вправ - це, в першу чергу, її елементи, які формують біомеханічні особливості та характеристики. Основним елементом кожної фізичної вправи є елементарний вільний суглобний рух, або ж елементарний рух всього тіла людини, виконаний у відповідний момент відносно зовнішніх систем відліку під дією системи сил.

Досягнення високих спортивних результатів неможливо без дуже великих фізичних і нервово-психічних навантажень, яким піддаються спортсмени під час тренувань і змагань. Для компенсації енерговитрат і активації анаболічних процесів і процесів відновлення працездатності спортсменів треба безперервно постачати організму адекватної кількості енергії і незамінних факторів харчування – жирів, білків, вуглеводів, вітамінів, ферментів, макро- та мікроелементів.

Рекомендації з харчування спортсменів повинні ґрунтуватися як на експериментальних дослідженнях впливу фізичних навантажень на деякі показники стану регулюючих систем і обміну речовин в організмі тварин, так і на відомі особливості біохімічних і фізіологічних процесів при фізичних навантаженнях у самих спортсменів.

Величини знерговитрат спортсменів є вкрай різноманітними і залежать, в основному, не тільки від виду спорту, але і від кількості виконаної роботи. Енерговитрати можуть коливатися в дуже великих межах для певного виду спорту, в залежності від власної ваги спортсмена, його енерговитрат та відновлення втрат. Тому енерговитрати доцільно розраховувати в кожному окремому випадку. Це завдання і тренера, і його підлеглого.

Основні *групи спорту* можна розділити на 5 груп, в залежності від витрат енергії:

- I група – види спорту, не зв'язані зі значними фізичними навантаженнями;
 - II група – види спорту зв'язані з короточасними значними фізичними навантаженнями;
 - III група – види спорту, для яких характерні великі обсяги і інтенсивності фізичного навантаження;
 - IV група – види спорту, зв'язані з тривалими навантаженнями;
 - V група – види спорту, не зв'язані зі значними фізичними навантаженнями, але в умовах надзвичайно напруженого режиму під час тренувань і змагань вимагають великих витрат енергії.
- Існують середні величини енерговитрат спортсменів (ккал у добу), наприклад у футболі: для чоловіків (вага до 70 кг) - 4500-5500, для жінок (вага до 60кг): 4000-5000. Це пов'язано з процесами обміну речовин та енергії. Це комплекс біохімічних та пов'язаних з ними енергетичних процесів, які складають основу життєдіяльності людини, всіх істот.

Особливе значення мають показники *основного обміну речовин (ООР)*, які характеризують добові енерговитрати організму і складаються: з основного обміну, який залежить від віку, статі, зросту, маси тіла, фізіологічної конституції (астенік, нормо-, гіперстенік); витрат енергії на травлення їжі (специфічно-динамічна дія їжі), яка складає приблизно 10 % від величини основного обміну; витрат енергії на фізичні та емоційні навантаження протягом доби, тобто на трудову діяльність та відпочинок, згідно розпорядку дня індивіда чи колективу; енерговитрати залежать також від клімато-погодних умов місцевості, мікроклімату робочого місця, характеру і якості одягу, навичок та умінь в трудовому процесі.

Найбільш точними, проте громіздкими методами визначення енерговитрат є методи: 1) *прямої калориметрії* (по виділенню тепла з організму в спеціальній калориметричній камері); 2) *метод непрямой калориметрії* - по газообміну (кількості спожитого за одиницю часу кисню та виділеної вуглекислоти), який визначають у спокої та при виконанні тієї чи іншої роботи. Видихуване повітря для аналізу вмісту O_2 і CO_2 накопичують у спеціальних заплічних мішках Дугласа; 3) метод пульсометрії, при якому за допомогою спеціального приладу - пульсотаксиметрі вимірюють частоту і наповнення пульсу при виконанні різних видів робіт та інших навантажень, результати яких у приладі автоматично переводяться у кілоджоулі (кДж); 4) метод аліментарної

енергометрії - лабораторне визначення калорійності добового раціону з урахуванням незасвоєної частини їжі. До основного обміну додають енерговитрати на специфічно-динамічну дію їжі, яка складає 10 % величини основного обміну і енерговитрати на всі види навантаження, яке виконує людина на протязі активної частини доби (фізична і розумова праця, відпочинок, прийом їжі тощо). Ці енерговитрати розраховують за допомогою спеціальних таблиць, в яких викладена енергія (в калоріях) на різноманітні види навантаження за 1 годину, на підставі добового хронометражу - кількості годин або хвилин, витрачених людиною упродовж доби на кожний вид навантаження.

Загалом енергія їжі, яка поступає в організм забезпечує його енергією для пластичного обміну, енергією для спеціальної роботи, енергією речовин, які відкладаються у запас та енергією при втраті тепла. Отже треба говорити не тільки про обмін речовин, але й про обмін енергії, а отже про *балансовий (сумарний) обмін*, який підпорядкований закону збереження маси речовини (закон Ломоносова М.В.). Пізніше, у 18-19 століттях Лавуазьє, Майєр, Лібіх, Сеченов довели закон збереження не тільки маси речовини, але й енергії, тобто закон збереження речовини та енергії при різноманітних перетвореннях однієї речовини в іншу.

За допомогою розрахункових методів можна обчислити основний обмін, використовуючи дані спеціальних таблиць *Гарріса* та *Бенедикта*, враховуючи дані про стать та масу тіла. Необхідні вихідні дані вимірюють у стані спокою на тещерце. Показники основного обміну речовин залежать від віку, ваги тіла, статі і визначають їх через 12-16 годин після прийому їжі. Інформація, необхідна для обчислень, наведена у таблиці Гарріса-Бенедикта, за якими можна встановити ці залежності:

Вік, роки	Ккал на 1 кв. м поверхні тіла за годину	
	Чоловіки	Жінки
14-16	46,0	43,0
16-18	43,0	40,0
18-20	41,0	38,0
20-30	39,5	37,0
30-40	39,5	36,5
40-50	38,5	36,0
50-60	37,5	35,0
60-70	36,0	34,0
70-80	35,5	33,0

Розрахувати інтенсивність *основного обміну* (ОО) *речовин* (ООР) для жінок (ООЖ) і чоловіків (ООЧ) можна також за формулою *Дрейєра*, для чого треба знати вагу тіла (Р) у кг і вік у роках

$$(A): \text{ООЖ} = \frac{\sqrt{P}}{0,1015A + 0,1333} \text{ (ккал)} - \text{для жінок}; \text{ООЧ} = \frac{\sqrt{P}}{0,1125A + 0,1333} \text{ (ккал)} - \text{для чоловіків};$$

де Р – вага тіла в кг, А – вік у роках. Показники ООР залежать від погодно-кліматичних умов, температури оточуючого середовища, часу доби. У жінок основний обмін речовин менший ніж у чоловіків на 10-15 %, що сприяє більш економному розходуванню енергії. Добовий основний обмін у людини вагою 70 кг становить у середньому 1680 ккал, при невеликій фізичній праці – 2200-2800 ккал, при важкій фізичній праці – 3600-4500 ккал.

Спеціалісти Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) розробили нову методику визначення енерговитрат. За нею основний обмін (ОО) та специфічно-динамічну дію їжі розраховують за спеціальними рівняннями з урахуванням віку, статі, росту, маси тіла (таблиця 2.1), а енерговитрати - множенням ОО на *коефіцієнт фізичної активності* (КФА), значення яких, для різних видів діяльності, наведені у таблиці:

Вид діяльності	Показники КФА	
	у чоловіків	у жінок
Волейбол	3,8	3,6

Гандбол	7,0	7,1
Біг з максимальною швидкістю	11,0	11,0
Веслування з максимальною інтенсивністю	10,5	10,2
Одноборства	5,1	4,9
Атлетизм	8,0	7,6
Баскетбол	5,6	5,5
Футбол	6,8	6,6
Робота за комп'ютером	1,7	1,6

Завжди можуть виявлятися відхилення основного обміну, яке можна обчислити за допомогою формули *Рида*: $PB = 0,75 (ЧП + ПТ \cdot 0,74) - 72$, де: *ПВ* – шуканий процент відхилення; *ЧП* – частота пульсу; *ПТ* – пульсовий тиск, який дорівнює різниці величин артеріального систолічного та діастолічного тиску. Ця формула базується на існуванні взаємозв'язку між артеріальним тиском, частотою пульсу і теплопродукцією організму. Вона дає можливість розрахувати процент відхилення величини основного обміну від норм (не більше 10%), наведених у таблиці Гарріса-Бенедикта. У обстежуваного визначають частоту серцевих скорочень за допомогою секундоміра і артеріальний тиск три рази. Для підтримки нормальної діяльності людини необхідно надходження в організм харчових речовин не тільки у відповідних кількостях, але й в оптимальних для засвоєння співвідношеннях. При цьому необхідно пам'ятати, що шкідлива не тільки недостатність окремих незамінних факторів харчування (наприклад амінокислот), але і небезпечним є і їх надлишок, включаючи амінокислоти, вітаміни та інші харчові речовини.

Харчування спортсменів повинно здійснюватися за визначеним режимом. Розподіл раціону протягом дня залежить від того на який час доби припадає основне спортивне навантаження. Якщо тренування чи змагання проводиться в денний час - між сніданком і обідом, то сніданок спортсмена повинен мати переважно вуглеводну складову і бути досить калорійним (25 % загальної калорійності добового раціону), невеликим за масою і легко засвоюваним. Не варто включати до його складу продукти з високим вмістом жирів і великою кількістю клітковини.

Фізіологічне значення обіду повинно полягати у поповненні різноманітних витрат організму під час тренувальних занять. Калорійність обіду повинна складати приблизно 35% добової калорійності їжі. Калорійність вечері – 25%. Асортимент продуктів повинен відповідати відновленню тканинних білків і поповненню в організмі вуглеводних запасів. У вечерю доцільно включати сир і вироби з нього, рибні блюда, каші. Не слід уживати продукти білкового походження, які довго затримуються у шлунку. Після вечері - перед сном рекомендується склянка кефіру, кисломолочного продукту, що є додатковим джерелом білків, які сприяють прискоренню процесів відновлення. Це поліпшує травлення, бо мікроорганізми шлунка, кишкового сприяють розвитку хвороботворних і гнилоствних мікробів.

Прийом їжі необхідно пристосувати до режиму тренувань так, щоб від моменту основного прийому їжі до тренування проходило не менш 1,5–2 години. Це вимога в основному відноситься до видів спорту, зв'язаними з великими тривалими навантаженнями - лижі, марафон. Для швидко-силових видів спорту цей час повинен бути не меншим 3 годин. Режим харчування спортсменів для зменшення ваги повинен забезпечувати втрату ваги (1-3кг) за 1-2 доби. Це, насамперед, може бути досягнуто обмеженням калорійності раціону і зменшенням вмісту в ньому вуглеводів, солей, води при збереженні відносно великої кількості білка.

Для забезпечення спортсменів оптимальним харчуванням вкрай необхідним є розробка спеціалізованих продуктів, блюд і раціонів, які найбільшою мірою відповідають особливостям потреб організму спортсмена в харчових речовинах і енергії. Всі продукти харчування ділять на 6 основних груп, які корисні при складанні меню і виборі продуктів і блюд відповідно до потреб спортсменів: молочні, сирні, кисломолочні продукти (сир, кефір, йогурт, м'ясо птахів, риби, яйця і продукти виготовлені з них, борошно, хлібобулочні вироби, крупи, цукор, макарони, кондитерські вироби, картопля, жири, овочі, фрукти та ягоди), які є головними джерелами повноцінних тваринних білків. Вони містять оптимальний набір амінокислот і служать для побудови і відновлення основних структур тіла. Овочі та фрукти є найважливішими постачальниками

вітамінів А, Р, групи В, мінеральних солей, ряду мікроелементів. Дуже важливою властивістю овочів є їхня здатність значно збільшувати секрецію травних соків і підсилювати їхню ферментну активність. М'ясні і рибні блюда краще засвоюються організмом якщо їх уживати з овочами.

Відомо, що раціональне харчування може бути досягнуто тільки при достатній розмаїтості продуктів і правильному їхньому сполученні. Перераховані продукти доповнюють один одного, забезпечують організм необхідними матеріалами для побудови і відновлення структур людського тіла, постачають його потрібною кількістю енергії, а також речовинами, що беруть участь у регуляції фізіологічних процесів - вітамінами і мікроелементами.

Раціон спортсмена повинен включати продукти всіх вказаних груп, особливо молочні і м'ясні, котрі є носіями повноцінного білка. Рекомендується включати у харчування в достатній кількості овочі і фрукти, що легко засвоюються, а також постачають організм вуглеводами, мінеральними речовинами і деякими вітамінами, поліненасичені жирні кислот

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 12.

Тема: Кінематика ходьби та бігу, біодинаміка пересування на велосипеді та при плаванні Біомеханічна структура фізичних вправ та енерговитрати спортсменів.

Мета: Опанувати методами аналізу кінематики ходьби та бігу, топографією, працюючих м'язів.

Обладнання: графічні матеріали ходьби та бігу, топографія працюючих м'язів, плавальний басейн, термометр.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1. Що характерно для ходьби та бігу, які їх фази та пози?
2. Які м'язи тулуба, ніг працюють при ходьбі, плаванні?
3. Що таке число Фруда, який його зміст, як його обрахувати?
4. Які сили викликають обертальний рух велосипеда та що є джерелом рушійної сили спортсмена
5. Які особливості робочої пози велосипедиста?
6. Як впливає морфотип спортсмена на його спортивні результати?
7. Які біохімічні зміни впливають на організм спортсмена?
8. Охарактеризувати гребкові рухи гребців.
9. Які особливості техніки плавання брасом, кролем, плавання на спині, способом «дельфін»
10. Які морфологічні особливості організму, його морфотипи, важливі у плаванні
11. Що таке основний обмін речовин, як його визначити для жінок (ООЖ) і чоловіків (ООЧ)?
12. Охарактеризувати таблицю Гарріса-Бенедикта та що можна визначити за формулою Риди?
13. Скільки груп спорту виділяють в залежності від витрат енергії?
14. Від яких показників залежить основний обмін речовин та які біохімічні особливості організмів спортсменів, що спеціалізуються у плаванні?

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

Завдання 1. Замалювати, проаналізувати послідовність крокуючої людини

Завдання 2. Зобразити м'язи тулуба й ніг які працюють при ходьбі

Завдання 3. Вирахувати висоту загального центра мас власного тіла та число Фруда, якщо швидкість 3 м/с.

Завдання 4. Охарактеризувати біохімічні зміни, що впливають на результативність рухів велосипедиста.

Завдання 5. Скласти таблицю особливостей технік плавання

Завдання 6. Скласти таблицю морфотипів спортсменів, які впливають на спортивні результати

Завдання 7. Розрахувати власний основний обмін за формулою Дрейера, порівнявши його з даними таблиці Гарріса та Бенедикта.

Завдання 8. Розрахувати процент відхилення Риди основного обміну від норми і зробити висновки про власний стан обміну речовин

Завдання 9. Охарактеризувати особливості харчування спортсменів

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Важливість біомеханіки у її науковому, практичному значенні підкреслюється історією її виникнення та розвитку – від античного часу до сучасності. Фактично це розділ фізики, пристосований для вивчення механічних властивостей живих об'єктів, зокрема людини. Біомеханіка – це розділ біофізики про рухи людини у різних умовах – побутових, виробничих, спортивних, досліджуючи при цьому біомеханіку дихального апарата – його еластичний та нееластичний опір, динаміку дихальних рухів, кровоносної системи – пружні властивості судин, серця – гемодинаміка. Результати досліджень застосовують в різних галузях знань – фізіологія труда та спорту, військова та клінічна медицина, зокрема у неврології, ортопедії, травматології, протезуванні, при створенні штучних м'язів, суглобів, кістяка.

Вивчення біомеханіки фізичних вправ і спортивних рухів сприяє розкриттю основ майстерності та розробці науково обоснованої системи тренувань. Результати досліджень використовуються при конструюванні протезно-ортопедичних пристроїв, використовуються при проектуванні технічних систем, об'єктів. Наприклад створено апарат для штучного кровообігу та дихання – “штучне серце-легені”. Це об'єднує біомеханіку з біонікою. Вона межує між біологією, фізикою, хімією, кібернетикою і технікою – інженерними науками: електроніка, навігація..

Сучасна біомеханіка використовує різноманітні методи досліджень і відповідні прилади, обладнання: прискорена кінозйомка, циклографія, кимоциклографія та інші методи. Широко використовуються механотрони, датчики кутових переміщень, опорні динамографи для реєстрації механічних величин – швидкість лінійна та кутова, прискорення лінійні та обертальні. Цим вирішуються основна задача біомеханіки – створення картини діючих сил за кінематичними характеристиками рухів. Це дає можливість оцінити економність рухів, ступінь використання як зовнішніх, так і м'язових сил і робити висновки про механізми координації та регуляції рухів. Інше важливе її завдання – дослідження окремих положень тіла, коли необхідно визначити статичні моменти, розташування загального центра ваги тіла по відношенню до опори, ступінь стійкості тіла у певному його положенні в залежності від взаємодії внутрішніх та зовнішніх сил.

Дані про структуру і механізми управління живими кінематичними ланками з багатьма ступенями свободи, як наприклад рука, яка має 33 ступеня свободи, стали основою для створення маніпулятора – штучна рука, роботів. Дані досліджень про стан рухів кровообігу стали основою для новітніх напрямів у медицині – балістокардіографія, динамокардіографія, які використовують

у діагностиці для показань операцій на серці, судинах, легенях. Всі сучасні дані про досягнення біомеханіки важливі для практичної, професійної діяльності викладачів, тренерів, у їх навчально-виховній діяльності.

Браун	12, 61
Буржель	42

В

Вариньон	67
Введенский Н.Е.	35
Вебер	12

Г

Гален	10, 11
Галілео Галілей	10, 42
Гапліс	56
Гаріс	109, 106
Гаусс	42
Гіпократ	11
Гисс	63
Госсет	42
Гупійер А.	56
Гюйгенс	42

Д

Декарт Р.	37
Джоуль	72
Діксон	64
Донской Д.Д.	14
Дрейер	106
Дуглас	35

З

Заціорський В.М.	14
------------------	----

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Анохін	10
Аристотель	10, 11
Архімед	10
Ашоф-Тавар	63

Б

Базлер	61
Бенедикт	109, 110
Бернуллі	42
Бернштейн М.А.	10, 13, 14, 33, 61
Бореллі Дж.	10, 11, 42, 61

К

Кетле	42
Кис-Флак	63
Коугил	76

Л

Лапутін А.М.	14
Леонардо- да- Винчи	10, 11, 94
Лавуазьє	106
Лаплас	42
Лейбніц	42
Лібих Ю.	106
Ломоносов М.В.	106

М

Марей Е.	12
Мартіне	56, 64
Маршак М.Е.	
Майбридж Е.	12
Майєр	109

Н

Нєтер Е.	81
Ньютон І.	10, 42, 71, 72, 75, 81

П

Павлов І.П.	42
Паскаль	42, 74
Пашутин В.В.	33, 35
Пиперн	35
Пірсон	42, 45
Пуазейль	74

Р

Рид	106
Ромберг	26
Руф'є	64
Рухальні можливості	10

С

Сеченов І.М.	10, 106
Ст'юдент	42, 46

Т

Тімірязєв	42
-----------	----

У

Ухтомський А.А.	20
-----------------	----

Ф

Ферма	42
Фішер	61

Х

Хик 84	
Холден 35	

Ю

Юнг 52	
--------	--

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК**А**

Адаптація	21
Акселерометр	24
Анаеробні можливості	98

Аналого-цифрове моделювання	82
Апаратурні комплекси	23
Афінні координати	37

Б

Балансовий обмін	106
Безконтактні методи	23
Біокібернетика	14
Біоланки	23
Біомеханіка	10
великих суглобів	36
дихального апарата	19
завдання	12, 20, 103
кровообігу	19
людини	19
медична	14
методи дослідження	13, 31
напрями досліджень	20
нормальної ходьби	36
прикладна	20
ходьби	12
об'єкт вивчення	10
патологічної ходьби	36
предмет вивчення	10
скелетних травм	36
спорту	14
стопи	36
сучасна	14
фізичних вправ	14
характеристика	21
хребта	36
Багатоваріантність	81
Біодинамічні характеристики	86
Біокінематичні характеристики	85
Біоланки	38
Біомеханічна структура	104
Біомеханічні характеристики	38
Біореологія	20
Блок-схема	24

В

Варіаційний принцип	81
Вектор	24, 37
Велобол	94
Велосипед	94
Велоспорт	94
Вимірювальні пристрої	23
Витривалість	21
Відео	
Водні види спорту	95
Водний спорт	95
Втома	21

Г		Клінічна електроміографія	36
Геометрія мас	12, 33	Коефіцієнт фізичної активності	106
рухів	81	Комплексне плавання	97
Гипостифроїдна пропорція	96	Контактні методи	23
Гомеостазіс	21	Координати	37
Гоніометри	24, 36	Л	
Горизонтальна площа	36	Лазерна техніка	23
Гранична швидкість	93	Лижі	99
Групи спорту	105	Лікувальні вправи	87
Д		Локомоторні рухи	38
Датчик	23	Локомоції	33, 102
Датчики потенціометричні	34	Локомоції людини	13
Динамометрія	36	М	
Декартові координати	37	Матеріальна точка	85
Деформація системи	19	Механічні рухи	21
Е		Механічний рух	85
Електроенцефалографія	27, 34, 35	Міотонографія	27
Електрокардіографія	27	Модельні показники	81, 83
Електромеханічні методи	33, 34	характеристики	81, 83
Електроміографія	27, 35	Моторика	21
Електром'язографія	27	Н	
Електротензодинамографія	25	Натурне моделювання	82
Електрофізіологія	36	Неваріаційний принцип	81
Ендоскелет людини	36	Негентропія	81, 88
Ефект руху	13	Непряма калориметрія	35, 105
Ефективність техніки	101	О	
З		Область вивчення	10
Зворотний зв'язок	14, 21	Об'єкт пізнання	10
Зовнішній скелет	36	Онтогенез	86
І		Оптимізація хотьби	91
Інваріантність	81	Організація рухів	14
Інструментальні методи контролю	23	Основна стійка	36
Інфрачервона техніка	23	Основний обмін	35
Іхнографія	33,34	речовин	35, 105, 106
К		Особливість техніки	101
Калориметрія	34	П	
Кардіографія	34, 35	Плавання брасом	95
Кількість інформації	84	дельфіном	96
Кімоциклографія	13, 33	кролем	96
Кінезіологічні методи	33	на спині	96
Кінезіотерапія	21	Поведінка	38
Кінематика	38	Поаєдінковий акт	102
рухів	38	Подографія	33
Класифікація тренажерів	104	Подометрія	36
Клінічна біомеханіка	36	Показові вправи	88
		Полюс	37
		Постулат вибору	89
		доповнення	89

Принцип моделювання	89	Тензорезистори	24
Процес навчання рухам	100	Теорія структурності	100
Пряма калориметрія	105	Техніка фізичних вправ	103
Р		Технічна майстерність	22, 100
Радіоізотоп	23	Технічна майстерність	22, 100
Радіотелеметрія	23	підготовка	22
Рapidна зйомка	30	Технічні засоби	101
Рaціональність техніки	100	Типи конституції	96
фізичних вправ	103	рухів	38
Реабілітація	21	Топографія комп'ютерна	32
Рекуперація енергії	92	Тренажери	101, 103
Ресинтез	97, 98	У	
Робочий ефект	89	Ультразвукове обладнання	23
Рухи на місці	102	Ультразвукове обстеження	23
Рухова функція	85	Управління рухами	13,35
Рухове уміння	21	Ф	
Руховий образ	31	Фізична активність	196
Рухові дії	86	Фізичне моделювання	82
Рухові задачі	86	Фізичне виховання	86, 87, 106
Рухові здібності	21	навантаження	22
Рухові можливості	86	Фізичний розвиток	22
Рухові уміння	86	Фізичні вправи	87
С		змагальні	87
Сагітальна площа	36	Філогенез	86
Системний аналіз	13	Формула Ріда	107
Скелет	36	Дрейєра	106
Соматометрія	31	Фотограмметрія	32
Спортивна обдарованість	84	Фронтальна площа	
техніка	81, 103	Х	
стабілограма	26	Харчування плавців	97
Стабілографія	26, 34	спортсменів	107
Стабілометрія	36	Ц	
Статичні положення	36	Циклограмметрія	13, 33
Стомлення при велогонках	95	Циклографія	12, 32, 33
Структура системи	104	Ч	
Т		Число Фруда	93
Таблиця Гаріса-Бенедикта	106		
Тензодатчики	24		

ЛІТЕРАТУРА

1. Александер Р. - Біомеханіка. Переклад з англ. М: СВІТ, 1970, с. 5
2. Бернштейн Н.А. Фізіологія рухів і активність. М.: Наука, С. 373-392. – 1990.
3. Бернштейн Н. А. О ловкости и ее развитии. – М.: ФиС, 1991. – 28 с.
4. Біомеханіка спорту. Навч. посібник для студентів ВНЗ з фізичного виховання і спорту. /Лапутін А.М. – К.: Олімпійська література. – 2001. – 320 с.
5. Гален К. О назначении частей человеческого тела: Пер. с древнгрч. - М.: Медицина, 1971 кн. XV, гл. VIII;, с. 885. –1971.
6. Донской Д.Д.» Заціорський В.М. Біомеханіка. - М.: Физкультура и спорт, 1979. - 263 с.
7. Донской Д.Д. Біомеханіка с основами спортивной техники. - М.: Физкультура и спорт. - 1971. - 24-61 с.
8. Дубровский В.И. Биомеханика. Учебник для студентов ВУЗов.- М.: Владос.- 2003.
9. Жеков И.П. Биомеханика тяжелоатлетических упражнений.- М.: Физкультура и спорт.- 5.
10. Козлов И.М. Практикум по биомеханике. – М.: Физкультура и спорт.- 1980 – 55 с.
11. Лапутін А.Н. Біомеханіка фізичних вправ. Лабораторний практикум. - Київ: Здоров'я, 1976, 86 ст.
12. Лапутін А.М., Носко М.О., Кашуба В.О. Біомеханічні основи техніки фізичних вправ. – К.: Наук. світ, 2001. – 201 с.
13. Леонардо да Вінчі. Тетрадь по анатомии. - М.: Медицина, 1971 кн. XV, гл. VIII;, с. 885. – 1971.
14. Маршак М. Е. Физиология человека.-М.: Медгиз, 1946.-345с.
15. Мягченко О.П. Основы біохімії. – Бердянськ. – 128.- 2006
16. Мягченко О.П. Біохімія людини. – Бердянськ. – 128. - 2011
17. Мягченко О,П, Безпека життєдіяльності людини.- Бердянськ: АРГУ.- 2002.- 492с.
18. Практическая биомеханика. / А.Н.Лапутин, В.В.Гамалий, А.А.Архипов и др.; А.Н.Лапутин (общ. ред.). – К.: Науковий світ, 2000. – 298 с.
19. Спортивна метрологія. Підручник (під ред. проф. В.М.Заціорського). - М.:ФІС, 1982 - стор.144-235.
20. Угнівенко В. І., Нікітін С. Є. Застосування оптичної комп'ютерної топографії для підвищення ефективності призначення протезно-ортопедичних виробів. Вісник гільдії протезистів-ортопедів, 2001. - № 5,-С.35-39.
21. Уткін В.Л. Вимірювання в спорті. Введення до спортивної метрології. - М.і ДДОЛІФК, 1978, - 199 ст.
22. Спортивна метрологія. Підручник (під ред.проф.В.М.Заціорського). - М.:ФІС, 1982 - стор.144-235.