

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

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

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

**Навчальний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Фізична культура і спорт»
освітньо-професійних програм «Фізичне виховання»
і «Спорт»**

**Запоріжжя
2020**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

**Навчальний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Фізична культура і спорт»
освітньо-професійних програм «Фізичне виховання»
і «Спорт»**

Затверджено
Вченою радою ЗНУ
Протокол № 3 від 29.10.2019

Запоріжжя
2020

УДК 796.012.6: 612. 76 (075.8)
С 594

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

У запропонованому авторами виданні в стислому та систематизованому вигляді подано теоретичні основи курсу «Біомеханіка». Навчальний матеріал структуровано у два тематичні розділи відповідно до робочої програми: «Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ. Основи біомеханічного контролю», «Руховий апарат людини. Біомеханічні основи рухових якостей. Диференціальна та прикладна біомеханіка». Для його унаочнення використано рисунки, схеми, графіки, таблиці та формули.

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

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Фізична культура і спорт» освітньо-професійних програм «Фізичне виховання» і «Спорт» денної та заочної форм навчання.

Рецензент

М.В. Маліков, д-р біолог. наук, професор, декан факультету фізичного виховання

Відповідальний за випуск

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

ЗМІСТ

Передмова.....	5
Розділ 1. Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ.	
Основи біомеханічного контролю.....	8
Тема 1. Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ.....	8
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>15</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>15</i>
Тема 2. Основи біомеханічного контролю.....	15
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>32</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>33</i>
Розділ 2. Руховий апарат людини. Біомеханічні основи рухових якостей. Диференціальна та прикладна біомеханіка.....	33
Тема 3. Руховий апарат людини.....	33
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>39</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>40</i>
Тема 4. Біомеханічні основи рухових якостей.....	40
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>57</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>57</i>
Тема 5. Диференціальна біомеханіка.....	58
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>62</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>63</i>
Тема 6. Прикладна біомеханіка. Біомеханіка ходьби та бігу.....	63
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>67</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>68</i>
Тема 7. Біомеханіка пересування на лижах і велосипеді.....	68
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>73</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>74</i>
Тема 8. Біомеханіка плавання.....	74
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>78</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>79</i>
Тема 9. Біомеханіка пересувних рухів і стрибків.....	79
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>83</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>83</i>
Тема 10. Біомеханіка техніко-естетичних видів спорту.....	83
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>87</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>87</i>
Тема 11. Біомеханічні основи туризму.....	87
<i>Питання для контролю.....</i>	<i>89</i>
<i>Практичні завдання.....</i>	<i>90</i>
Питання для повторення та закріплення вивченого програмного матеріалу.....	91
Використана література.....	94

ПЕРЕДМОВА

Курс «Біомеханіка» належить до нормативних дисциплін циклу професійної підготовки бакалаврів спеціальності «Фізична культура і спорт» (освітньо-професійні програми «Фізичне виховання» і «Спорт»).

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

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

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

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

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

У результаті вивчення дисципліни «Біомеханіка» студенти повинні:

Знати:

- ✓ основні терміни та поняття курсу;
- ✓ біомеханічні основи техніки рухових дій та тактики рухової діяльності;
- ✓ структуру аналізу рухової діяльності людини;
- ✓ біомеханічні характеристики рухів людини;

✓ кінематичні, динамічні та енергетичні особливості рухової діяльності людини при виконанні фізичних вправ.

Уміти:

✓ вільно оперувати понятійно-категоріальним апаратом курсу;
 ✓ обчислювати координати точок біоланок тіла людини;
 ✓ будувати біокінематичну схему;
 ✓ складати лінійні та кругові хронограми;
 ✓ визначати лінійні та кругові швидкості та прискорення;
 ✓ визначати загальний центр тяжіння тіла (ЗЦТТ) графічним способом;
 ✓ визначати загальний центр тяжіння тіла (ЗЦТТ) аналітичним способом.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких *результатів навчання (компетентностей)*:

Інтегральна компетентність:

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

Загальні компетентності:

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

Спеціальні (фахові, предметні):

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

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

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

Навчальний матеріал посібника розподілено на два тематичні розділи, в яких послідовно й детально висвітлюються питання загальної, диференціальної та прикладної біомеханіки. Загальна біомеханіка дає розуміння того, як і чому людина рухається. Диференціальна біомеханіка розкриває особливості рухових можливостей і рухової діяльності людини. Прикладна біомеханіка розглядає конкретні питання технічної та тактичної підготовки в окремих видах спорту й різновидах масової фізичної культури. Основне питання прикладної біомеханіки – як навчити людину правильно виконувати різноманітні рухи або як самостійно освоїти культуру рухів. До кожної теми запропоновано практичні завдання та питання для контролю, які спрямовані на закріплення теоретичних положень біомеханіки і формування передбачених програмою умінь і навичок.

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

Розділ 1. Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ. Основи біомеханічного контролю

Тема 1. Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ

Поняття про біомеханіку. Предмет і завдання біомеханіки. Термін біомеханіка утворений шляхом складання двох грецьких слів: *bios* – життя і *mechané* – знаряддя. Як відомо, механіка – це розділ фізики, що вивчає механічний рух і механічну взаємодію матеріальних тіл. Звідси зрозуміло, що *біомеханіка – це розділ науки, що вивчає рухові можливості й рухову діяльність живих істот.*

Біомеханіка фізичних вправ вивчає рухові дії людини у процесі виконання фізичних вправ; рухову діяльність людини під час спортивних тренувань і змагань та в процесі занять масовими й оздоровчими формами фізичної культури, у тому числі на уроках фізичної культури в школі.

Основними завданнями біомеханіки є: вивчення об'єктивних закономірностей і вдосконалення рухової функції людини; оптимізація рухової діяльності людини на основі вимірювання та контролю її кількісних характеристик та розробки критеріїв ефективного управління станом її рухової функції тощо.

Історія розвитку біомеханіки. Біомеханіка як єдина система знань сформувалася порівняно недавно, проте рухи людини та тварин завжди привертали до себе посилену увагу. Ще Аристотель (384-322 рр. до н.е.), Клавдій Гален (130-201 рр. н.е.) та Авіценна (980-1037рр. н.е.) спостерігали за рухами наземних тварин і людини й по-своєму описували та аналізували їх. Окрім того, основи наших знань про рухи у воді закладені Архімедом (287-212 р. до н. е.).

Суттєво вплинули на становлення біомеханіки як науки видатні мислителі минулого: римський лікар Гален (131-201 р.), Леонардо да Вінчі (1452-1519 р.), Мікеланджело (1475-1564 р.), Галілео Галілей (1564-1642 р.), Ісаак Ньютон (1642-1727 р.). Так, Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.) перший звернув увагу на особливу роль механіки у вивченні рухів. Він, зокрема, писав: «Наука механіка тому є кориснішою за всі інші науки, що, як виявляється, всі живі тіла, які мають здатність до руху, діють за її законами». На єдність законів механіки для всіх тіл у природі, включаючи тіла тварин і людини, вказував також Галілео Галілей (1638 р.), який помітив, що зміни форми та внутрішньої структури тіла тварини обов'язково відбуваються через зміни його розмірів.

Новітня історія біомеханіки починається з видатної праці італійського лікаря й математика Джовані Альфонсо Бореллі (1608-1679 рр.) «Про локомоції тварин». У ній подано відомості про центр тяжіння тіла людини й першу класифікацію локомоторних рухів як активних переміщень тварин у просторі. Ісаак Ньютон вважав Бореллі своїм попередником у вченні про всесвітнє тяжіння. Сьогодні ми з повним правом можемо вважати Бореллі засновником

сучасної біомеханіки. Значно пізніше, на початку XIX ст., німецькі біологи брати Едуард та Вільгельм Вебери на досить сучасному для свого часу рівні продовжили вивчення положення центра тяжіння в тілі людини, біомеханіки ходьби, бігу, стрибків та інших локомоцій. Уже наприкінці XIX ст. їх співвітчизники Вільгельм Браун та Отто Фішер удосконалили ряд методів вимірювань біомеханічних характеристик рухів та суттєво доповнили ці дослідження.

Значний внесок у розвиток біомеханіки як науки зробив видатний французький дослідник Етьєн-Жюль Марей (1830—1904 рр.). Працюючи укупі з відомим педагогом, автором одного з найфундаментальніших теоретичних та практичних курсів фізичного виховання Жоржем Демені, він винайшов хронофотографію, котру використав для вивчення рухів тварин та людини. У подальшому Марей її удосконалив, що привело до появи у біомеханіці нового кінематографічного методу дослідження.

Велику роль у розумінні єдності структури та функцій органів опори й руху людини відіграли праці І. М. Сеченова та П. Ф. Лесгафта. Кожний з цих видатних дослідників зробив вагомий внесок у сучасне розуміння біомеханіки як науки. У 1874 р. вийшла друком відома праця Лесгафта «Основи природної гімнастики», яка стала основою курсу «Теорія тілесних рухів», де він встановив так звану абетку рухів тіла людини. У 1901 р. побачила світ монографія «Нарис робочих рухів людини», у якій викладено основні положення біомеханіки трудової рухової діяльності людини.

Важливими віхами в розвитку біомеханіки стали праці відомого анатома-функціоналіста М. Ф. Іваницького, який у 1928 р. видав «Записки з динамічної анатомії», а в 1938 р. опублікував монографію «Рухи тіла людини».

Таким чином, у першій половині XX ст. біомеханіка вже являла собою досить чітку систему знань, у якій, однак, усе ще досить виразно та дещо відособлено виділялися морфологічні, фізіологічні та інструментально-технічні напрями. При цьому останній домінував у працях західноєвропейських фахівців, які активно працювали в галузі вдосконалення методів вимірювання рухів людини. До кінця XX ст. цей напрям досяг надзвичайно високого рівня розвитку. Він не тільки ввібрав у себе майже весь величезний потенціал сучасних технологій, але й сам по собі значною мірою стимулював розвиток цілих галузей виробництва найсучаснішої вимірювальної апаратури. Це явище можна віднести до безсумнівних успіхів біомеханіки як системи знань про живі системи, що відкриває серйозні перспективи розвитку методів їх моделювання у технологіях майбутнього. Однак, аналізуючи стратегію розвитку інструментально-технічного напрямку біомеханіки, неможливо не помітити деяку його обмеженість. Вона, зокрема, виявляється у тому, що фахівці, які працюють у цій галузі, досягаючи найвищої точності вимірювання рухів за допомогою сконструйованих ними технічних засобів, фактично тим самим часто ігнорують біологічну сутність вимірюваних живих об'єктів. Отже, максимально точне вимірювання потребує значних ресурсів. У багатьох випадках це перетворюється на самоціль, але при її досягненні втрачається змістовна структура рухів людини, які вивчаються. Як відомо, кожному рівню

точності вимірювань відповідає свій, цілком певний, притаманний тільки йому рівень організації рухів кожної живої системи. До цього можна додати, що представники цього напрямку результати своїх вимірювальних дослідів навіть не акцентують на розв'язанні будь-яких суто біомеханічних проблем, фактично ігноруючи біомеханічну феноменологію, що розглядає рухи людини в їх взаємозв'язку з усіма іншими, включаючи психофізичні, **відправленнями її організму.**

На цьому тлі вигідно вирізняються оригінальні праці видатного біомеханіка ХХ ст. М.О. Бернштейна, причому насамперед тим, що рухи людини представлені не як суто фізичні, механічні явища, а як біологічні структури, організовані в системній єдності організму людини як живої цілеспрямованої системи. У своїх працях йому вдалося не тільки об'єднати в єдину систему анатомічні, фізіологічні, психологічні, фізичні та інші знання, а й на цій основі фактично синтезувати нову сучасну біомеханіку. Серія його дослідів, починаючи з 1939 р., завершилася фундаментальною працею «Про побудову рухів» (1947 р.). Автор розглянув рухи людини як найважливіший об'єкт досліджень у сучасній біології. У цій книзі представлено дані про походження рухової функції, про розвиток структур центральної нервової системи у зв'язку з виникненням у людини певних ієрархічно залежних рівнів побудови рухів. Зокрема, він докладно розкрив механізми розвитку та розпаду рухів - виникнення та розвитку відповідних рівнів побудови, розвитку рухових навичок, вимоги до елементів координаційної структури рухів; явища, що зумовлюють прояв певних патологічних синдромів та механізми можливого їх виникнення у руховій системі людини.

Останнім часом виникли й успішно розвиваються: інженерна біомеханіка, основні досягнення якої пов'язані з розробкою роботів; медична біомеханіка, що досліджує причини, наслідки та способи профілактики травматизму, міцність опорно-рухового апарату, питання протезування; ергономічна біомеханіка, що вивчає взаємодію людини з навколишніми предметами з метою їх оптимізації.

Проте центральним розділом біомеханіки є біомеханіка фізичних вправ. Вона вивчає рухову діяльність людини під час спортивних тренувань і змагань та в процесі занять масовими й оздоровчими формами фізичної культури, у тому числі на уроках фізичної культури в школі. Постійно вдосконалюючись, біомеханіка фізичних вправ поступово перетворюється на біомеханіку рухової активності, що охоплює всі сторони рухової діяльності людини.

Архітектоніка сучасної біомеханіки складається як би з трьох «секцій» і трьох «поверхів».

Основні напрями біомеханіки: загальна, диференціальна та прикладна. Біомеханіка розподіляється на загальну, диференціальну та прикладну.

Загальна біомеханіка вирішує теоретичні питання й допомагає отримати відповідь на питання, як і чому людина рухається. Цей розділ біомеханіки дуже важливий для практики фізичного виховання і спорту, оскільки «немає нічого більш практичного, ніж ґрунтовна теорія».

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

Прикладна біомеханіка розглядає конкретні питання технічної та тактичної підготовки в окремих видах спорту й різновидах масової фізичної культури. У тому числі в оздоровчому бігу і ходьбі, загальнорозвивальних гімнастичних вправах, ритмічній гімнастиці та ін. Основне питання прикладної біомеханіки – як навчити людину правильно виконувати різноманітні рухи або як самостійно освоїти культуру рухів.

На трьох «поверхах» (рівнях) біомеханіки вивчаються рухи – рухові дії – рухова діяльність. *На першому рівні* фактичні дані для дослідження рухів отримують найчастіше у ході експериментів з ізольованими м'язами й іншими частинами тіла тварин.

За рідкісним винятком (наприклад, рухи немовляти) здорова людина виконує цілеспрямовані й мотивовані рухи, або рухові дії. *На цьому другому рівні* біомеханіка вивчає й удосконалює техніку рухових дій (наприклад, техніку стрибка, удару, кроку тощо).

Третій рівень біомеханіки присвячений тактиці рухової діяльності. При виконанні фізичних вправ рухова діяльність складається з рухових дій, як ланцюг з ланок. Наприклад, біг складається з окремих кроків; стрільба – із підготовки, прицілювання й безпосередньо пострілу; штрафний удар у футболі – з розбігу й удару ногою по м'ячу. Рухові дії в такому ланцюзі взаємозалежні та взаємообумовлені. Тому рухова діяльність – це система рухових дій.

Біомеханіка займає особливе положення серед наук про фізичне виховання і спорт. Вона *базується на* анатомії, фізіології та фундаментальних наукових дисциплінах – фізиці (механіці), математиці й теорії керування. Взаємодія біомеханіки з біохімією, психологією та естетикою сприяла появі нових наукових напрямів, що, ледь сформувавшись, уже становлять велику практичну цінність. У їх числі «психобіомеханіка», енергетичні й естетичні аспекти біомеханіки.

Біомеханіка більше, ніж інші медико-біологічні й педагогічні дисципліни, використовує досягнення електронно-обчислювальної техніки.

Але головне – біомеханіка є посередником між теорією і практикою фізичного виховання, спорту й масової фізичної культури. Спираючись на знання біомеханіки, педагогу легше вчити своїх вихованців, але для цього необхідно вміти аналізувати рухову діяльність, або, говорячи професійною мовою, читати рухи. Тут можна провести аналогію з музикою. Нефахівець сприймає фонограму музичного твору емоційно, а професіонал-музикант розрізняє голоси різних інструментів, тонко оцінює погодженість їхнього звучання, зауважує помилки і, крім того, може «думкою почути» звуки, записані на нотних лінійках. Так і фахівець із фізичного виховання повинен уміти подумки уявити рух, якщо зареєстровані його характеристики (траєкторія, швидкість, сила тощо).

Структура аналізу рухової діяльності (структура біомеханічного аналізу). Процедура аналізу рухової діяльності (*біомеханічного аналізу*) складається з таких етапів:

1. *Вивчення зовнішньої картини рухової діяльності.* Насамперед з'ясовують, з яких рухових дій вона складається і яка послідовність цих рухових дій. Наприклад, шкільний урок фізичної культури складається з комплексу вправ. Потрібно враховувати, що характер, тривалість та інтенсивність попередніх вправ впливають на якість виконання наступних.

Вивчаючи зовнішню картину рухової діяльності, реєструють *біокінематичні характеристики*: системи відліку відстані і часу; просторові характеристики (координати точок, тіла, системи тіл, траєкторії точок); часові характеристики (моменти часу, тривалість руху, фаза руху, темп і ритм рухів); просторово-часові характеристики (швидкість і прискорення точок та тіла).

Особливо важливо знати тривалість окремих частин руху (фаз). Їх графічним відображенням є хронограма. Хронограма рухової дії характеризує техніку, а хронограма рухової діяльності – перше, на що звертають увагу при аналізі спортивної тактики.

2. *З'ясування причин, що зумовлюють рухи та їх зміну.* Вони не доступні візуальному контролю. Відтак для їх аналізу необхідно реєструвати *біодинамічні характеристики*: інерційні характеристики (маса тіла, момент інерції); силові характеристики (сили, моменти сил, імпульс сили й імпульс моментів сил). Найважливіше значення мають величини сил, що діють на людину ззовні та створюються її власними м'язами.

3. *Визначення топографії працюючих м'язів.* На цьому етапі визначається, які м'язи задіяні у виконанні фізичної вправи та який механізм їх участі. Знаючи, які м'язи переважно забезпечують рухову діяльність, до якої готує себе людина, можна з великої кількості фізичних вправ відібрати ті, які забезпечать розвиток саме цих м'язів та їх координацію.

Залежно від того, яка частина всієї м'язової маси тіла задіяна, розрізняють: глобальну м'язову роботу (більше 2/3), регіональну (від 1/3 до 2/3) і локальну (менше 1/3). Так, бігуни, плавці, лижники виконують глобальну м'язову роботу. До регіональної відноситься, наприклад, м'язова робота, виконувана при деяких загальнорозвивальних гімнастичних вправах (підтягування на поперечині, піднімання ніг і верхньої частини тулуба з положення лежачи на спині тощо).

Уявлення про те, які саме м'язи задіяні в кожній вправі, можна одержати, реєструючи їх електричну активність. Чим інтенсивніше працює м'яз, тим вища його електрична активність і більша амплітуда електроміограми.

Добре відомо, що різні рухи відрізняються за кінематикою і динамікою. Так само й електроміографічний портрет рухів неоднаковий у різних вправах. Але, як пише Р.С. Персон, «навіть складні рухи, якщо вони досить автоматизовані (наприклад, ходьба й інші локомоції, звичайні побутові, професійні та спортивні рухи), мають більш-менш постійний рисунок збудження м'язів не тільки при повторенні руху однією людиною, але й у різних людей».

4. *Визначення енергетичних витрат і того, як доцільно витрачається енергія працюючих м'язів.* Для отримання відповіді на ці питання необхідною є

реєстрація *біоенергетичних характеристик*: робота сил, потужність, механічна енергія тіла (кінетична й потенційна). Поряд з величинами енерговитрат важливу роль відіграє економічність. Вона тим вища, чим більша частка корисних енерговитрат відносно всієї витраченої енергії. Підраховано, наприклад, що у старців вищої кваліфікації підвищення економічності бігу на 20% переміщує бігуна в списку кращих з 10-го на 1-е місце.

5. *Визначення оптимальних рухових режимів* (найкращої техніки рухових дій та найкращої тактики рухової діяльності) здійснюється на завершальному етапі біомеханічного аналізу. **Тут же оцінюється ступінь відповідності реально мають місце й оптимальні варіанти техніки і тактики.**

Оптимальним (від лат. *optimus* – найкращий) називається *найкращий варіант із усіх можливих*. У спорті (а останнім часом і в оздоровчій фізкультурі) постійно ведеться пошук оптимальних варіантів техніки й тактики та визначення ступеня відповідності реального рухового режиму оптимальному. Тим самим вирішується завдання оптимізації рухової діяльності або її раціоналізації (якщо не вдається досягти ідеалу, але можна до нього наблизитися).

Оптимізацією називають вибір найкращого варіанта з числа можливих. Але що таке найкращий варіант рухової діяльності? Загальної відповіді на це питання не існує, оскільки все залежить від конкретної ситуації та поставленої мети. Так, людина, що втікає від переслідувачів, не думає про красу й економічність. Головне – бігти швидко. Інша справа, гімнастка, що виконує вільні вправи. Вона прагне рухатися якнайкраще, відповідно до естетичних канонів свого виду спорту. У цих ситуаціях різні цілі людей. Тому критерії оптимальності, тобто показники, які використовуються для оцінки ступеня досягнення поставленої мети, різні.

Економічність рухової діяльності обернено пропорційна енергії, затрачуваній на одиницю виконуваної роботи або метр пройденого шляху. Це найважливіший критерій оптимальності.

Механічна продуктивність тим вища, чим більший обсяг роботи виконується за визначений час або чим швидше виконується даний обсяг роботи. Наприклад, у циклічних видах спорту механічна продуктивність оцінюється часом подолання змагальної дистанції, а в масовій фізичній культурі – відстанню, що людина може пройти, пробігти або пропливти за 12 хв.

Точність рухових дій. Виокремлюють два її різновиди – цільову точність і точність відтворення заданої зовнішньої картини рухів (наприклад, при виконанні «школи» у фігурному катанні). Цільова точність оцінюється відхиленням точки влучення від центра мішені (наприклад, у стрільбі) або відношенням кількості успішно виконаних рухових дій до їх загальної кількості (удари в боксі та спортивних іграх, кидки в боротьбі, передач і прийомів м'яча тощо).

Естетичність оцінюється близькістю кінематики (тобто зовнішньої картини руху) до естетичного ідеалу – загальноприйнятого чи прийнятого в даному виді спорту (фігурному катанні, художній гімнастиці, синхронному плаванні тощо).

Комфортабельними вважаються плавні рухи. Чим більше хитається тіло при ходьбі, бігу тощо, тим нижчою є комфортабельність.

Безпека тим вища, чим менша ймовірність травми.

Функціональний та системно-структурний підходи до вивчення рухової діяльності. Трудомісткість біомеханічного аналізу й користь від нього залежать від того, наскільки педагог прагне вивчити техніку та тактику своїх учнів. Розрізняють системно-структурний і функціональний підходи до аналізу рухової діяльності.

Функціональний підхід дозволяє виявити ті чи інші недоліки техніки й тактики.

Наприклад, на уроці фізкультури можна побачити, що техніка підтягування в багатьох відрізняється від еталонної. Але як її виправити? Функціональний підхід не дає відповіді на це питання. На його прапорі написано: опанувати процес керування без повного розкриття його внутрішньої природи. Зрозуміло, що такий шлях ненадійний. Не маючи чітких рекомендацій для усунення недоліків техніки й тактики, викладач змушений діяти навмання.

Системно-структурний підхід дає більш конкретні рекомендації. Педагог, що застосовує при навчанні своїх учнів системно-структурний підхід, прагне пізнати склад і структуру рухової діяльності, тобто отримати відповідь на питання, з яких елементів вона складається і як вони між собою пов'язані. Крім того, з'ясовують внутрішні механізми, тобто з'ясувати, чому рухові дії виконані саме так, а не інакше. Найбільш поширеним прийомом системно-структурного підходу є поділ рухової дії на частини («фаз») за визначеними правилами.

Функціональний і системно-структурний підходи до аналізу й удосконалення рухової діяльності доповнюють один одного. Застосовуючи системно-структурний підхід, педагог здійснює аналіз від складного до простого. Елементи рухової діяльності, що знаходяться на нижній ієрархічній сходинці, залишаються нерозкритими, недеталізованими та розглядаються вже з позицій функціонального підходу. Рівень, на якому системно-структурний підхід переходить у функціональний, залежить від розв'язуваних завдань.

Наприклад, при тактичній підготовці рухові дії (технічні елементи) вважаються «неподільними цеглинками», з яких складається рухова діяльність. А при технічній підготовці детально вивчається взаємодія м'язів, кістки, суглобово-зв'язкового апарату. Але стосовно окремих елементів рухового апарату застосовується функціональний підхід: їхня будова та функціонування на молекулярному рівні звичайно не розглядаються.

У сучасній біомеханіці гармонійно переплітаються ідеї та методи оптимізації рухової діяльності, функціонального і системно-структурного підходів, автоматизованого контролю за техніко-тактичною майстерністю, моделювання техніки і тактики на електронно-обчислювальних машинах. Але головною залишається думка та праця дослідника, який осягає закономірності рухів, і педагога, який використовує ці досягнення в навчальному та тренувальному процесах.

? Питання для контролю

1. Що вивчає біомеханіка й біомеханіка фізичних вправ?
2. Визначте основні завдання біомеханіки фізичних вправ.
3. Назвіть основні розділи біомеханіки фізичних вправ.
4. Розкрийте зміст етапів біомеханічного аналізу.
5. Поясніть призначення біомеханічних характеристик.
6. Що таке оптимізація рухової діяльності?
7. Що таке топографія працюючих м'яз?
8. Назвіть критерії оптимальності рухової діяльності.
9. У чому полягає різниця між такими поняттями, як «рух», «рухова дія» «рухова діяльність»?
10. У чому полягає відмінність між системно-структурним і функціональним підходом до аналізу рухової діяльності?



Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Загальна біомеханіка. Вступ до біомеханіки фізичних вправ».
2. Розкрити зміст етапів біомеханічного аналізу на прикладі вашого виду спорту.

Тема 2. Основи біомеханічного контролю

Біомеханічний контроль як елемент системи комплексного контролю у фізичному вихованні та спортивно-оздоровчій діяльності. Рухова майстерність людини, її вміння в будь-яких умовах рухатися швидко, точно й красиво, залежить від рівня фізичної, технічної, тактичної, психологічної та теоретичної підготовленості. Ці п'ять чинників культури рухів є визначальними у спорті, фізичному вихованні школярів і під час занять масовими формами фізичної культури. Для удосконалювання рухової майстерності й навіть для збереження її на досягнутому рівні необхідний контроль за кожним із названих чинників.

Об'єктом біомеханічного контролю слугує моторика людини. Отже, завдяки біомеханічному контролю можна отримати інформацію:

- 1) про техніку рухових дій і тактику рухової діяльності;
- 2) про витривалість, силу, швидкість, спритність і гнучкість, які забезпечують високий рівень техніко-тактичної майстерності.

Біомеханічний контроль дає відповідь на три питання:

1. Що робить людина?
2. Наскільки добре вона це робить?
3. Завдяки чому вона це робить?

Процедура біомеханічного контролю відповідає такій схемі:

Контроль = тестування + оцінювання результатів
(вимірювання) *вимірювання або тестування*

Людина стає об'єктом вимірювання з раннього дитинства. У немовляти вимірюють зріст, вагу, температуру тіла, тривалість сну тощо. Пізніше, у шкільному віці, у число вимірюваних перемінних включаються знання та уміння. Чим доросліша людина, чим ширше коло її інтересів, тим більше показників необхідно для її характеристики і тим важче здійснити точні виміри. Як, наприклад, виміряти технічну й тактичну підготовленість, красу рухів, геометрію мас людського тіла, силу, гнучкість тощо?

Шкали та одиниці вимірювання. Шкалою вимірювання називається послідовність величин, що дозволяє встановити відповідність між характеристиками досліджуваних об'єктів і числами. При біомеханічному контролі найчастіше використовують шкали найменувань, відносин і порядку.

Шкала найменувань – найпростіша з усіх. У цій шкалі числа, букви, слова чи інші умовні позначки виконують роль ярликів і слугують для виявлення та розрізнення досліджуваних об'єктів. Наприклад, при контролі за тактикою гри футбольної команди номери гравців допомагають розпізнати кожного з них.

Числа або слова, що складають шкалу найменувань, дозволяється міняти місцями. І якщо їх без втрати для точності значення вимірюваної перемінної можна змінювати місцями, то цю перемінну варто вимірювати за шкалою найменувань. Наприклад, шкала найменувань використовується при визначенні обсягу техніко-тактичної майстерності спортсмена.

Шкала порядку виникає, коли складові шкали числа впорядковані за рангами, але інтервали між рангами не можна точно виміряти. Наприклад, знання з біомеханіки або навички й уміння на уроках фізкультури оцінюються за шкалою: «погано» – «задовільно» – «добре» – «відмінно». Шкала порядку дає можливість не тільки встановити факт рівності або нерівності вимірюваних об'єктів, але й визначити характер нерівності в якісних поняттях: «більше-менше», «краще-гірше». Однак на питання: «На скільки більше?», «На скільки краще?» – шкали порядку відповіді не дають.

За допомогою шкал порядку вимірюють «якісні» показники, що не мають суворої кількісної міри (знання, здібності, артистизм, красу й виразність рухів тощо).

Шкала порядку нескінченна і в ній немає нульового рівня. Це і зрозуміло. Якою б неправильною була, наприклад, хода або постава людини, завжди можна зустріти ще гірший варіант. З іншого боку, якими б красивими і виразними не були рухи гімнастики, завжди знайдуться шляхи зробити їх ще досконалішими.

Шкала відносин є найбільш точною. У ній визначене положення нульової точки та числа не тільки впорядковані за рангами, але й розділені рівними інтервалами – одиницями вимірювання.

За шкалою відносин вимірюють розміри й масу тіла та його частин, положення тіла в просторі, швидкість і прискорення, силу, тривалість часових

інтервалів і багато інших біомеханічних характеристик. Наочними прикладами шкали відносин є: шкала ваг, шкала секундоміра, шкала спідометра.

Шкала відносин точніше за шкалу порядку. Вона дозволяє не тільки дізнатись, що один об'єкт вимірювання (технічний прийом, тактичний варіант і т.п.) краще або гірше від іншого, але й дає відповідь на питання, на скільки краще. Тому в біомеханіці намагаються застосовувати саме шкали відносин і з цією метою реєструють біомеханічні характеристики.

Системи підрахунку відстані та часу. Рухи людини та спортивних приладів можна виміряти, лише порівнюючи їх розташування з розташуванням обраного для порівняння тіла (тіла відліку), тобто всі рухи розглядаються як відносні.

Система відліку (відстані) – це тіло відліку з яким пов'язують початок і напрямок вимірювання відстані та визначають одиниці відліку.

Тіло відліку – це умовно обране тверде тіло, щодо якого визначають розташування інших тіл у різні моменти часу.

Існують дві системи відліку: 1) інерціальна (нерухома): доріжка, лижня, гімнастичний прилад; 2) неінерціальна (рухома): кільця, які розгойдуються; лижа, яка ковзає.

Для точного визначення спортивного результату правила змагань передбачають, за якою точкою (пункт відліку) проводиться відлік (за рівнем лижних кріплень, за найпершою точкою грудної клітки спринтера, за останньою точкою сліду стрибуну в довжину тощо).

Для опису руху використовують природній, векторний і координатний способи.

Природній спосіб передбачає визначення координати тіла шляхом розрахунку від початку відліку 0, обраного наперед відомій траєкторії. *Векторний спосіб* передбачає визначення координати тіла через радіус-вектор, проведений з центру 0 даної системи координат до точки, координати якої визначають. При *способі прямокутних координат* (на площині та в просторі) точку перетину взаємно перпендикулярних координатних осей 0 (початок координат) приймають за початок відліку. Щоб визначити положення деякої точки А (пункт відліку) щодо початку відліку, знаходять її проекції на осі координат.

Визначають одиниці вимірювання відстані – лінійні та кутові. У міжнародній системі одиниць (СІ) прийнята основна лінійна одиниця – метр, кілометр, сантиметр, міліметр.

Із кутових одиниць використовуються: а) градус, хвилина, секунда – при вимірюванні кутів (окружність = 360° , градус = $60'$, хвилина = $60''$); б) оберти – при визначенні поворотів навколо вісі (оберт = 360° , півоберту = 180° тощо); в) радіан (для підрахунку за формулами) = кут між двома радіусами кола, який виділяє на окружності дугу, рівну за довжиною радіусу (радіан = $57^\circ 17' 44,8''$; $1^\circ = 0,01745$ рад.).

У систему відліку часу включають певний початок і одиниці відліку.

За початок відліку часу приймають: а) північ – у всіх закладах, на підприємствах зв'язку та ін.; б) північ і полудень – у звичайних життєвих умовах; в) суддівський час – в умовах змагань.

За одиницю відліку часу приймають секунду, частки секунди. Напрямок відліку часу в дійсності – від минулого до майбутнього. Досліджуючи рух, можна відраховувати час і в зворотному напрямку – до минулого (за 0,02 с до удару; 0,05 с до відривання ноги від опори тощо).

Поняття про біомеханічні характеристики. Для того щоб оцінити окремі рухи, зіставити їх між собою, визначають їх *біомеханічні характеристики*. Біомеханічними характеристиками називаються показники, які використовують для кількісного опису й аналізу рухової діяльності. Розрізняють біокінематичні, біодинамічні й енергетичні характеристики рухів тіла людини. У них різне призначення: кінематичні характеризують зовнішню картину рухової діяльності, динамічні несуть інформацію про причини зміни рухів, енергетичні дають уявлення про механічну продуктивність і економічність.

Біомеханічні характеристики описують поступальні й обертальні рухи. *Поступальним* називається такий рух, при якому всі точки тіла переміщуються по однакових траєкторіях. При *оберттовому* русі точки тіла, що рухаються, переміщуються по кругових траєкторіях, центри яких лежать на осі обертання.

Але в більшості рухів людини поступальний і обертальний компоненти наявні одночасно, такі рухи називаються *складними*. Причому руховий апарат людини влаштований так, що всі рухи (у тому числі й поступальні) утворюються з комбінацій обертальних рухів у суглобах.

Кінематичні характеристики (просторові, часові, просторово-часові). Кінематика рухів визначає геометрію (просторову форму) рухів та їх зміни у часі (характер) без урахування маси та діючих сил. Вона дає цілісне уявлення лише про зовнішню картину рухів. Причини виникнення та зміни рухів (їх механізм) розкриває вже динаміка.

Кінематичні характеристики тіла людини та її рухів визначають положення та рух людини у просторі та часі. До них належать просторові, часові та просторово-часові.

Кінематичні характеристики дають можливість порівняти розміри тіла і його ланок, а також кінематичні особливості рухів у різних спортсменів. Від урахування цих характеристик багато в чому залежить індивідуалізація техніки спортсменів, пошук оптимальних саме для них особливостей рухів.

Просторові характеристики дозволяють визначити вихідне положення, з якого рух починається, і кінцеве положення, в якому рух закінчується (за координатами), а також визначити власне рух тіла (за траєкторією).

Положення будь-якої точки тіла (наприклад, будь-якого суглоба) або положення спортивного снаряда (наприклад, м'яча) визначається координатами в тій або іншій системі координат. Найбільш популярна прямокутна система координат, у якій положення матеріальної точки в просторі описується її координатами на трьох взаємно перпендикулярних осях (вертикальній і двох горизонтальних – подовжній і поперечній).

При виконанні рухової дії положення тіла або спортивного снаряда змінюється. При цьому їх матеріальні точки рухаються в просторі по лініях, що називаються *траєкторіями*. У прямолінійному русі траєкторія (вектор) не змінюється, і шлях визначається відстанню по прямій між кінцевим і початковим положенням тіла – *лінійне переміщення* (ΔS). У криволінійному русі напрямок змінюється і шлях визначається відстанню по траєкторії між кінцевим і початковим положенням тіла з урахуванням кривизни траєкторії. Лінійне переміщення вимірюється в одиницях довжини (метрах).

В обертальних рухах точки тіла переміщуються по дугах кола, центри яких лежать на осі обертання. Таке переміщення називають кутовим. Кут повороту тіла або окремого сегмента (*кутове переміщення* ($\Delta\phi$)) вимірюється у градусах.

Часові характеристики визначають рух у часі: коли він розпочався і закінчився (момент часу), як довго тривав (тривалість руху), як часто виконувався рух (темп), як він був побудований у часі (ритм). Разом із просторово-часовими характеристиками вони визначають характер руху людини.

Момент часу – часова характеристика положення точки тіла і системи. Момент часу визначають не лише для початку й закінчення руху, але й для визначення часу закінчення одної фази руху та початку наступної (наприклад, відрив стопи від опори під час бігу – це момент закінчення фази відштовхування та початку фази польоту). За моментами часу визначають тривалість руху.

Тривалість руху – це його часова характеристика, яка вимірюється різницею моментів часу початку й закінчення руху. Якщо відома тривалість руху і відстань, яку пройшла точка, можна визначити її швидкість. Знаючи тривалість руху, визначають також його темп і ритм.

Темп рухів – це ступінь швидкості їх повторюваності. Він вимірюється кількістю рухів, які повторюються за одиницю часу (частота рухів).

Темп – величина, зворотна тривалості рухів. Чим більша тривалість руху, тим менший темп, і навпаки. У циклічних видах спорту темп може бути показником досконалості техніки.

Ритм рухів – це часова характеристика співвідношення частин рухів. Він визначається за співвідношенням тривалості частин рухів.

Ритм рухів характеризує співвідношення фаз рухової дії. Наприклад, співвідношення часу опори та часу польоту під час бігу чи часу амортизації (згинання коліна) і часу відштовхування (випрямлення ноги) при опорі. Ритм розкриває зусилля, які докладає людина. Він залежить від їх величини, часу застосування та інших особливостей руху. Тому за ритмом рухів можна певною мірою говорити про їх досконалість. У ритмі особливо важливі акценти – великі зусилля та прискорення – їх розташування у часі. При опануванні вправами іноді краще спочатку задати ритм, ніж детально описувати елементи руху; це допомагає швидше зрозуміти особливості руху, що вивчається, його побудову в часі.

Просторово-часові характеристики визначають, як змінюються положення й рухи людини у часі, як швидко людина змінює своє положення (швидкість) і рухи (прискорення).

Швидкість точки – це просторово-часова характеристика руху точки (швидкості зміни її положення). Швидкість – величина векторна, вона характеризує швидкість руху та його напрямок. Швидкість визначається шляхом ділення довжини пройденого шляху на час, який був затрачений на переміщення.

Прискорення точки – це просторово-часова характеристика зміни руху точки. Прискорення – величина векторна, вона характеризує бистроту зміни швидкості за її величиною й напрямком у даний момент.

Динамічні характеристики руху людини. Всі рухи людини й переміщення предметів, які вона рухає під впливом сил змінюються за величиною і напрямом швидкості. Щоб розкрити механізм рухів (причини їх виникнення і хід їх змін), досліджують динамічні характеристики. До них належать інерційні характеристики (особливості тіла людини й предметів, які вона рухає), силові (особливості взаємодії ланок тіла та інших тіл).

Динамічні характеристики вимірюють тому, що саме вони допомагають усвідомити складні механізми формування рухів, а отже, знайти шляхи опанування ними, їх удосконалення і виправлення можливих помилок. Адже помилки в кінематиці (зовнішній картині рухів) завжди є наслідком несвоєчасних і нераціональних (недостатніх або надмірних) м'язових зусиль і невмілого використання зовнішніх сил.

Інерційні характеристики. Різні тіла зберігають швидкість незмінною при відсутності зовнішніх впливів. Ця властивість, яка не має міри, називається *інерцією* (у перекладі з лат. Інерція означає бездіяльність). Різні тіла змінюють швидкість під впливом сил по-різному. Отже, ця їх властивість має міру. Її називають *інертністю*.

Інертність – властивість фізичних тіл, яка проявляється у поступовій зміні швидкості з плином часу під впливом сил.

Збереження швидкості незмінною (рух нібито за інерцією) в реальних умовах можливе лише тоді, коли всі зовнішні сили, докладені до тіла, взаємно врівноважені. В інших випадках неврайоновані зовнішні сили змінюють швидкість тіла відповідно до ступеня їх інертності.

Маса тіла – це міра інертності тіла при поступальному русі. Вона вимірюється відношенням величини докладеної сили до величини прискорення, яке спричинено цією силою.

Разом з тим маса (m) – це кількість речовини (у кілограмах), що утримується в тілі або окремій ланці. Чим більше маса, тим інертніше тіло і тим складніше вивести його зі стану спокою або змінити його рух. Маса визначає гравітаційні властивості тіла.

Маса тіла – це міра інертності тіла при поступальному русі. Вона вимірюється відношенням величини докладеної сили до величини прискорення, яке спричинено цією силою.

Разом з тим маса (m) – це кількість речовини (у кілограмах), що утримується в тілі або окремій ланці. Чим більше маса, тим інертніше тіло і тим складніше вивести його зі стану спокою або змінити його рух. Маса визначає гравітаційні властивості тіла.

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

При обертальному русі інертність людського тіла залежить не тільки від маси, але й від пози. Наприклад, фігуристка зі складеними на грудях руками виконує обертання набагато довше, ніж із відведеними в сторону руками й ногою. У другому варіанті обертання різко сповільнюється і потім припиняється. Це відбувається тому, що, відводячи руки в сторони, фігуристка робить своє тіло інертнішим: хоча маса (m) залишається незмінною, збільшується радіус інерції ($R_{ин}$), а отже, й момент інерції.

Ще однією ілюстрацією сказаного може бути жартівлива задача: що важче (точніше, інертніше) – кілограм заліза або кілограм вати? При поступальному русі їхня інертність однакова. При круговому русі важче переміщати вату. Її матеріальні точки знаходяться далі від осі обертання, і тому момент інерції значно більше.

При дослідженні рухів нерідко буває потрібно враховувати не лише величину маси, але й її розподіл у тілі. На розподіл матеріальних точок у тілі вказує місце розташування центра мас тіла.

Центром мас називається точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, що приводять тіло в поступальний рух і які не зумовлюють обертання тіла. У поле гравітації (коли діє сила ваги) центр мас збігається з центром ваги. *Центр ваги* – точка, до якої прикладена рівнодіюча сил ваги всіх частин тіла. Положення загального центра мас тіла визначається тим, де знаходяться центри мас окремих ланок. А це залежить від пози, тобто від того, як частини тіла розташовані одна відносно іншої у просторі.

Центр маси міститься на рівні II крижового хребця, трохи вище від симфізу лобкових кісток і дорівнює 5-10 мм. У чоловіків центр маси на 1-2 см вище, ніж у жінок того самого зросту. Центр маси не може залишатися постійно на одному місці. Він зміщується залежно від віку людини, статі, маси тіла та ін. Протягом доби центр маси також зміщується. Це залежить від функціонального стану серцево-судинної, травної, дихальної систем, а також від положення тіла в просторі.

Силкові характеристики визначають зв'язок дії сили зі зміною руху.

Сила – це міра механічного впливу одного тіла на інше. Розраховується величина сили шляхом множення маси тіла на його прискорення, яке спричинене даною силою.

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

Момент сили (обертальний момент) – це міра обертального впливу сили на тіло. Ефект дії сили при обертальному русі залежить не лише від її величини, але й від місця докладання. Чим довше плече сили – найкоротша відстань від осі обертання до лінії дії сили, тим більший момент сили.

Визначення сили або моменту сили, якщо відома маса або момент інерції, дозволяє визначити лише прискорення, тобто як швидко змінюється швидкість. Потрібно ще знати, наскільки саме зміниться швидкість. Для цього потрібно знати як довго була докладена сила, тобто визначити імпульс сили (або її момент).

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

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

Імпульс моменту сили – це міра впливу моменту сили відносно даної осі за даний проміжок часу (в обертальному русі).

Унаслідок імпульсу як сили, так і моменту сили відбувається зміна руху, яка залежить від інерційних властивостей тіла і проявляється у зміні швидкості (кількість руху, кінетичний момент).

Кількість руху – це міра поступального руху тіла, яка характеризує його здатність передаватися іншому тілу як механічний рух.

Кількість руху тіла може бути визначено, наприклад, по тому, як довго тіло рухається до зупинки під впливом вимірної гальмівної сили.

Кінетичний момент – це міра обертального руху тіла, яка характеризує його здатність передаватися іншому тілу як механічний рух.

Таким чином, до раніше розглянутих кінематичних мір зміни руху (швидкості та прискорення) додаються й динамічні міри зміни руху (кількість руху, кінетичний момент). Разом з мірами дії сили вони розкривають зв'язок сил і руху. Вивчення їх допомагає зрозуміти фізичні основи руху, необхідні для вивчення специфічних особливостей рухових дій людини.

Енергетичні характеристики рухової діяльності людини. Під час рухів людини сили, які докладаються до її тіла виконують роботу й змінюють положення і швидкість ланок тіла, що змінює його енергію. Робота характеризує процес, при якому змінюється енергія системи. Енергія ж характеризує стан системи, який змінюється через роботу. Енергетичні характеристики показують, як змінюються види енергії під час рухів і відбувається власне процес зміни енергії.

До енергетичних характеристик належать: робота сили, потужність сили, механічна енергія тіла (кінетична й потенційна).

Більшість з енергетичних характеристик обчислюється з кінематичних і динамічних характеристик.

Механічна робота являє собою добуток сили на переміщення. Наприклад, для того щоб піднятися по канату на висоту 5 м, хлопчик із масою тіла в 30 кг виконує роботу близько 1500 джоулів:

$$30 \text{ кг} \times 9,8 \text{ м/с}^2 \times 5 \text{ м} \approx 300 \text{ Н} \times 5 \text{ м} = 1500 \text{ Дж.}$$

Якщо цей підйом тривав 10 с, то потужність, яку розвиває хлопчик, становитиме $1500 \text{ Дж} : 10 \text{ с} = 150 \text{ Вт}$. Це значна потужність (згадайте, як яскраво світить така електрична лампочка).

Потужність визначається як частка від ділення величини механічної роботи на час виконання цієї роботи.

Знаючи величину механічної роботи і кількість, наприклад ударів по м'ячу, боксерських ударів або інших ударних дій, можна визначити потужність коротких інтенсивних рухів. Коли механічну роботу визначити важко, можна виміряти силу та швидкість. Так, при ударі класного футболіста по м'ячу сила дії може досягати 400 Н, а швидкість вильоту м'яча 30 м/с. У цьому випадку потужність, що розвивається, становить 12000 Вт. Образно говорячи, при такому ударі на коротку мить запалюється 120 електричних лампочок, по 100 Вт кожна.

Механічна робота, яка виконується людиною, витрачається на збільшення *потенційної* (енергія положення тіла) і *кінетичної* (енергія механічного руху тіла, яка визначає можливість виконати роботу) енергії людського тіла, спортивних снарядів та інших предметів.

Повна енергія тіла, що рухається, згідно з теоремою Кеніга дорівнює сумі його потенційної та кінетичної енергії в поступальному й обертальному рухах.

Дотепер мова йшла про механічну роботу й потужність. Але, як відомо, у форму механічної енергії перетворюється менша частина енергії, що утворюється в м'язах. Велика її частина переходить у тепло.

Подібно тому, як технічні машини (автомобіль, тепловоз) характеризуються коефіцієнтом корисної дії, економічність рухового апарату людини описується аналогічними показниками – кількість метаболічної енергії, швидкість її витрачання.

До енергетичних характеристик також належить: 1) *енергетична вартість метра шляху*, або одиниці корисної роботи. Для того щоб визначити енергетичну вартість бігу, потрібно розділити швидкість затрат метаболічної енергії на швидкість бігу; 2) *пульсова вартість метра шляху*, або одиниці корисної роботи. Наприклад, пульсова вартість ходьби, бігу й інших циклічних локомоцій визначається за формулою:

$$\text{Пульсова вартість} = \frac{ЧСС (\text{уд/хв})}{60 \times \text{швидкість бігу (мм/с)}}$$

Пульсову вартість простіше виміряти, ніж енергетичну. І крім того, у деяких ситуаціях пульсова вартість інформативніша за енергетичну (наприклад, при біомеханічному контролі за руховою діяльністю в умовах спеки).

Біомеханічні характеристики – одне з хрестоматійних питань біомеханіки. Без вільного володіння знаннями про біомеханічні характеристики так само не можна розраховувати на успіх у вивченні та практичному застосуванні біомеханіки, як неможливо читати книгу, не знаючи алфавіту.

Особливості біомеханічних характеристик поступального та обертального рухів. Біомеханічні характеристики описують поступальні й обертальні рухи. *Поступальним* називається такий рух, при якому всі точки тіла переміщуються за однаковими траєкторіями. При *обертальному* русі тіла точки, що рухаються, переміщуються по кругових траєкторіях, центри яких

лежать на осі обертання (осі суглоба). Але в більшості рухів людини поступальний і обертальний компоненти існують одночасно, такі рухи називаються *складними*. Причому руховий апарат людини улаштований так, що всі рухи (у тому числі й поступальні) утворюються з комбінацій обертальних рухів у суглобах.

Точність вимірів. Результат вимірів завжди містить похибку, величина якої тим менша, чим точніший метод вимірювань і вимірювальний прилад. Завданням біомеханічних вимірів є не тільки знаходження вимірюваної величини, але й оцінка допущеної похибки.

Розрізняють абсолютну й відносну похибки вимірювання. *Абсолютною похибкою* називається величина, що дорівнює різниці між результатом вимірювання (A) та істинним значенням вимірюваної величини (A_0) – $\Delta A = A - A_0$. Абсолютна похибка вимірюється в тих же одиницях, що і сама вимірювана величина.

За істинне значення вимірюваної величини звичайно приймають результат, отриманий більш точним методом. Наприклад, при візуальному вимірі темпу бігу істинне його значення може бути знайдене за допомогою відеомагнітофона. Для цього біг записують на відеоплівку, потім відеозапис відтворюють і аналізують.

У практичній роботі часто зручніше користуватися не абсолютною, а *відотною величиною* похибки. Відносна похибка вимірювання буває двох видів – дійсна та зведена.

Дійсною відотною похибкою називається відношення абсолютної похибки до істинного значення вимірюваної величини:

$$A_d = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%.$$

Якщо відомо граничне, або максимально можливе, значення вимірюваної величини (A_m), то поряд з дійсною може бути визначена і *зведена відносна похибка*:

$$A_p = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%.$$

Цю величину звичайно вказують у технічній документації вимірювальної апаратури і називають класом точності.

Наприклад, якщо динамометричний прилад придатний для вимірювання величини сили до 5000 Н і сила вимірюється з абсолютною похибкою 50 Н, то в паспорті приладу вказується клас його точності, в даному випадку 1 % (зведена відносна похибка, обчислена як $(50/5000) 100\%$).

Похибки вимірювання бувають систематичними й випадковими.

Систематичною називається похибка, величина якої не змінюється від вимірювання до вимірювання. Наприклад, показання ваг для вимірювання маси тіла бувають завищені та занижені.

Серед способів усунення систематичної похибки найбільш ефективним є тарування вимірювальної апаратури. *Таруванням* називається нанесення шкали у всьому діапазоні можливих значень вимірюваної величини. Наприклад, при

таруванні динамографічної платформи на неї по черзі поміщають вантажі масою 10 кг, 20 кг, 30 кг і т.д. Виникаючи при цьому рівні електричного сигналу (відповідні величинам сили 100 Н, 200 Н, 300 Н і т. д.) фіксуються на стрічці приладу, що реєструє. Надалі результати вимірів порівнюють з отриманою в такий спосіб тарувальною сіткою.

Окрім систематичних похибок, результати вимірів спотворюються випадковими похибками. *Випадкові похибки* мають місце в силу різноманітних причин, що неможливо передбачити заздалегідь і точно врахувати. Випадкові похибки усунути дуже важко. Однак, скориставшись методами математичної статистики, можна кількісно оцінити величину випадкової похибки та врахувати її при поясненні результатів вимірювань.

Кількісна оцінка техніко-тактичної майстерності. *Техніко-тактичну майстерність*, або рухову культуру, людини обумовлюють: 1) обсяг техніки й тактики; 2) різнобічність техніки і тактики; 3) ефективність і раціональність техніки й тактики; 4) рівень оволодіння технікою та тактикою.

Обсягом техніки називається сукупність технічних прийомів, якими володіє людина. *Обсяг тактики* – сукупність тактичних варіантів, якими володіє спортсмен або спортивний колектив.

Для контролю за обсягом техніки й тактики використовують шкали найменувань.

У кожному виді рухової діяльності свій арсенал технічних прийомів і тактичних варіантів. Обсяг техніки й тактики звичайно становить частину цього арсеналу. Лише майстерно підготовлена людина володіє всіма нюансами техніки й тактики. Але і вона реалізує всі свої техніко-тактичні можливості (загальний обсяг техніки й загальний обсяг тактики) тільки в спокійній обстановці. У стресовій ситуації (наприклад, на спортивних змаганнях) використовується тільки змагальний обсяг техніки й тактики, що складає частину загального обсягу. Наприклад, в арсеналі боротьби самбо кілька сотень прийомів. Але навіть майстер спорту досконало володіє лише десятками з них. На відповідальних змаганнях він застосовує деякі з найбільш відпрацьованих прийомів, а завершує двобій, як правило, одним або двома коронними прийомами.

У практичній діяльності педагог намагається наблизити загальний обсяг техніки й тактики своїх учнів до техніко-тактичного арсеналу даного виду спорту і, крім того, прагне збільшити змагальний обсяг техніки та тактики. Досягається це розучуванням нових прийомів та опануванням уже розучених, у процесі чого підвищується різнобічність, ефективність і рівень володіння технікою й тактикою.

Технічний арсенал кожного виду спорту складається з груп технічних елементів. Наприклад, техніка боротьби включає в себе прийоми боротьби в стійці та в партері. А обсяг техніки гімнаста складається з технічних елементів, виконуваних на різних снарядах. *Техніка* вважається *різнобічною*, якщо в ній однаковою мірою представлені технічні прийоми з різних груп.

Тактика є *різнобічною* тільки в тому випадку, коли вона включає в себе тактичні варіанти з різних груп. Наприклад, перед бігуном або плавцем може стояти одне з двох завдань, вирішення яких вимагає різної тактики:

- 1) показати найкращий для себе результат (тактика рекорду);
- 2) перемогти (стати призером, фіналістом) незалежно від того, який результат буде продемонстровано (тактика перемоги).

Різнобічно підготовленим у тактичному відношенні є той спортсмен, хто зуміє і викластися, встановлюючи рекорд, і перемогти конкретного суперника.

Також і *тактику в ігрових видах спорту* можна тільки тоді назвати *різнобічною*, коли спортсмен або команда однаково добре володіє тактичними варіантами гри в захисті й у нападі.

Подібно до обсягу, різнобічність техніки й тактики поділяється на загальну (демонструється в звичайних умовах) і змагальну (характерна для стресових ситуацій).

Ефективність техніки рухових дій і ефективність тактики рухової діяльності – це ступінь відповідності техніки й тактики конкретної людини обраному критерію оптимальності. Інакше кажучи, найбільш ефективний варіант техніки (і тактики) – *це індивідуально-оптимальний варіант*.

Індивідуально-оптимальні варіанти техніки й тактики дотепер знаходили дослідним шляхом. Сучасні обчислювальні машини дають можливість моделювати рухову діяльність і в наочній формі одержувати зображення оптимальної техніки або тактики.

При біомеханічному контролі за колективами людей, що займаються фізкультурою, ефективність рухової діяльності оцінюється за ступенем близькості техніки й тактики не до індивідуально-оптимального, а до раціонального варіанта. Така ситуація має місце на уроці фізичної культури в школі та при проведенні занять із групами здоров'я.

Раціональним називається той варіант техніки чи тактики, що є найкращим для більшості людей у тій або іншій віковій або кваліфікаційній групі. Наприклад, більшість школярів стрибає у висоту способом «ножиці» або «перекидний». Інший приклад: при бігу на довгі дистанції раціональним є біг з постійною швидкістю, без ривків та уповільнень.

До раціональних варіантів техніки й тактики, як до еталонів, прагнуть при навчанні початківців. Наприклад, лижникам-початківцям розповідають, які способи бігу на лижах доцільно застосовувати на рівнинних ділянках траси, а які – на підйомах різної крутості.

Зрозуміло, що раціональний (тобто найкращий для більшості людей) варіант техніки або тактики може істотно відрізнятись від ефективного, тобто індивідуально-оптимального варіанта. Так, на дистанції 10 км раціональна тактика рівномірного бігу. Але дворазовий олімпійський чемпіон В. Куций спеціальними тренуваннями готував себе до бігу з численними прискореннями і часто перемагав, нав'язуючи суперникам цей нераціональний тактичний варіант.

Ще одним показником, що характеризує рухову майстерність людини, є *оволодіння* технікою й тактикою. Оволодіння технікою й тактикою означає їх стабільність у стандартних умовах і стійкість в ускладнених умовах.

Оволодіння кількісно оцінюється за зниженням ефективності техніки й тактики в ускладнених умовах порівняно з комфортними. Наприклад,

ефективність техніки баскетболіста можна оцінити, порівнявши процент влучення в кошик на тренуванні і під час змагань. Чим ближче результат до 100% показника, тим досконалішим вважається володіння технікою.

Відомі й інші приклади високого освоєння техніки й тактики. Так, збереглися кінокадри бігу В. Веденіна, де цей чудовий майстер до останніх метрів дистанції демонструє філігранну техніку лижного ходу, а відразу після фінішу падає на руки товаришів через крайнє стомлення.

Але далеко не завжди освоєння буває високим. На жаль, занадто часто футболісти, що на тренуваннях демонструють досить досконалу техніку володіння м'ячем, у відповідальних матчах не влучають у порожні ворота. А колективна гра, награні тактичні комбінації порушуються при зустрічі із сильним суперником.

Як і ефективність, освоєння техніки й тактики в більшості випадків вимірюється за шкалами відношень.

Тестування та педагогічне оцінювання в біомеханіці. У перекладі з англійської *test* означає «спроба», «іспит». У біомеханіці тестуванням називається контрольне випробування людини, здійснюване для визначення її технічної та тактичної підготовленості. Можна сказати і так: *тестування – це непряме вимірювання*.

Вимірювання заміняють тестуванням у двох випадках: по-перше, коли досліджуваний об'єкт недоступний для прямого вимірювання; по-друге, коли досліджуване явище не зовсім конкретне.

Наприклад, неможливо визначити топографію працюючих м'язів і м'язову силу борця безпосередньо під час сутички. Тому застосовують непрямі виміри в тренувальних або лабораторних умовах.

Інший приклад: правильно говорити про тестування рухових якостей, ніж про їхній вимір. Так, у підсумку вимірів, описаних у попередніх розділах, одержують показники, що лише побічно характеризують рухові якості, спортивно-технічну та спортивно-тактичну майстерність.

Щоб педагог зміг використовувати результати тестування у своїй практичній діяльності, їх піддають педагогічному оцінюванню, тобто ставлять оцінку, виражаючи її в очках або балах. Для цього існують спеціальні таблиці та шкали педагогічних оцінок.

Якість тесту. Точність тестування оцінюється інакше, ніж точність вимірювання. При оцінці точності вимірювання результат вимірювання зіставляють з результатом, отриманим більш точним методом. При тестуванні можливість порівняння отриманих результатів з більш точними найчастіше відсутня. Тому потрібно перевіряти не результати тестування, а *якість тесту*. І перевірку цю доцільно здійснювати ще до початку тестування.

Якість тесту залежить від його інформативності й надійності.

Інформативність показує, наскільки тест придатний для оцінки вимірюваного показника (наприклад, рухова якість, рівень технічної підготовленості тощо).

Інформативність іноді називають валідністю (від англійського *valid* — діючий, що має силу).

Розрізняють інформативність змістову (логічну) й емпіричну (обумовлену експериментально). *Змістова інформативність* визначається «логічно», із розуміння здорового глузду. Наприклад, висота стрибка – інформативний показник при контролі за технічною майстерністю гімнастки, а колір очей – неінформативний. Але нерідко для визначення емпіричної інформативності необхідні методи, які ґрунтуються на обчисленні коефіцієнта інформативності.

Коефіцієнт інформативності – це коефіцієнт кореляції між результатами тестування й результатами вимірювання критерію інформативності. *Критерієм інформативності* може слугувати: 1) результат, показаний на спортивних змаганнях; 2) спортивна кваліфікація; 3) експертна оцінка тієї якості, яка тестується.

При біомеханічному контролі варто застосовувати тільки ті тести, що мають високу інформативність.

Розглянемо приклад із біомеханічного контролю в художній гімнастиці. Спортсменки виконували стрибок «у шпагат». Якість стрибків оцінювалася експертами і водночас вимірювалися біомеханічні характеристики: сила відштовхування, тривалість фази опори і тривалість фази польоту. Виявилось, що найбільшою інформативністю володіє величина максимальної сили відштовхування – чим сильніше відштовхується спортсменка, тим (у середньому) вище якість стрибка. Коефіцієнт інформативності цього показника дорівнює 0,70. Така інформативність у теорії тестів оцінюється як задовільна. Інформативність вважається відмінною, якщо коефіцієнт інформативності дорівнює 0,85 і вище.

Надійність тесту – це ступінь збігу результатів багаторазового тестування тих самих людей у тих самих умовах.

Як і інформативність, надійність оцінюється за величиною коефіцієнта кореляції. *Коефіцієнтом надійності* є коефіцієнт кореляції між двома рядами результатів, отриманих під час першого та другого тестування групи людей. Надійність вважається:

- відмінною, якщо коефіцієнт надійності більше або дорівнює 0,95;
- хорошою, коли $0,90 \leq r_{tt} < 0,95$;
- задовільною при $0,80 \leq r_{tt} < 0,90$.

Звідси назва найпростішого способу перевірки надійності тесту – методу повторного тестування (або test-re-test методу).

Різновидами надійності є відтворюваність і об'єктивність. Методом повторного тестування перевіряється *відтворюваність* результатів тестування. Відтворюваність тесту висока, якщо при другому тестуванні спортсмени ранжуються так само, як і при першому.

Об'єктивністю (або узгодженістю) тесту називається ступінь незалежності одержуваних результатів від індивідуальних властивостей людини, що здійснює тестування. Чим простіше процедура тестування, тим вище об'єктивність тесту. І навпаки, об'єктивність тесту знижується в міру підвищення вимог до кваліфікації людини, що проводить тестування.

Так, висока об'єктивність тестів навчальної програми із фізичного виховання, для проведення яких досить секундоміра і рулетки. І значно нижче,

наприклад, об'єктивність тестів, у яких визначається економічність техніки й тактики, оскільки в цьому випадку потрібно використовувати досить складні методи вимірювання енергетичних витрат.

Педагогічне оцінювання. Педагогічне оцінювання – завершальний етап процедури тестування. Воно необхідне, оскільки що на кінцеву оцінку результатів тестування впливають стать і вік людини, стан її здоров'я, температура повітря та інші показники, що характеризують умови, в яких здійснюється біомеханічний контроль.

Формування *шкали педагогічних оцінок* – справа надзвичайно важка. Припустимо, потрібно розробити шкалу для оцінки результатів тестування дітей, підлітків, юнаків віком 10-18 років. У кожну з восьми вікових груп повинне ввійти не менш 100-200 осіб. При цьому кожен випробуваний повинен виконати вправу не менше двох разів. Легко підрахувати, що загальне число вимірів складе кілька тисяч, і якою б простою не була вправа, збір необхідних даних та їх обробка потребуватимуть багато часу та зусиль. Витрати, однак, окупаються перевагами отриманої шкали, що відноситься до класу так званих перцентильних шкал (від англійського percent – відсоток).

При використанні перцентильної шкали число балів, отриманих при тестуванні, показує, який відсоток своїх однолітків випередив випробуваний. Так, у шкалі **на рис. 25 кращий** результат у дітей віком 10 років дорівнює 26,5м. Інакше кажучи, результат 26,5 м або нижче показали 100% випробуваних. А дитина, що показала, наприклад, результат 8,5 м, випередила 10% дітей цього віку.

Найважливішим параметром шкали педагогічних оцінок є її форма. Перцентильні шкали мають сигмовидну форму. Інші шкали мають іншу форму. Найбільш поширеними є пропорційні, регресуючі та прогресуючі шкали оцінок. Регресуючі шкали визначають найбільший приріст оцінки за підвищення результату в області низьких результатів, тим самим стимулюється масовість спорту. Прогресуючі шкали, навпаки, стимулюють прагнення спортсменів до найвищих досягнень. У пропорційній шкалі заохочення за приріст майстерності не залежить від рівня показаних результатів.

Тестування рухових якостей. Опис методів тестування, застосовуваних для біомеханічного контролю у фізичному вихованні і спорті, почнемо з тестів, що дозволяють оцінити рівень розвитку рухових якостей. На цій основі вчитель фізичної культури або тренер може обирати з числа відомих або самостійно створювати тести, необхідні йому в практичній роботі.

Біомеханічні тести витривалості дозволяють установити, який обсяг роботи людина може виконати і як довго може працювати без зниження ефективності рухової діяльності. Наприклад, при бігу з постійною швидкістю настає момент, коли людина не може підтримати вихідну довжину кроку (компенсоване стомлення), а через ще деякий час вона змушена знизити швидкість (декомпенсоване стомлення). Чим витриваліша людина, тим довше не настає стомлення.

Замість швидкості можна програмувати довжину дистанції та вимірювати мінімальний час, за який людина виконує завдання. Цей тест аналогічний змагальній вправі в циклічних видах спорту.

Є і третій варіант тесту, коли обмежується тривалість вправи та вимірюється подолана відстань. Відомо кілька різновидів цього тесту: 60-хвилинний біговий тест, 7-хвилинний тест для веслярів, різні варіанти тесту Купера (біговий, плавальний тощо).

Згідно з *правилом оборотності рухових завдань* усі три різновиди тесту на витривалість еквівалентні, тобто при тестуванні групи людей найбільш витривалі в одному з цих трьох тестів будуть найбільш витривалими й у двох інших.

Для тестування витривалості використовують не тільки циклічні локомоції, але й інші фізичні вправи, тому швидкість пересування – окремий випадок інтенсивності м'язової роботи, а подолана відстань – окремий випадок обсягу виконаної роботи.

Тестування силових якостей здійснюється або у вправах статичного характеру, або в таких загальноорозвивальних вправах, де виконується локальна або регіональна м'язова робота. У першому випадку мірою силових можливостей слугує величина сили, що проявляється, і тривалість її утримування. В другому випадку визначається, скільки разів поспіль людина може стиснути або розтягти пружину динамометра, підтягтися, віджатися тощо. Конкретних вправ, у яких оцінюються силові якості, дуже багато. Це не дивно, адже руховий апарат людини містить у собі близько 600 м'язів, що по-різному взаємодіють у різних вправах.

Сила, що проявляється людиною, залежить від її пози, від кутів у суглобах. Вплив суглобового кута на силу, що виявляється, ілюструє **рис. 28**. Зображений на ньому графік показує, що, наприклад, оптимальний кут у ліктьовому суглобі наблизений до 80°. У цьому випадку кут між напрямком тяги двоголового м'яза плеча і кістками передпліччя наблизений до 90°.

Проте вимірювання сили можна проводити при будь-якій величині суглобного кута. Важливо лише, щоб він завжди був тим самим.

Загальноприйнятим тестом для оцінювання силових якостей є підтягування на перекладині. Але далеко не кожний може підтягнутися на високій перекладині. Тому корисним є тест, у якому людина виконує якомога більшу кількість підтягувань на низькій перекладині, і відповідні педагогічні шкали. З тією же метою можна використовувати «віджимання» та інші загальнодоступні вправи.

Тести швидкісних якостей поділяються на три групи. При тестуванні людина повинна продемонструвати:

- 1) найменший латентний час рухової реакції, тобто часовий інтервал між світловим або звуковим сигналом («стимулом») і початком рухової дії;
- 2) найбільшу швидкість одиночного руху (рукою, ногою тощо);
- 3) найбільший темп циклічних рухів (наприклад, боксерських ударів) або найбільшу швидкість пересування (наприклад, у спринтерському бігу).

У кожній групі величезна кількість тестів. Який з них обрати? Відповідати на це питання стало легше після того, як було визначено, що результати тестів однієї й тієї ж групи взаємозалежні, а результати тестів різних груп не пов'язані між собою. Наприклад, людина може з великим запізненням реагувати на сигнал стартера, але розвивати високу швидкість на дистанції. А в іншій людині може бути висока швидкість одиничного руху, але порівняно низька швидкість бігу. Але якщо хтось демонструє високу швидкість одиничного руху рукою, то і за швидкістю одиничного руху ногою він випередить багатьох своїх однолітків.

Практична порада, що випливає зі сказаного, полягає в тому, що при тестуванні швидкісних якостей досить виміряти три показники (по одному з кожної групи).

Тестування швидкісно-силових якостей здійснюється у вправах, що дозволяють продемонструвати водночас і силу, і швидкість. Для цього використовуються стрибки у висоту та довжину з місця.

Навіть такий простий показник швидкісно-силових якостей, як висота вертикального стрибка з місця, становить велику користь. Так, Каунсилмен пропонує використовувати його для виявлення природжених спринтерів і стаєрів у плаванні. Плавцям-чоловікам, що стрибають у висоту з місця на 41 см і нижче, він рекомендує спеціалізуватися на стаєрських дистанціях. А тим, хто стрибає вище 55 см, – на спринтерських.

Для більш глибокого аналізу швидкісно-силових якостей реєструють динамограму (графік зміни у часі сили, яка виявляється) стрибка або іншої «вибухової» вправи й обчислюють градієнт сили (тобто відношення збільшення сили до інтервалу часу, за який це збільшення відбулося).

Градієнт сили неоднаковий на різних ділянках динамограми. Звичайно на початку руху він вищий, ніж наприкінці. Тому обчислюють *швидкісно-силовий індекс* – частку, що є результатом ділення різниці між максимальним і мінімальним значеннями сили, що виявляється, на величину часового інтервалу, за який ця зміна відбулася. Чим вище швидкісно-силова підготовленість, тим більший швидкісно-силовий індекс, оскільки велика сила досягається за менший час.

При виконанні багатьох фізичних вправ доводиться долати силу ваги власного тіла. У цих випадках найбільш інформативним показником швидкісно-силових якостей буде не швидкісно-силовий індекс, а *коефіцієнт реактивності*. *Коефіцієнт реактивності* дорівнює швидкісно-силовому індексу, поділеному на вагу тіла.

Тестування гнучкості найчастіше пов'язане з виміром кутів між ланками тіла. Для цього використовують гоніометри (кутоміри). Існують й інші методи контролю за гнучкістю.

Гнучкість займає особливе положення серед рухових якостей. Тим, хто займається в групах здоров'я і керує ними, особливо важливо пам'ятати, що «втрата гнучкості рівносильна початку старості». Для щоденного оцінки гнучкості рекомендуються нахили вперед із прямими ногами, що виконуються на сходинці, до якої вертикально приставлена лінійка із сантиметровими

поділками. Гнучкість оцінюється відстанню від кінчиків пальців руки до опори. 1 см на лінійці відповідає одному балу. Нормальною вважається гнучкість, оцінювана в нуль балів; у цьому випадку випробуваний дістає кінчиками пальців до опори. Якщо, не згинаючи колін, вдасться дотягтися ще нижче, гнучкість оцінюється тією або іншою позитивною кількістю балів. У людини, яка не дотягнулась до опори, оцінка гнучкості негативна. Наприклад, мінус 25 балів одержує той, у кого в положенні нахилу кінці пальців на 25 см вище опори.

Розрізняють активну й пасивну гнучкість. Активну гнучкість людина демонструє сама, без сторонньої допомоги. Пасивна гнучкість виявляється при додаванні зовнішньої сили. Зрозуміло, що пасивна гнучкість вища за активну.

Автоматизація біомеханічного контролю. Біомеханічний контроль можна здійснювати по-різному. Найпростіше – спостерігати й записувати результати спостережень. Але при цьому багато чого не буде враховано, а отже, ніхто не зможе поручитися за точність отриманих результатів.

Більш плідотворним, хоч і більш складним, є автоматизований контроль. *Сьогодні процес «живого споглядання», спостереження за об'єктом дослідження немислимий без використання вимірювальної апаратури.*

Усі вимірювальні системи в біомеханіці містять у собі датчики біомеханічних характеристик з підсилювачами й перетворювачами, канал зв'язку й обладнання, що реєструє. Останніми роками все частіше використовують запам'ятовувальне й обчислювальне обладнання, що суттєво розширює можливості педагога. Для підвищення точності біомеханічного контролю залучаються всі передові можливості інженерної думки: радіотелеметрія, лазери, ультразвук, інфрачервоне випромінювання, телебачення, відеомагнітофони, обчислювальна техніка.

? Питання для контролю

1. Розкрийте сутність біомеханічного контролю.
2. Що таке вимірювання?
3. Що таке шкала вимірювань?
4. Назвіть шкали вимірювань, які використовуються у фізичному вихованні та спорті.
5. Що включає в себе система відліку відстані та часу?
6. Поясніть призначення кінематичних характеристик.
7. Що визначають просторові характеристики?
8. Що визначають часові характеристики?
9. Що визначають просторово-часові характеристики?
10. Поясніть призначення динамічних характеристик.
11. Що таке інерційні характеристики?
12. Дайте визначення таких понять, як «інерція», «інертність», «маса тіла», «радіус інерції», «момент інерції тіла», «центр мас і ваги». Що вони характеризують?
13. Що таке силові характеристики?

14. Дайте визначення таких понять, як «сила», «момент сили», «плече сили», «імпульс сили», «імпульс моменту сили», «кількість руху», «кінетичний момент». Що вони характеризують?

15. Поясніть призначення енергетичних характеристик.

16. Дайте визначення таких понять, як «робота сили», «потужність сили», «потенційна і кінетична енергія», «повна енергія тіла», «енергетична вартість метра шляху», «пульсова вартість метра шляху». Що вони характеризують?

17. У чому полягає відмінність між біомеханічними характеристиками поступального й обертового рухів?

18. У чому полягає кількісна оцінка техніко-тактичної майстерності?

19. Що таке тест? Як визначається якість тесту?

20. Назвіть шкали педагогічного оцінювання у фізичному вихованні та спорті.

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Основи біомеханічного контролю».

2. Навести приклади тестів, які дозволяють оцінити рівень розвитку фізичних якостей у вашому виді спорту.

3. Побудувати біокінематичну схему будь-якої фізичної вправи з вашого виду спорту.

4. Побудувати лінійну та кругову хронограму будь-якої фізичної вправи з вашого виду спорту.

Розділ 2. Руховий апарат людини. Біомеханічні основи рухових якостей. Диференціальна та часткова біомеханіка

Тема 3. Руховий апарат людини

Руховий апарат людини як біомеханічна система, її склад та структура. Руховий апарат людини – це саморушійний механізм, що складається з 600 м'язів, 200 кісток, декількох сотень сухожиль. Ці цифри приблизні, оскільки деякі кістки (наприклад, кістки хребетного стовпа, грудної клітки) зрослися, а багато м'язів мають декілька голівок (наприклад, двоголовий м'яз плеча, чотириголовий м'яз стегна) або поділяються на безліч пучків (дельтоподібний, великий грудний, прямий м'яз живота, найширший м'яз спини і багато інших). Вважається, що рухову діяльність людини за складністю можна порівняти з людським мозком – найбільш довершеним утворенням природи. І подібно до того, як вивчення мозку починають з дослідження його елементів (нейронів), так і в біомеханіці насамперед вивчають властивості елементів рухового апарата.

Руховий апарат складається з ланок. *Ланкою* називається частина тіла, розташована між двома сусідніми суглобами чи між суглобом і дистальним кінцем. Наприклад, ланками тіла є кисть, передпліччя, плече, голова і т.д.

У людському тілі близько 70 ланок. Для вирішення більшості практичних завдань достатньо 15-ланкової моделі людського тіла. Зрозуміло, що в 15-ланковій моделі деякі ланки складаються з декількох елементарних ланок. Тому такі укрупнені ланки доцільно називати *сегментами*.

Знаючи, які маси й моменти інерції ланок тіла і де розташовані їх центри мас, можна вирішити багато важливих практичних завдань, зокрема:

- визначити кількість руху, рівну добутку маси тіла на його лінійну швидкість ($m*v$);

- визначити кінетичний момент, рівний добутку моменту інерції тіла на кутову швидкість ($J\omega$); при цьому потрібно враховувати, що величини моменту інерції щодо різних осей неоднакові;

- оцінити, наскільки легко або важко керувати швидкістю тіла або окремої ланки;

- визначити ступінь стійкості тіла тощо.

Геометрія мас тіла людини. Геометрією мас називається розподіл мас між ланками тіла та всередині них. Геометрія мас тіла людини описується мас-інерційними характеристиками. Найважливіші з них – маса, радіус інерції, момент інерції та координати центру мас.

Маса (m) – це кількість речовини (в кілограмах), що міститься в тілі або окремій ланці. Маса є кількісною мірою інертності тіла відносно до діючої на нього сили.

Момент інерції – це кількісна міра інертності тіла при обертальному русі, що визначається множенням маси тіла й квадрата радіуса інерції.

Радіус інерції – це середня відстань від осі обертання (наприклад, від осі суглоба) до матеріальних точок тіла.

Центром мас називається точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, що зумовлюють поступальний рух тіла та не викликають його обертання. В полі гравітації (коли діє сила тяжіння) центр мас збігається з центром ваги.

Центр тяжіння – це точка, до якої прикладена рівнодіюча сил тяжіння всіх частин тіла.

Положення загального центра мас тіла або загального центра ваги тіла (ЗЦГТ) визначається тим, де знаходяться центри мас окремих ланок.

Механічні властивості кісток і суглобів. Механічні властивості кісток визначаються їхніми різноманітними функціями. Крім рухової, вони виконують захисну й опорну функції. Кістки черепа, грудної клітки й таза захищають внутрішні органи. Опорну функцію виконують кістки кінцівок і хребта.

Кістки ніг і рук довгасті та трубчасті. Трубчаста будова кістки забезпечує протидію значним навантаженням і разом з тим у 2-2,5 рази знижує їх масу та суттєво зменшує моменти інерції.

Розрізняють чотири види механічного впливу на кістку: розтягування, стискання, вигинання і скручування.

При розтягуванні кістка витримує напругу $150 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$. Це в 30 разів більше, ніж тиск, що руйнує цеглу. Визначено, що міцність кістки на розтягання вище, ніж у дуба, і майже дорівнює міцності чавуну.

При стисканні міцність кістки ще вища. Так, найбільш масивна кістка – велика стегнова – витримує вагу 27 чоловік. Гранична сила стискання становить $16000\text{-}18000 \text{ Н}$.

При вигинанні кістки людини також витримують значні навантаження. Наприклад, сили 12000 Н (1,2 т) недостатньо, щоб зламати стегнову кістку. Подібний вид деформації широко зустрічається й у повсякденному житті, і в спортивній практиці. Наприклад, сегменти верхньої кінцівки деформуються на вигин при утриманні положення «хрест» у висі на кільцях.

При рухах кістки не тільки розтягуються, стискаються і згинаються, але також і скручуються. Наприклад, при ходьбі людини моменти сил, що скручують, можуть досягти $15 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$. Ця величина в кілька разів менша за межу міцності кістки. Дійсно, для руйнування, наприклад, великої стегнової кістки момент сили, що скручує, має досягти $30\text{-}140 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$.

Спортсмени можуть витримувати більші механічні навантаження, тому що регулярні тренування призводять до робочої гіпертрофії кістки. Відомо, що у штангістів потовщуються кістки ніг і хребта, у футболістів – зовнішня частина кістки пліснни, у тенісистів – кістки передпліччя тощо.

Механічні властивості суглобів залежать від їхньої будови. Суглобова поверхня зволожується синовіальною рідиною, яка сприяє зменшенню коефіцієнта тертя в суглобі приблизно в 20 разів. При зниженні навантаження на суглоб синовіальна рідина поглинається губчатими утвореннями суглоба, а при збільшенні навантаження виділяється для змочування поверхні суглоба та зменшення коефіцієнта тертя.

Ще більші сили діють на колінний суглоб, при масі тіла 90 кг вони досягають: при ходьбі 7000 Н , при бігу 20000 Н .

Міцність суглобів, як і міцність кістки, небезмежна. Так, тиск у суглобному хрящі не повинен перевищувати $350 \text{ Н} \cdot \text{см}^{-2}$. При більш високому тиску припиняється змащення суглобного хряща і зростає небезпека його механічного стирання. Це потрібно враховувати особливо при проведенні туристичних походів (коли людина несе важкий вантаж) і при організації оздоровчих занять з людьми середнього та літнього віку. Адже відомо, що з віком змазування суглобної сумки стає меншим.

Біокінематичні ланцюги, їх ступені свободи. Біокінематична пара – це рухливе (кінематичне) з'єднання двох кісткових ланок, можливості рухів у якому визначаються його будовою та переважним впливом м'язів.

Біокінематичний ланцюг – це послідовне або розгалужене з'єднання ряду біокінематичних пар.

Ланцюги бувають замкнуті й незамкнуті. У незамкнутих ланцюгах є остання «вільна» ланка, що входить лише в одну пару. У замкнутих ланцюгах немає вільної кінцевої ланки, кожна ланка входить у дві пари.

Число ступенів свободи ланки відповідає кількості його незалежних переміщень (лінійних і кутових).

Якщо на фізичне тіло не накладено ніяких обмежень (зв'язків), воно може рухатися у всіх трьох вимірах, тобто відносно трьох взаємно перпендикулярних осей (поступально), а також навколо них (обертально). Отже, у незакріпленого тіла налічується шість ступенів свободи руху.

Якщо тіло закріпити в одній точці, то воно матиме три ступені свободи (тільки обертальні). Прикладом подібних обмежень може слугувати кулястий суглоб.

Закріплення тіла в двох точках відповідає фіксації його на осі, що проходить через ці точки. Тіло має один ступінь свободи і може виконувати обертання навколо осі, що проходить через точки закріплення. Приклад - одновісний суглоб.

Закріплення трьох точок тіла, які не лежать на одній прямій, повністю позбавляє тіло свободи руху. Отже, таке тіло не має ступенів свободи.

Кількість ступенів свободи в біокінематичних ланцюгах складається зі ступенів свободи біокінематичних пар, а отже, і ланок, що входять в цей ланцюг.

Число ступенів свободи в біокінематичних ланцюгах визначається числом біокінематичних пар, що входять у ланцюг, його будовою та керуючим впливом м'язів.

Ланки тіла як важелі першого та другого роду. Кістки як тверді ланки, що з'єднані рухомо, утворюють основу біокінематичної ланки. Прикладені сили діють на ланки як важелі й маятники. Як правило, ланки зберігають рух під впливом докладених сил, як маятники.

Рухи кісток підпорядковані законам механіки, їх можна розглядати як рухи *важелів*. У кожному важелі є два плеча. До одного з них прикладається сила маси тіла, до іншого – сила м'язової тяги. Тому перше плече дістало назву плеча сили маси тіла, а друге – сили м'язової тяги.

Як і в механіці, у живому організмі розрізняють важелі *першого* та *другого* роду. Важіль *першого* роду (важіль *рівноваги*) характеризується тим, що жорстке, тобто негнучке тіло (наприклад, кістка чи кілька кісток, які беруть участь в будові цілісного кісткового утворення – череп, таз) в одній своїй точці має місце опори, по боках від якої прикладено дві сили, що діють в одному напрямку – сила м'язової тяги й сила тяжіння.

Важіль *другого* роду (важіль *сили* та важіль *швидкості*) – це таке жорстке тіло (наприклад, кістка або система кісток), яке в одній своїй точці має місце опори, а до двох інших його точок, що знаходяться з одного боку від місця опори, прикладені сили в різних напрямках.

Важіль *сили* (наприклад, стопа) – сила м'язової тяги прикладена далі від місця опори, ніж інша сила – сила тяжіння, тобто плече сили м'язової тяги більше від плеча сили тяжіння.

Важіль *швидкості* (наприклад, плече або передпліччя) – сила м'язової тяги прикладена ближче до місця опори, ніж сила тяжіння, тобто плече сили м'язової тяги менше від плеча сили тяжіння.

Рухи у важелі сили мають порівняно невеликий розмах, а в важелі швидкості – великий. Зате важіль сили має перевагу в силі.

При різних рухах людина намагається поставити себе в такі умови, щоб момент обертання сили її м'язів був найбільшим, а момент опору – найменшим. Зокрема, це правило можна використовувати для пояснення різних прийомів, що застосовуються у спортивній боротьбі.

Момент обертання сили (або обертовий момент) дорівнює добутку сили на плече: $M = F \cdot d$, де d – плече сили, тобто це найкоротша відстань від осі обертання до лінії дії сили.

Умови рівноваги важеля: рівність обертальних моментів двох сил – сили м'язової тяги й сили тяжіння.

$M_{\text{м'яз. тяги}} = M_{\text{тяж.}}$

$F_{\text{м'яз. тяги}} \cdot d_{\text{м'яз. тяги}} = F_{\text{тяж.}} \cdot d_{\text{тяж.}}$

Руки й ноги людини можуть здійснювати коливальні рухи. Це робить наші кінцівки схожими на *маятники*. Найменші витрати енергії на переміщення кінцівок відзначаються тоді, коли частота рухів на 20-30% більша за частоту власних коливань руки чи ноги.

Ці 20-30% пояснюються тим, що нога не є одноланковим циліндром, а складається з трьох сегментів (стегна, гомілки та стопи). *Зверніть увагу: власна частота коливань не залежить від маси хитного тіла, але зменшується при збільшенні довжини маятника.*

Резонансна (тобто наближена до власної частоти коливань руки чи ноги), частота кроків або гребків при ходьбі, бігу, плаванні мінімізує витрати енергії.

Помічено, що при найбільш економічному поєднанні частоти й довжини кроків або гребків людина демонструє істотно підвищену фізичну працездатність. Це корисно враховувати не тільки при тренуванні спортсменів, але і при проведенні фізкультурних занять у школах і групах здоров'я.

Висока економічність рухів, які виконуються з резонансною частотою, пояснюється тим, що коливальні рухи верхніх і нижніх кінцівок супроводжуються *рекуперацією механічної енергії* (від лат. *recuperatio* – отримання назад, повернення або повторне використання). Найпростіша форма рекуперації – перехід потенційної енергії в кінетичну, потім знову в потенційну і т.д. При резонансній частоті рухів такі перетворення здійснюються з мінімальними втратами енергії. Це означає, що метаболічна енергія, яка один раз утворилася в м'язових клітинах і перейшла у форму механічної енергії, може використовуватися багаторазово. Тому потреба в утворенні метаболічної енергії зменшується.

Завдяки рекуперації енергії виконання циклічних рухів із темпом, близьким до резонансної частоти коливань кінцівок, – ефективний спосіб збереження і накопичення енергії. Резонансні коливання сприяють концентрації енергії й у світі неживої природи вони іноді небезпечні. Наприклад, відомі випадки руйнування моста, коли по ньому йшов військовий підрозділ, чітко відбиваючи крок. Тому по мосту потрібно йти не в ногу.

Біомеханічні властивості м'язів. Біомеханічними властивостями м'язів є скоротливість, пружність, твердість, міцність і релаксація.

Скоротливість – це здатність м'яза скорочуватися при збудженні. У результаті скорочення відбувається укорочення м'яза і виникає сила тяги.

Для пояснення механічних властивостей м'яза доцільно скористатись моделлю, у якій з'єднувально-тканинні утворення (рівнобіжний пружний компонент) мають механічний аналог у вигляді пружини. До з'єднувально-тканинних утворень відносяться: оболонка м'язових волокон та їх пучків, сарколема і фасції.

При скороченні м'яза утворюються поперечні актино-міозинові містки, від кількості яких залежить сила скорочення м'яза. Актино-міозинові містки скорочувального компонента зображуються на моделі у вигляді циліндра, у якому рухається поршень.

Аналогом послідовного пружного компонента є пружина, послідовно з'єднана з циліндром. Вона моделює сухожилля й ті міофібрили (скорочувальні нитки, що формують м'яз), які у даний момент не беруть участі у скороченні.

Модель відображає *пружні властивості м'яза* – це здатність м'яза відновлювати первісну довжину після усунення деформуючої сили. Існування пружних властивостей пояснюється тим, що при розтягуванні у м'язі виникає енергія пружної деформації. Тут м'яз можна порівняти з пружиною або з гумовим джгутом: чим сильніше розтягнута пружина, тим більша енергія в ній збережена. Це явище широко використовується у спортивній практиці. Наприклад, у хлисті попереднє розтягування м'язів призведе до розтягування і рівнобіжного та послідовного пружного компонента. У них запасується енергія пружної деформації, що у фінальній частині руху (метання, штовхання тощо) перетвориться в енергію руху (кінетичну енергію).

За законом Гука, для м'яза його подовження нелінійно залежить від величини сили, що розтягує. Ця крива (її називають «сила-довжина») є однією із характерних залежностей, що описують закономірності м'язового скорочення. Іншу характерну залежність «сила-швидкість» називають на честь відомого англійського фізіолога кривою Хілла. За характеристичними кривими визначають твердість і міцність м'яза.

Твердість – це здатність протидіяти силам, що прикладаються. Коефіцієнт твердості визначається як відношення збільшення сили, що відновлює силу, до збільшення довжини м'яза під дією зовнішньої сили: $K_{ж} = \Delta F / \Delta l$ (Н/м).

Величина, зворотна твердості, називається *піддатливістю* м'яза. Коефіцієнт піддатливості: $K_{п} = \Delta l / \Delta F$ (м/Н) – показує, наскільки подовжиться м'яз при зміні зовнішньої сили на одиницю.

Міцність м'яза оцінюється величиною сили, яка його розтягує, при якій відбувається розрив м'яза. Граничне значення сили, що розтягує, визначається за кривою Хілла. Сила, при якій відбувається розрив м'яза (в перерахунку на 1 мм² його поперечного перерізу), складає від 0,1 до 0,3 Н·мм². Для порівняння: межа міцності сухожилля близько 50 Н·мм², а фасцій близько 14 Н·мм². Виникає питання: чому іноді рветься сухожилля, а м'яз залишається цілим? Очевидно, це може відбуватися при дуже швидких рухах: м'яз встигає здійснити амортизацію, а сухожилля ні.

Релаксація – властивість м'яза, що виявляється в поступовому зменшенні сили тяги при постійній довжині м'яза. Релаксація виявляється, наприклад, при

стрибку з підвищення і наступному стрибку вгору, якщо під час глибокого присіду людина робить паузу. Чим пауза довша, тим сила відштовхування і висота вистрибування менші.

Режими скорочення та різновиди роботи м'язів. Групові взаємодії м'язів. М'язи, прикріплені сухожиллями до кісток, функціонують в ізометричному й анізометричному режимах.

При ізометричному (утримувальному) режимі довжина м'яза не змінюється (від грец. «ізо» – рівний, «метр» – довжина). Наприклад, в режимі ізометричного скорочення працюють м'язи людини, яка підтягнулася та утримує своє тіло в цьому положенні.

При анізометричному скороченні м'яз укорочується або подовжується. В анізометричному режимі функціонують м'язи бігуна, плавця, велосипедиста тощо.

Анізометричний режим має два різновиди. У долаючому (міометричному) режимі м'яз укорочується в результаті скорочення. А в поступливому (пліометричному) режимі м'яз розтягується зовнішньою силою. Наприклад, литковий м'яз спринтера функціонує в режимі, що уступає, при взаємодії ноги з опорою у фазі амортизації, а в долаючому режимі - у фазі відштовхування.

Ізометричному режиму скорочення м'язів відповідає статичний режим роботи м'язів. Він характеризується відносно постійною довжиною й напруженням м'язів при незмінній позі та збереженні положення тіла.

Анізометричному режиму скорочення м'язів відповідає динамічний режим роботи м'язів. Він характеризується участю м'язів (зі зміною їх довжини і напруження) в активних рухах, що забезпечує виконання механічної роботи й рухового завдання.

Різновидами групової взаємодії м'язів є синергізм та антагонізм.

М'язи-синергісти переміщують ланки тіла в одному напрямку. Наприклад, у згинанні руки в ліктьовому суглобі беруть участь двоголовий м'яз плеча, плечовий і плечопроменевий м'язи тощо. Результатом синергетичної взаємодії м'язів слугує збільшення результуючої сили дії. При наявності травми, а також при локальній втомі будь-якого м'яза його синергісти забезпечують виконання рухової дії.

М'язи-антагоністи (на противагу м'язам-синергістам) характеризуються різноспрямованою дією. Так, якщо один з них виконує долаючу роботу, то інший – поступливу.

Саме м'язи-антагоністи забезпечують високу точність рухових дій і запобігають травмам.

? Питання для контролю

1. Розкрийте сутність поняття «руховий апарат людини».
2. З яких основних елементів складається руховий апарат людини?
3. Що таке біокінематичні ланцюги?
4. Що таке геометрія мас тіла людини?

5. Поясніть, яке практичне значення має визначення особливостей біолонок людини.
6. Розкрийте сутність поняття «ступінь свободи рухів».
7. Яким чином розглядають ланки тіла людини як важелі та маятники?
8. Що називається важелем першого роду?
9. Що називається важелем другого роду?
10. Чим відрізняються важіль сили та важіль швидкості?
11. Розкрийте сутність резонансної частоти та рекуперації механічної енергії.
12. Назвіть біомеханічні якості м'язів.
13. Поясніть, чим обумовлені механічні властивості кісток і суглобів.
14. Назвіть режими скорочення та відповідні їм різновиди роботи м'язів.

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Руховий апарат людини».
2. Виконати антропометричні вимірювання біолонок свого тіла.
3. Розрахувати маси біолонок свого тіла декількома способами.

Тема 4. Біомеханічні основи рухових якостей

Для того щоб підвищити витривалість, швидкість, гнучкість, спритність і силу, недостатньо реєструвати зовнішні показники. Потрібно постаратися зрозуміти сутність життєвих процесів, що забезпечують кожен рухову якість.

Ефективність сформованої рухової навички залежить не лише від технічної досконалості, але й від здатності її виконання з належною силою, швидкістю, витривалістю, спритністю. Ці можливості людини прийнято називати руховими, або *фізичними якостями*.

Поняття «рухова якість» поєднує, зокрема, ті сторони моторики людини, які виявляються нею в одних і тих самих біомеханічних характеристиках, мають один і той самий вимірювач (наприклад, максимальну швидкість) та мають схожі анатомічні, біологічні та психічні механізми забезпечення та реалізації. Тому методики удосконалення певної рухової якості мають загальні риси незалежно від конкретного виду руху. Наприклад, витривалість у плаванні та у ковзанярському спорті розвивають схожими шляхами, проте самі рухи значно різняться. Вимірювачами таких рухових якостей, як м'язова сила, швидкість, витривалість, є сила, швидкість і тривалість (час) руху. Сила (F), швидкість (v) і тривалість (t) руху знаходяться у певному співвідношенні один з одним. Це співвідношення є різним у різних рухових завданнях.

Руховим завданням називають рух з чітко обумовленими умовами (параметрами) його виконання.

Параметри – перемінна величина, яка в умовах конкретного завдання залишається постійною. Параметри потрібно відрізнити від *констант* –

величин, значення яких залишаються постійними завжди. Наприклад, не біг або штовхання ядра взагалі, а конкретно біг на 200 м або штовхання ядра вагою 7257 г. Біг 200 і 400 м або штовхання ядра 4 і 5 кг є різними руховими завданнями. У деяких спробах спортсмен може поставити перед собою завдання показати найкращий результат. Зареєстровані при цьому значення називають максимальними (сила, швидкість, тривалість рухового завдання). Вони залежать від умов (параметрів) руху, які задаються. Такими параметрами є, зокрема, довжина дистанції, вага снаряда. Якщо параметри рухових завдань змінюються, то змінюються і названі значення. Залежності між показниками максимальної сили, швидкості і тривалості в різних рухових завданнях, які відрізняються значеннями своїх параметрів (вагою снаряда, довжиною дистанції, заданою швидкістю пересування тощо), називають *параметричними залежностями*. Часто цікаво знати чи взаємопов'язані, наприклад, сила розгиначів ніг і швидкість відштовхування у стрибках, або чи залежать результати в бігу на 800 м від максимальної швидкості бігу? Подібні залежності називають *непараметричними*.

Біомеханічні основи витривалості. *Витривалість* – це така рухова якість людини, яка характеризує її працездатність і може виявлятися нею протягом певного часу; оцінити її можна тільки за умови суворої регламентації заданих біомеханічних характеристик рухових дій.

Ергометрія – сукупність кількісних методів вимірювання фізичної працездатності людини.

Коли людина виконує достатньо тривалий час рухове завдання, дослідники завжди мають справу з трьома основними перемінними:

1. *Інтенсивність рухового завдання.* Поняття «інтенсивність рухового завдання» позначає одну з трьох механічних величин: а) швидкість спортсмена (наприклад, біг, який вимірюється в $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$); б) потужність (педальовання на велоергометрі; одиниця вимірювання – вати); в) сила (статичні зусилля; одиниця вимірювання – ньютони).

2. *Обсяг рухового завдання.* Позначає одну з трьох механічних величин: а) подолана відстань (наприклад, біг; одиниця вимірювання – метри); б) виконана робота (оберти педалей велоергометра; одиниця вимірювання – джоулі); в) імпульс сили (статичні зусилля; одиниця вимірювання – ньютони-секунди).

3. *Час виконання* (одиниця вимірювання – секунди).

Показники інтенсивності, обсягу та часу виконання рухового завдання називаються *ергометричними показниками*. Один з них завжди задається як параметр рухового завдання; два інших – вимірюються. Якщо величини інтенсивності, обсягу і часу виконання рухового завдання відповідають один одному, то, як експериментально доведено, при різних варіантах завдань отримують однакові результати. Наприклад, якщо спортсмени пробігають дистанцію 3 км за 12 хв (середня швидкість $\approx 4,1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), то за умови подолати найбільшу дистанцію за 12 хв (тест Купера) вони пробіжать також 3 км, а якщо їм запропонувати бігти з постійною швидкістю $4,1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, то вони будуть спроможні підтримувати її протягом лише 12 хв і пробіжать за цей час також

3 км. Тому результати, які отримані в завданнях одного типу (біг із заданою швидкістю), можна переносити на завдання іншого типу (біг на певну дистанцію), якщо значення часу, інтенсивності чи обсягу рухових завдань, які задаються, співпадають. Це так зване *правило зворотності рухових завдань*.

Енергетичний потенціал. Згідно із законом збереження енергії будь-яка робота може бути виконана лише за умови витрати енергії. Чим більшу роботу виконав спортсмен, тим більше енергії він витратив. І навпаки, *чим більший енергетичний потенціал людини, тим більша її фізична працездатність, тобто витривалість*.

З курсу біохімії відомо, що в організмі людини є два джерела енергопродукції – анаеробний і аеробний (рис. 1). Найбільша величина енергії, яка утворюється під час м'язової роботи, визначається величинами: а) максимального кисневого боргу; б) кисневою ємністю, тобто добутком часу роботи на швидкість споживання кисню ($л \cdot хв^{-1}$).

Витривалість залежить не лише від енергетичного потенціалу людини, але й від уміння економно витратити запас енергії (рис. 1).

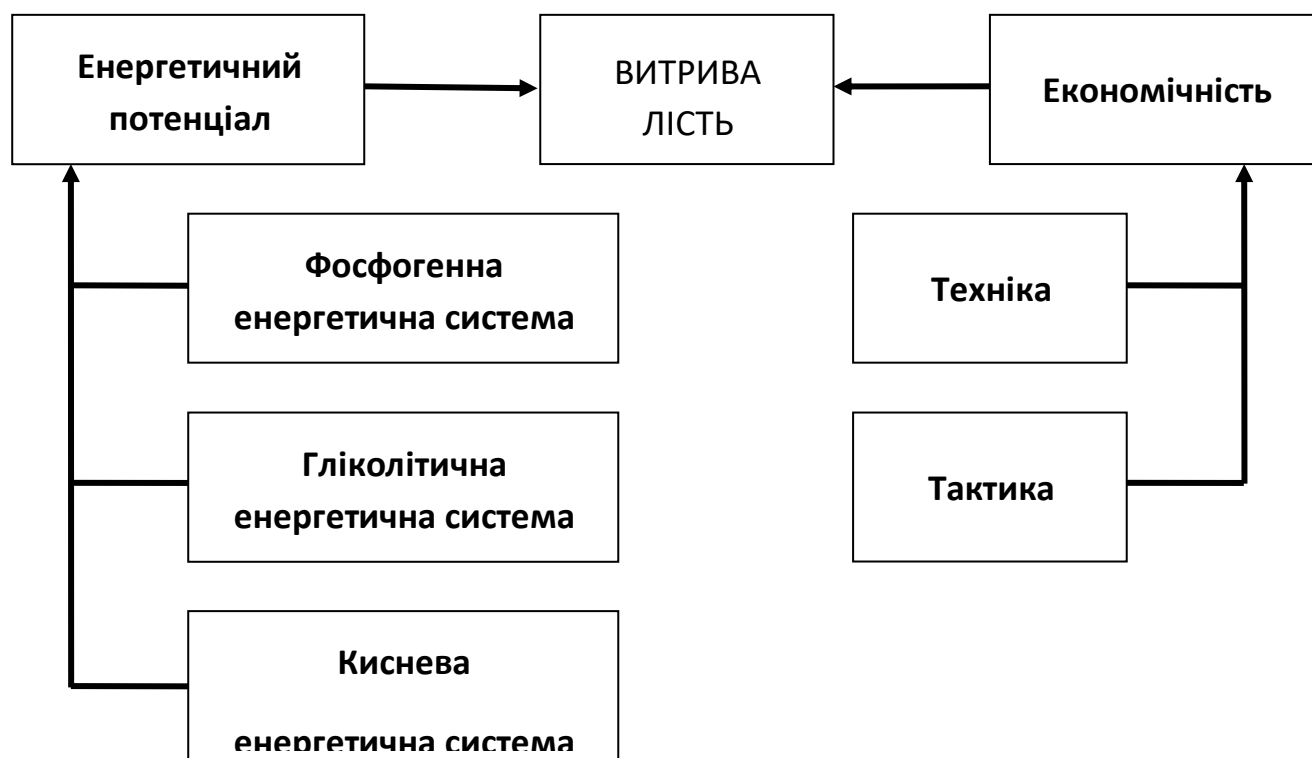


Рисунок 1 – Основні чинники, від яких залежить витривалість людини

Для того щоб це важливе положення краще запам'яталося, скористаємося простими життєвими аналогіями. Енергетичний потенціал порівнюємо з наявною сумою грошей, а економічність – з ощадливістю. Тут важливо підкреслити: саме з ощадливістю, а не зі скупістю. Тому що значні витрати часом необхідні, але їх варто здійснювати раціонально. Наприклад, людина, що

під час бігу хаотично або поперек бігової доріжки розмахує руками, витрачає енергію нерозумно.

У спорті вищих досягнень, де енергетичні можливості спортсменів близькі, економічність навіть більш важлива, ніж енергетичний потенціал. Так, із членів національної збірної команди з бігу на довгі дистанції було відібрано 12 спортсменів з однаковим рівнем максимального споживання кисню. У всіх спортсменів у лабораторних умовах визначили споживання кисню під час бігу на тредбані зі стандартною швидкістю 4,5 м/с. Потім отримані дані порівняли з результатами цих же спортсменів на змаганнях. Кращий час показали ті, хто використовував менше кисню, тобто затратив менше енергії на метр шляху.

Етапи перетворення енергії при руховій діяльності людини. Перш ніж перейти до розгляду шляхів економізації рухів і тим самим підвищення витривалості, потрібно усвідомити, від чого залежить економічність. Загальну відповідь на це питання надано на рис. 1. Основними чинниками економічності є інтенсивність м'язової роботи, техніка рухових дій та обраний тактичний варіант. Для більш докладного аналізу простежимо ланцюг перетворень метаболічної енергії м'язового скорочення в корисний результат рухової діяльності (рис. 2).

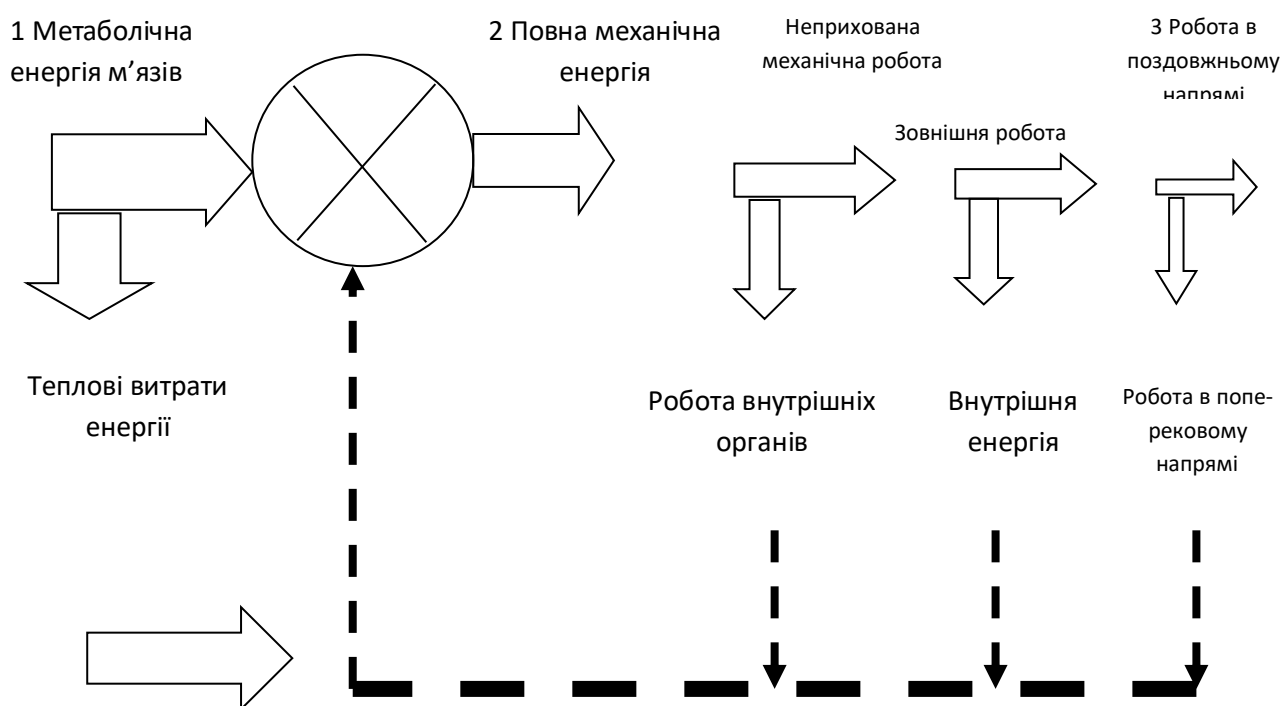


Рисунок 2 – Етапи перетворення енергії під час рухової діяльності людини; суцільними лініями показана енергія, яка витрачається, пунктир – потік рекуперованої енергії, × – знак суми потоків енергії

Як відомо, будь-яка форма активності живого організму забезпечується енергією, що акумульована в молекулах аденозинтрифосфату (АТФ). Але лише близько 25% енергії АТФ переходить у механічну при м'язовому скороченні. Інші 75% енергетичного запасу витрачаються на теплотворення тощо, не збільшуючи повної механічної енергії. Таким чином, за коефіцієнтом корисної дії м'язи не кращі від машин, створених людиною (відомо, що ККД двигуна становить у паровоза 5-8%, в автомобіля 20-25%, у тепловоза 40%, в електровоза 60%).

Повна механічна енергія створюється за рахунок механічної роботи, яка здійснюється всіма без винятку м'язами тіла. Її зручно розглядати як суму неприхованої механічної роботи та прихованої від нашого погляду роботи внутрішніх органів (серця, дихальної мускулатури, а також м'язів-антагоністів у тих випадках, коли їх напруження надмірне, нераціональне).

Неприхована механічна робота складається з внутрішньої та зовнішньої роботи. *Внутрішньою* називають роботу, здійснювану при переміщенні окремих сегментів тіла (у першу чергу рук і ніг) відносно загального центра мас (ЗЦМ); *зовнішньою* – роботу з переміщення всього тіла, маса якого зосереджена в точці ЗЦМ. На внутрішню роботу припадає значна частина енергії, що витрачається; наприклад, на переміщення ніг у велосипедиста затрачується більше половини неприхованої механічної роботи.

І нарешті, зовнішня механічна робота включає в себе *поздовжню* роботу, за рахунок якої людина, що рухається, або спортивний снаряд переміщається в потрібному напрямку, і *непродуктивну поперечну* роботу.

Повна механічна енергія людського тіла складається із фракцій, частина з яких забезпечує виконання корисної роботи, а інша частина непродуктивна і її варто по можливості зменшувати. Відповідно до цього рекомендації, спрямовані на підвищення витривалості, можна умовно розподілити на п'ять груп.

По-перше, рекомендується уникати зайвих, непродуктивних м'язових скорочень і напруження.

Тим самим зменшується робота внутрішніх органів (рис. 2).

Навіть при виконанні важкої роботи рухи повинні бути якомога більш вільними, нескутими. Скутість рухів спричиняється зайвою активністю м'язів-антагоністів. На жаль, її не завжди помітиш з боку, і тому педагог повинен розвивати в учнів уміння контролювати свої рухи, розслаблюватися.

Не випадково в багатьох видах спорту (наприклад, у плаванні, гірських лижах тощо) уміння розслаблювати м'язи, що у даний момент часу можуть не брати участь у виконанні основної рухової дії, є ознакою вищої майстерності.

По-друге, варто зменшувати зайві, непродуктивні рухи.

Тим самим зменшуються внутрішня робота і робота в поперековому напрямі (рис. 2).

З точки зору економичності надлишкові, хаотичні рухи не менш шкідливі, ніж скуті, напружені. Ми рідко надаємо значення непродуктивним рухам, оскільки кожен із них окремо вимагає невеликих енерговитрат. Але, як говориться, вода по краплі камінь точить. Наведемо приклад.

Доросла людина, що йде дорогою, з кожним кроком піднімає й опускає себе приблизно на 6 см. Щоб пройти, наприклад, 8 км при довжині кроку 0,8 метра, потрібно зробити $8000:0,8=10000$ кроків. Помноживши це число на висоту підйому в кожному кроці, одержимо загальну висоту підйому, рівну $10000 \times 0,06 = 600$ м.

Помітимо, що в дітей вертикальні переміщення тіла при ходьбі, бігу й інших циклічних локомоціях більші, ніж у дорослих. Діти молодшого шкільного віку при кожному кроці піднімають і опускають своє тіло на 8-12 см. І навпаки, в міру вдосконалення рухової навички (наприклад, у досвідчених спортсменів-ходаків) вертикальні коливання загального центра мас знижуються до 3 см. Але на відміну від інших непродуктивних рухів (неритмічного розмахування руками тощо) цілком усувати вертикальні переміщення ЗЦМ недоцільно, тому що це утруднює використання рекуперації енергії.

По-третє, доцільно використовувати *рекуперацію енергії*. У тому числі:

- обирати найменш енергоємне поєднання сили та швидкості, що проявляється, (наприклад, довжини та частоти кроків); цим зменшується внутрішня робота (див. рис. 2), тому що потенційна енергія сегмента переходить у кінетичну, а кінетична – у потенційну при мінімальному надходженні додаткової метаболічної енергії;
- використовувати енергію, що переходить від одного сегмента тіла до іншого (приклад: рух гомілки може виконуватися за рахунок енергії, накопиченої при маху стегном; при метанні механічна енергія переходить від попередньо розігнаних проксимальних сегментів тіла до дистальних і снарядові, що метається);
- використовувати енергію пружної деформації, накопичену в м'язах у попередніх фазах рухової дії.

Другий із названих варіантів рекуперації енергії є причиною дивних фактів підвищення коефіцієнта механічної ефективності (див. підпис до рис. 2) до 40% при бігу людини і до 76% (!) при стрибках кенгуру. Кінетична енергія тіла, що рухається, при приземленні частково переходить у потенційну енергію м'язів нижніх кінцівок, що в даному випадку функціонують подібно до пружин. Чим сильніше стиснули пружину, тим потужніше вона розпрямляється. І тому значна частина енергії, необхідної для наступного бігового кроку або стрибка, запасається в «м'язах-пружинах» наприкінці попереднього руху. Так один раз утворена механічна енергія використовується багаторазово.

Цікаво, що в Бельгії серед підлітків стали популярними «стрибки по-кенгуриному» на спеціальних башмаках, у підошви яких умонтовані масивні пружини. Але є різниця між рекуперацією енергії в сталевій пружині та у м'язі. Акумуляована в м'язі потенційна енергія дуже швидко (протягом 1-5 с) переходить у тепло. Отже, чим швидше рух, вище швидкість, стрімкіше хода, тим більше енергії, що рекуперується, переходить у повну механічну енергію.

Рекуперація енергії може мати місце не тільки в м'язах рук і ніг, але і у всякому іншому скелетному м'язі і навіть у м'язах внутрішніх органів. Тому потік енергії, що рекуперується, (див. пунктир на рис. 2) при високій культурі

рухів може складати значну частину повної механічної енергії й істотно підвищувати витривалість людини.

По-четверте, рекомендується обирати оптимальну за економічністю інтенсивність рухової діяльності.

Відомо, що в міру збільшення інтенсивності м'язової роботи і механічні, і метаболічні енерговитрати зростають не пропорційно інтенсивності, а набагато більше. Перелічимо основні причини цього явища:

- 1) збільшення теплових втрат у результаті нагрівання тіла;
- 2) збільшення енерговитрат на роботу внутрішніх органів (у першу чергу на посилене функціонування серця, на кровопостачання якого при важкій м'язовій роботі витрачається до 10% усієї циркулюючої крові);
- 3) збільшення темпу рухів і викликане цим підвищення витрат енергії на внутрішню роботу, роботу в поперековому напрямку, а також на розгін і гальмування тіла;
- 4) збільшення опору зовнішнього середовища; наприклад, на подолання опору повітря спринтер затрачує до 16% усієї метаболічної енергії.

Отже виходить, що збільшення інтенсивності рухів завжди супроводжується зниженням економічності. Проте інший результат спостерігається, якщо розглядати не величину енерговитрат в одиницю часу, а енергетичну вартість одиниці виконаної роботи або одиниці подоланої відстані (метр шляху). Виявляється, у кожній конкретній ситуації існує оптимальна за економічністю інтенсивність м'язової роботи (наприклад, швидкість пересування, при якій енерговитрати на метр шляху мінімальні).

По-п'яте, варто здійснювати оптимальні рухові переключення.

До рухових переключень належать:

- 1) зміна інтенсивності м'язової роботи (наприклад, швидкості пересування);
- 2) зміна сили, що виявляється в руховій дії, і швидкості (наприклад, довжини та частоти кроків);
- 3) перехід з одного способу виконання рухового завдання на інший (наприклад, кругове – імпульсне педалювання, ходьба – біг, одночасний – поперединний лижний хід тощо).

Рухові переключення схожі з діями шофера, що має можливість збільшити або зменшити швидкість натисканням на педаль газу або гальма, переключити швидкість, на слизькій дорозі надягти на колеса ланцюги.

На відміну від інших розглянутих способів підвищення витривалості оптимальні рухові переключення дають можливість не тільки економно витрачати енергетичний потенціал, але й найбільш повно його використовувати. І те й інше необхідно для прояву властивої людині витривалості. Спочатку розглянемо *рухові переключення, що забезпечують руховій діяльності найбільшу економічність, а потім про переключення, які максимізують механічну продуктивність.*

Принцип мінімуму енерговитрат. Оптимальна за економічністю інтенсивність рухової діяльності (наприклад, швидкість пересування) залежить від фізичної працездатності людини та змінюється при зміні зовнішніх умов.

Чим вища фізична працездатність і комфортніші умови, тим вища найбільш економічна швидкість. Якщо людина хоче пересуватися з мінімальними енерговитратами, вона повинна змінити («переключити») швидкість відповідно до мінливих умов і власного стану. Наприклад, підвищення температури повітря від +20°C до +40°C знижує найбільш економічну швидкість бігу на 20%. Такий самий ефект викликає вантаж, якщо його вага складає 15-20% від ваги тіла.

Виникає питання: як довідатися, яка інтенсивність рухів у кожній конкретній ситуації є оптимальною? Точна відповідь на це питання отримана лише для деяких видів рухової діяльності і вікових груп. Але є можливість знаходити найбільш економічну інтенсивність інтуїтивно. Теоретичною основою вибору оптимальної інтенсивності рухів у кожній конкретній ситуації слугує *принцип мінімуму енерговитрат*, відповідно до якого *психічно нормальна жива істота довільно організує свою рухову діяльність так, щоб звести до мінімуму витрати енергії*.

Прагнення живих істот заощаджувати енергію природно. Адже життя поза цивілізацією найчастіше протікає в умовах нестачі їжі. Різні види тварин пристосувалися до цих умов по-різному: ведмідь впадає в зимову сплячку, степові черепахи і ховрашки – жителі пустель, навпаки, засипають на кілька місяців у найбільш спекотний час року і т.д. І людина як біологічний вид формувалася в постійній боротьбі за енергію і, зокрема, навчилася самостійно знаходити найбільш економічний руховий режим. Згадайте, що сильно стомлюють не тільки надмірно інтенсивні рухи, але і недостатньо енергійні, наприклад при чеканні в черзі або під час екскурсії, де енерговитрати хоча і невеликі, але не оптимальні за економічністю, тому що швидкість пересування нижча від оптимальної. У подібних випадках втома настає не тільки тому, що зроблено певну роботу, а в основному як розплата за порушення принципу мінімуму енерговитрат. Природа негайно штрафує за порушення її законів.

Якщо умови, в яких протікає рухова діяльність, не змінюються, а втома не виникає або її вдається перебороти, то найменших енерговитрат вимагає м'язова робота, інтенсивність якої постійна. Саме тому спортсменам у циклічних видах спорту донедавна рекомендували від старту до фінішу підтримувати постійну швидкість.

Але тактика постійної швидкості далеко не завжди забезпечує найвищу механічну продуктивність (наприклад, найвищу середню швидкість і найкращий результат на дистанціях циклічних видів спорту). Лише при м'язовій роботі, що триває понад 5-7 хв, тактика постійної швидкості оптимальна і за економічністю, і за механічною продуктивністю. При прагненні показати рекордний результат при менш тривалій вправі оптимальна «розкладка швидкості» інша. Вона характеризується високою стартовою швидкістю і поступовим її зниженням у міру витрачання запасів фосфатної, а потім і лактаційної енергетичних систем.

Справедливість сказаного доведена методом імітаційного моделювання рухової діяльності на ЕОМ. Але суть питання зрозуміла і без моделювання. Уявіть собі двох людей з однаковою економічністю рухів і однаковим

енергетичним потенціалом. Хто з них продемонструє більш високу витривалість? Або, іншими словами, хто з них за той самий час виконає більший обсяг роботи або переборє більшу відстань? Очевидно, перевага буде за тим, хто зуміє більш повно вичерпати свої енергетичні ресурси. Затративши більше праці, він за законом збереження енергії зможе виконати більший обсяг роботи. Помітьте, що відповідно до правила оборотності рухових завдань переможець цього конкурсу буде першим і в тому випадку, коли необхідно якнайшвидше виконати визначений обсяг роботи або перебороти задану дистанцію. А для більш повного вичерпання енергетичного потенціалу необхідно з перших же секунд вправи поставити енергетичні системи в найбільш важкі умови, тобто зробити механічну потужність як можна більш високою.

Навіть при прагненні до найвищої механічної продуктивності (наприклад, на спринтерських і середніх дистанціях) не слід забувати про економічність рухів. Але в цьому випадку економічність відіграє роль другого по значимості критерію оптимальності. Наприклад, при кожній, будь-якій високій швидкості пересування існує оптимальне за економічністю поєднання довжини та частоти кроків, що залежить від швидкості. Оптимізуючи техніку рухових дій у кожному кроці, можна заощадити енергію і використовувати її для того, щоб ще більше підвищити швидкість.

Стосовно біомеханічних основ витривалості доцільно зробити два зауваження.

Перше зауваження. Усе сказане про способи підвищення витривалості відноситься як до циклічної, так і до ациклічної рухової діяльності. Приклади, що відносяться до бігу й інших циклічних локомоцій, наведені лише тому, що вони прості та зрозумілі кожному.

Друге зауваження. До біомеханічних способів підвищення витривалості необхідно залучати людину ще в шкільному віці. оскільки *виправити техніку рухових дій набагато важче, ніж сформувати її правильно від самого початку.* І не випадково настільки поширені неправильна постава, неприродно уповільнена ходьба, а у спортсменів – нерозуміння необхідності оптимізувати енерговитрати, упередженість щодо доцільності рівномірної розкладки швидкості незалежно від довжини дистанції тощо. Всі ці недосконалості рухової культури можуть бути виправлені тільки на основі знання і повсякденного використання біомеханічних закономірностей.

Біомеханіка сили та швидкості. *Сила* – це здатність людини долати зовнішній тиск або протистояти йому за рахунок м'язових зусиль.

Сила як фізична якість поділяється на два відносно самостійних види здібностей – швидко-силові та власне силові. Перший вид характеризується зміною довжини м'яза, він притаманний переважно динамічній формі роботи; другий – постійністю довжини м'яза, він пов'язаний зі статичною формою роботи. Швидко-силові здібності проявляються при ізотонічному та ізокінетичному режимах м'язових скорочень. Їх максимальним вираженням є вибухова сила.

Власне силові здібності виявляються переважно в умовах ізометричного скорочення. Потреба в розвитку власне силових здібностей у шкільному віці

обумовлена закономірностями формування правильної постави при сидінні, ходьбі, бігу тощо. Тривале підтримання правильної постави вимагає не лише розвитку власне силових здібностей, але й розвитку силової витривалості.

Сила дії людини і сила м'язів. Сила дії людини безпосередньо залежить від сили тяги м'язів, тобто сили, з якою окремі м'язи тягнуть за кісткові важелі. Проте між натягненням того чи іншого м'яза і силою дії немає прямої залежності. Це пояснюється, по-перше, тим, що майже кожний рух відбувається через скорочення великої кількості м'язових груп; сила дії – це результат їх спільної взаємодії; і, по-друге, тим, що при зміні суглобових кутів змінюються умови тяги м'язів за кістку, зокрема плечі сил м'язової тяги.

Залежність сили дії від параметрів рухового завдання. Розглянемо залежність сили дії від таких характеристик рухових завдань, як: 1) швидкість ланки тіла, що рухається; 2) напрямок руху.

Зв'язок «сила дії – швидкість». Рухові якості взаємозалежні. Повною мірою демонструючи одну з них, ми, як правило, перешкоджаємо прояву інших. Ця закономірність особливо яскраво виявляється у зв'язку між силою та швидкістю. Наприклад, при метанні снарядів різної маси важкий снаряд неможливо розігнати до високої швидкості. А при метанні легкого снаряда, навпаки, максимальна швидкість є великою, але сила, що виявляється, незначна. Отже, між найбільшими, рекордними величинами сили та швидкості взаємозв'язок можна охарактеризувати так: чим вищою є максимальна сила, тим нижчою є максимальна швидкість. У той же час при неграничних величинах сили та швидкості має місце інша залежність між ними: чим більша сила, тим більша швидкість вильоту снаряда й дальність його польоту. При штовханні звичайного ядра швидкість і сила мають середні величини.

Поза тіла і сила дії людини. Сила дії людини залежить від пози її тіла. Цю залежність визначають такі основні причини.

Перша: зі зміною положення суглоба змінюється довжина м'язів. Сила ж, яка виявляється м'язом, залежить від його довжини. Вважають, що максимальна сила, яку може проявити м'яз, зменшується пропорційно квадрату зменшення його довжини. Найменші величини сили м'яз виявляє при своєму найбільшому скороченні.

Друга: зміна плеча сили тяги м'яза відносно осі обертання. Відомо, що в механіці плечем сили називається найкоротша відстань (перпендикуляр) від осі обертання до лінії дії сили. Притаманне для рухового апарату людини близьке кріплення м'язів до осі обертання спричинює те, що в більшості рухів досягається перевага у швидкості та відстані за рахунок втрати в силі.

Якщо натяг м'яза буде однаковим, то при зміні кута сила дії може збільшуватися або зменшуватися в 4 рази.

Тренери повинні добре знати, як змінюються сила дії спортсмена в різних позах його тіла у змагальному русі, – без цього не можна знайти найкращий варіант техніки.

При виборі силових вправ перш за все потрібно переконатися в тому, що вони активізують саме ті м'язи, силу яких потрібно збільшити. При цьому варто

пам'ятати, що найменші зміни пози тіла можуть спричинити те, що активними стануть інші групи м'язів.

При однаковій силі дії та різних позах величини сил і силових моментів можуть бути різними в окремих суглобах. При неправильно обраній позі сили можуть стати настільки великими, що призведуть до травми. Такі небезпечні пози тіла називають критичними. При правильній техніці виконання вправи спортсмен уникає критичних поз, тобто не перевантажує м'язи і зв'язки суглобів.

Топографія сили. Співвідношення максимальної сили дії різних м'язових груп дістало назву топографії сили. Визначити топографію сили людини можна шляхом вимірювання сили її м'язових груп.

У людей, які не займаються спортом, як правило, краще розвинуті антигравітаційні м'язи (розгиначі спини і ніг, згиначі рук).

У спортсменів топографія сили залежить від спортивної спеціалізації. У багатьох видах спорту виявлено пряму залежність між показниками топографії сили і спортивним результатом.

Неправильна топографія сили може перешкоджати оволодінню раціональною технікою навіть тоді, коли сила окремих м'язових груп є достатньою для успішного навчання. Наприклад, початківцям у штовханні ядра, у яких сила розгиначів рук відносно переважає силу нижніх кінцівок, важко навчати раціональної техніки штовхання. Вони намагаються виконати вправу переважно за рахунок руху поштовхової руки й недостатньо використовують потужні м'язи ніг і тулуба.

Швидкість – це здатність людини виконувати рухові дії в мінімальний для даних умов проміжок часу.

Виділяють три основні (елементарні) різновиди прояву швидкісних якостей: 1) швидкість одиночного руху; 2) частота рухів; 3) латентний час реакції. Між показниками швидкості одиночного руху, частоти рухів і латентного часу реакції у різних людей кореляція незначна. Елементарні різновиди швидкісних якостей відносно незалежні один від одного. На практиці доводиться, як правило, стикатися з комплексним проявом швидкісних якостей. Так, під час спринтерського бігу результат залежить від часу реакції на старті, швидкості окремих рухів і частоти кроків.

У рухах циклічного характеру швидкість пересування безпосередньо визначається частотою рухів і довжиною кроку (а довжина кроку, своєю чергою, залежить від довжини ніг, сили й техніки відштовхування). З підвищенням спортивної кваліфікації обидва компоненти, які визначають швидкість пересування, як правило, збільшуються. Проте в різних видах спорту по-різному. Наприклад, під час бігу на ковзанах основне значення має збільшення довжини «кроку», а в плаванні – обидва компоненти.

Динаміка швидкості. Динамікою швидкості називаються зміни швидкості рухомого тіла.

У спорті існують два види завдань, які вимагають прояву максимальної швидкості. У першому випадку необхідно проявити максимальну миттєву швидкість (стрибки – момент відштовхування; метання – при випуску снаряда);

динаміку швидкості при цьому обирає сам спортсмен (він може розпочати рух більш повільно або ж стрімко). У другому випадку необхідно виконати з максимальною швидкістю (за мінімальний час) усі рухи (спринтерський біг).

Чимало рухів, які виконуються з максимальною швидкістю, складаються з двох фаз: 1) збільшення швидкості (стартовий розгін); 2) відносна стабілізація швидкості. Характеристикою першої фази є стартове прискорення, другої – дистанційна швидкість. Ці характеристики відносно незалежні. Можна мати добрий стартовий розгін і невисоку дистанційну швидкість і навпаки. В одних видах спорту головним є стартове прискорення (баскетбол, теніс, хокей), в інших важлива лише дистанційна швидкість (стрибки у довжину), в третій важливими є дві фази.

Швидкість зміни сили (градієнт сили). Слово «швидкість» використовується для визначення не лише швидкості зміни положення тіла або його частин у просторі, але й швидкості зміни інших показників, зокрема сили. Градієнт сили є дуже важливим при вивченні рухів, де необхідно виявляти велику силу в найкоротший час – «вибухом».

Градієнт сили неоднаковий в різних фазах руху. Як правило, на початку руху він більший, ніж наприкінці. Тому, зазвичай, визначають не *градієнт сили* – відношення збільшення сили до інтервалу часу, за який це збільшення відбулося, а обчислюють *швидкісно-силовий індекс* – частка від поділу різниці між максимальним і мінімальним значеннями сили, що виявляється, на величину часового інтервалу, за який ця зміна відбулася. Чим вищою є швидкісно-силова підготовленість, тим більший швидкісно-силовий індекс, тому що велика сила досягається за коротший час.

При виконанні багатьох фізичних вправ доводиться переборювати силу ваги свого тіла. У цих випадках найбільш інформативний показник швидкісно-силових якостей – не швидкісно-силовий індекс, а *коефіцієнт реактивності*. Коефіцієнт реактивності дорівнює швидкісно-силовому індексові, поділеному на вагу тіла.

Біомеханіка стійкості. Стійкість іноді розглядають як самостійну рухову якість. Це має сенс, оскільки біомеханічні механізми стійкості відрізняються від тих, які забезпечують високу витривалість, силу, швидкість, гнучкість і спритність.

В основі стійкості, як і взагалі в основі координації рухів, лежить принцип зворотного зв'язку. Відхилення від стійкого положення викликає дії, спрямовані на запобігання відхиленню.

Ортоградну (вертикальну) позу людини і стійкість в інших позах забезпечують три ланцюги зворотного зв'язку:

- 1) замикається через центр рівноваги у внутрішньому вусі;
- 2) замикаються через зоровий аналізатор і пов'язаний із зовнішніми орієнтирами;
- 3) кінестетичний (заснований на відчуттях положення власного тіла в просторі), він замикається через пропріорецептори м'язів.

Усі три названі системи стабілізації пози діють одночасно, і відхилення пози від обраної виявляються й усуваються тим швидше, чим кращий стан нервової системи. Функціонування стабілізуючих систем виявляється в треморі

(мимовільних коливаннях) ланок тіла. Частота тремору тим вища, а отже, амплітуда тим менша, чим краща фізична, технічна, а також психологічна підготовленість людини.

Виникає питання:

Чому зниження частоти тремору закономірно зумовлює збільшення амплітуди і робить тремор видимим (як це виявляється при емоційно збудженому стані та деяких захворюваннях)?

Але стійкість визначається і суто механічними чинниками. Так, вихід вертикальної проекції загального центра мас тіла за межі площі опори призводить до падіння.

Загальне правило звучить так: *тіло зберігає стійке положення за умови, що сума діючих на нього сил дорівнює нулю і сума їх моментів так само дорівнює нулю.*

Біомеханічні тренажери. *Тренажером* називається технічне пристосування, що дозволяє в штучно створених умовах удосконалювати техніко-тактичну майстерність і розвивати рухові якості.

При конструюванні й підборі тренажерів для розвитку рухових якостей і технічної підготовки потрібно прагнути до того, щоб виконувана на тренажері й основна змагальна вправа були однаковими за топографією працюючих м'язів, за відносною потужністю і характером зовнішнього опору. Зовнішній опір може задаватися силами неоднакової фізичної природи. Залежно від цього різні тренажери придатні для опанування різними спортивними рухами.

Значення занять на тренажерах. Інтенсивність сучасного життя вимагає таких же активних методів компенсації нестачі м'язових навантажень. Адже не випадково в умовах науково-технічного прогресу зі всією гостротою постало питання, як зберегти фізичну активність, чим заповнити нестачу рухів при мінімальних витратах часу, зрештою, зробити тренування цікавими.

Усім відомо, що займатися фізичними вправами можна не лише на стадіонах, у спортивних залах або просто неба. Останнім часом все більше людей займаються на тренажерах у домашніх умовах або в тренажерних залах. Широкому розповсюдженню даної форми занять фізичними вправами перешкоджає необізнаність людей щодо можливостей «домашніх стадіонів» і недостатня кількість кваліфікованих фахівців, які готові надавати населенню необхідну методичну допомогу. Не випадково 42% населення згідно з анкетним опитуванням не можуть самостійно оволодіти вправами, 62% – не бажають спеціально запам'ятовувати вправи, а 77% – відмічають відсутність позитивних емоцій під час самостійного виконання загальнорозвивальних вправ. Допомогти вирішити дану проблему повинні фахівці в галузі фізичної культури і спорту. Зокрема, вчитель фізичної культури під час занять школярів на тренажерах або в ході спілкування з батьками учнів може надавати методичні рекомендації. Окрім того, вчитель фізичної культури, в навчальному закладі якого, як правило, є оздоровчі тренажери, зобов'язаний знати особливості організації занять на тренажерах.

Тренажер – технічний прилад (пристосування), який призначений для розвитку та вдосконалення рухових якостей, професійно-прикладних навичок

та умінь, підвищення працездатності організму, а також медичної реабілітації (механотерапії).

Тренажери, які використовують з оздоровчою метою, останнім часом отримали широке розповсюдження. Їх застосування дозволяє істотно розширити варіативність засобів і методів фізичної культури й підвищити при цьому їх оздоровчу ефективність. Тренажери сприяють позитивній психоемоційній мотивації залучення до фізичної культури і масового спорту.

Можливість суворого дозування фізичного напруження і спрямованого впливу на певні м'язові групи дозволяє за допомогою тренажерів вибірково впливати на серцево-судинну, дихальну й нервову системи, опорно-руховий апарат. Через це вони рекомендовані в профілактичних та лікувальних цілях при ішемічних хворобах серця, гіпертонічній хворобі, вегето-судинній дистонії, хронічних неспецифічних захворюваннях легень, артритих, артрозах тощо.

Медико-економічна значимість подальшого розвитку тренажерної техніки в умовах зростаючого попиту населення, висока ефективність її застосування дозволяє розглядати тренажери як один із засобів зміцнення здоров'я, зниження захворюваності та підвищення продуктивності праці.

Нині велике значення надається пошуку нових форм проведення занять і методів навчання, застосування нестандартних і різноманітних підходів в організації роботи щодо підвищення активності школярів у навчальній діяльності.

Одним зі шляхів є впровадження в навчальний процес тренажерів. Наприклад, С.Ю. Балбенко, В.І. Семеренський, використовуючи тренажери на уроках фізичної культури, знайомлять учнів із принципами складання нових вправ на тренажерах і в такий спосіб залучають дітей до розробки нових комплексів фізичних вправ. Така участь дітей робить тренажери одним із найулюбленіших снарядів і виховує інтерес до систематичних занять і змісту уроку фізичної культури.

Заняття на тренажерах різнобічно впливають на організм, що дозволяє віднести їх до важливих засобів фізичного вдосконалення. Проте специфіка фізичного навантаження (висока інтенсивність, натужування з підвищенням внутрішнього грудного і черевного тиску, локальне м'язове напруження тощо) і емоційний фон занять, який приховує об'єктивні ознаки втоми, може спричинити фізичне перенапруження і перевтому. Тому кожен, хто займається на тренажерах, повинен бути обізнаним із правилами їх використання, принципами регулювання навантаження і складання індивідуальних комплексів фізичних вправ, уміти здійснювати самоконтроль під час занять на тренажерах.

Види тренажерів. При проведенні досліджень фізіологічних реакцій у лабораторних умовах, необхідно контролювати величину фізичного зусилля випробуваного для того, щоб забезпечити визначену постійну інтенсивність роботи. Як правило, це здійснюється за допомогою ергометрів. Ергометр (грец. *ерго* - робота; *метр* - міра) являє собою прилад, що дозволяє контролювати (стандартизувати) і вимірювати кількість та інтенсивність фізичної роботи, виконуваної людиною. Розглянемо деякі приклади.

Велоергометри.

Тривалий час велоергометри були основними приладами, які використовували для тестування. Нині їх широко використовують як при дослідженнях, так і в умовах клініки, хоча в США намітилася тенденція до використання тредбанів. Виконувати роботу на велоергометрі можна або у вертикальному положенні, або в положенні лежачи на спині.

У велоергометрах звичайно використовується один з чотирьох видів опору: 1) механічне тертя; 2) електричний опір; 3) опір повітря; 4) гідравлічний опір рідини.

Велоергометри мають низку переваг порівняно з іншими ергометричними приладами. При роботі на велоергометрі верхня частина тулуба практично залишається нерухомою, що дозволяє з більшою точністю вимірювати тиск крові, а також полегшує процес узяття проб крові при фізичних навантаженнях. Окрім того, інтенсивність роботи при педалюванні не залежить від маси тіла. Це важливо при вивченні фізіологічних реакцій на стандартну інтенсивність роботи (вихідну потужність). Наприклад, якщо ви втратили 15 фунтів маси, результати, отримані при тестуванні на тредбані, виявляться непорівнянними з результатами, отриманими до того, як маса вашого тіла зменшилася, оскільки фізіологічні реакції на задану швидкість і нахил на тредбані змінюються залежно від маси тіла. Після втрати маси ви зможете виконати менший обсяг роботи, ніж колись, при сталій швидкості та нахилу. Що стосується велоергометрів, то тут зменшення маси тіла не настільки сильно змінює фізіологічну реакцію на стандартну потужність.

Варто зазначити, що *велоергометри мають і недоліки*. Якщо ви нерегулярно працюєте на велоергометрі, м'язи ваших ніг, імовірно за все, стомляться раніше, ніж тіло. Крім того, пікові (максимальні) показники деяких фізіологічних перемінних, отриманих при роботі на ергометрі, часто виявляються нижче від цих же показників, отриманих при виконанні роботи на тредбані. Це може бути обумовлено локальною втомою ніг, скупченням крові в ногах (менша кількість крові повертається до серця) або тим, що при роботі на велоергометрі бере участь менше м'язів, ніж при виконанні роботи на тредбані.

Тредміли (тредбани).

Тредміли є ергометрами, які сьогодні користуються широкою популярністю серед дослідників і лікарів. Мотор і система роликів приводять у рух велику конвеєрну стрічку, на якій випробуваний може або йти, або бігти. Довжина і ширина її повинні відповідати розмірам тіла і довжині кроку. На занадто вузьких або коротких тредмілах практично неможливо здійснити тестування спортсменів високого класу.

Тредміли мають ряд переваг. На відміну від більшості велоергометрів інтенсивність роботи на тредмілах не потрібно контролювати: якщо ви не підтримуєте швидкість, рівну швидкості руху стрічки, ви попросту «зійдете» з нього. Ходьба на тредмілі є природним видом діяльності, тому пристосуватися до неї досить легко, для цього потрібно не більш 1-2 хв. Окрім того, пересічні люди майже відразу досягають максимальних для себе фізіологічних показників на тредмілі, у той час як деякі спортсмени досягають більш високих

показників на ергометрах, що відповідають їх режиму тренувальних занять або змагань.

Тредміли, однак, мають і низку недоліків. Вони, як правило, коштують дорожче, ніж велоергометри. Крім того, вони більш громіздкі, для їхнього використання необхідна електрична енергія. Важко точно виміряти тиск крові під час виконання роботи на тредмілі, оскільки шум від його роботи утрудняє прослуховування за допомогою стетоскопа. Також важко точно виміряти тиск крові при збільшенні швидкості руху стрічки. Не менш важко взяти пробу крові в людини, що знаходиться на тредмілі.

Точно оцінити функціональний стан організму людини не можна, вивчаючи лише один функціональний показник. Необхідне комплексне вивчення функціонального стану організму, яке включатиме показники, що характеризують різні функції органів і систем організму. Проте комплексне вивчення функціонального стану організму вимагає реєстрації великої кількості різноманітних показників, застосування яких потребує досить складної апаратури і здійснення громіздких досліджень. При цьому в багатьох видах спорту не вдається забезпечити дослідження в умовах специфічних навантажень, що суттєво знижує якість оцінки. Для розв'язання цієї проблеми фахівці використовують різноманітні організаційно-методичні підходи, що дозволяють вивчати функціональні можливості спортсмена в специфічних умовах, наближених до його професійної діяльності.

Однак бігові й велоергометричні навантаження дають найточнішу інформацію при обстеженні бігунів і велосипедистів, оскільки для них таке навантаження є специфічним. Гарні результати вдається одержати і при обстеженні ковзанярів, лижників, футболістів. У видах спорту, де переважне навантаження пов'язане з роботою м'язів плечового пояса (плавання, веслування тощо), результативність досліджень із застосуванням велоергометричних і бігових навантажень знижується.

Тому поруч із дослідженнями в умовах роботи на велоергометрі чи бігу на тредмілі фахівці намагаються проводити дослідження і в умовах специфічних навантажень. Так, у плаванні застосовується дозоване плавання на прив'язі чи в гідродинамічному каналі; у веслуванні – у природних умовах чи спеціальному басейні; в різних видах боротьби використовуються навантаження з дозованою кількістю стандартних кидків манекена тощо.

Часто оцінку функціональних можливостей спортсменів здійснюють не за показниками, зареєстрованими під час роботи, а за реакціями найважливіших функціональних систем організму в найближчому відновному періоді. Після напружених і тривалих навантажень протягом першої хвилини відновного періоду реакції організму спортсменів, як правило, несуттєво відрізняються від тих, які реєструвались під час роботи.

Варто зазначити, що чим різноманітніший характер тренувальної та змагальної діяльності спортсменів (складнокоординаційні види спорту, спортивні ігри і єдиноборства) або умови, в яких вона здійснюється (гірськолижний спорт, бобслей тощо), тим складніші умови для збору різнобічної інформації, що відображає можливості енергетичного забезпечення

роботи. В цих умовах доводиться суттєво спрощувати програму досліджень, зменшувати кількість реєстрованих показників, що призводить до обмеження обсягу отриманої інформації.

Відмінність оздоровчих тренажерів від спортивних і апаратів механотерапії. Промисловість налагодила випуск різноманітних тренажерів для оздоровчих цілей. Вони істотно відрізняються від спортивних тренажерів і апаратів механотерапії, як за конструкцією, так і за методикою використання.

У спортивній практиці тренажери використовуються для вдосконалення тренувального процесу, розвитку фізичних якостей, досягнення рекордних спортивних результатів. Це тренажери, які дають інформацію про технічні характеристики рухів спортсмена, розроблені, головним чином, для вдосконалення його фізичної, тактичної, теоретичної та психологічної підготовки. Складні прилади дають можливість не лише створювати необхідні поєднання режимів роботи м'язів, умови для поєданого розвитку фізичних якостей і вдосконалення техніки спортивного руху, але й цілеспрямовано впливати на окремі м'язи або м'язові групи. Фахівці розробляють тренажери для вдосконалення техніки й ритму спортивних рухів, для налагодження ритмів роботи м'язів і поліпшення міжм'язової координації.

На відміну від спортивних тренажерів, апарати механотерапії призначені для поглиблення, уточнення дії вправ. Різні модифікації апаратів, з використанням активних і пасивних рухів, вібрацією тощо, вибірково впливають на організм, ефективно допомагають хворим, у яких порушений опорно-руховий апарат.

Головним призначенням оздоровчих тренажерів є підвищення ефективності фізичних вправ, чітка цільова спрямованість основної дії вправи на тренажері, вибір характеру і способу її виконання дозволяють керувати тренувальним процесом, не допускаючи перенапружень і перетренувань.

Правила фізичного тренування на велотренажері.

1. До початку тренування варто відрегулювати висоту сидіння так, щоб одна нога була повністю випрямлена, а середина її підйому торкалася педалі.

2. Висота керма встановлюється трохи нижче від рівня плечей. Найбільш зручна поза – трохи нахилившись уперед (поза велосипедиста).

Частота обертів педалей має становити 60 уд/хв. При інших швидкостях педалювання наведені розрахунки тренувальних навантажень не дійсні.

4. При навіть незначному підвищенні температури тіла внаслідок простудних та інших захворювань тренування на велотренажері протипоказані. Відновити заняття після перенесеного грипу можна не раніше, ніж через 2-4 тижні, ангіни – 3-4 тижні, бронхіту або ГРВІ – 2-3 тижні, запалення легень і гострих інфекційних захворювань – 1-2 місяці, гострого нефриту – 8-12 місяців, інфекційного гепатиту – 8-12 місяців, струску мозку – до 1 року. При цьому відновлювати заняття потрібно за програмою на ступінь нижче (наприклад, особи із середнім рівнем фізичного стану після перенесеного захворювання або тривалої перерви з інших причин починають тренуватися за програмою 2).

5. Після встановлення необхідної потужності навантаження її підвищують поступово: 1-2 хв – розминка з потужністю навантаження 50 % від

необхідної; 1-2 хв – виконання роботи потужністю 75% від тренувальної; залишок часу відводиться на роботу оптимальної потужності.

6. Якщо навантаження виявиться занадто великим, його трохи зменшують. З появою під час роботи утрудненого дихання, болях у ділянці серця, нудоти, холодного поту, навантаження варто негайно припинити, лягти на кушетку, прийняти валідол. Якщо самопочуття поліпшиться, необхідно викликати лікаря.

Наприкінці тренування темп педалювання зменшується поступово протягом 1-2 хв.

Неприпустиме тренування в приміщеннях із температурою навколишнього середовища вище 25°C, вологістю понад 50 %, що містять пил, газу, шкідливі домішки, які перевищують норму.

9. Перед тренуванням не рекомендується пити міцну каву, чай; неприпустимими є прийом спиртних напоїв, розумова або фізична перевтома, викурювання великої кількості сигарет.

10. При задовільному стані той, хто займається, веде щоденник самоконтролю, в який записує дані тестування за однією з експрес-систем контролю і не рідше одного разу на 6 місяців консулюється з лікарем. З появою будь-яких відхилень у стані здоров'я необхідно негайно звернутися до лікаря.

? Питання для контролю

1. Назвіть основні чинники витривалості. Наведіть приклади.
2. З яких фракцій складається механічна робота, що здійснюється людиною при виконанні фізичних вправ?
3. Перелічіть способи підвищення економічності рухової діяльності.
4. Які рухові переключення можуть бути використані для підвищення економічності рухової діяльності та механічної продуктивності?
5. У чому полягає сутність принципу мінімуму енерговитрат?
6. Поясніть, яким чином взаємопов'язані силові та швидкісні якості?
7. Від яких основних чинників залежить сила тяги м'яза й сила, яку демонструє людина?
8. За якими критеріями обирається тренажер для розвитку швидкісних і силових якостей в конкретному виді спорту?
9. Які умови забезпечують стійкість тіла?



Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханічні основи рухових якостей».
2. Навести приклади тренажерів, які використовуються у вашому виді спорту.

Тема 5. Диференціальна біомеханіка

Диференціальною біомеханікою називається розділ біомеханіки, що вивчає індивідуальні та групові особливості рухових якостей і рухової діяльності людей.

Будова тіла та рухові можливості. Рухові можливості людей, як і багато індивідуальних якостей спортивної техніки, значною мірою залежать від особливостей будови тіла. До них насамперед належать: а) тотальні розміри тіла – основні розміри, які характеризують його величину (довжина тіла, вага, периметр грудної клітки, поверхня тіла тощо); б) пропорції тіла – співвідношення розмірів окремих частин тіла (кінцівок, тулуба тощо); в) конституційні особливості.

Тотальні розміри тіла в людей суттєво різняться. В одному виді спорту (наприклад, у боротьбі або важкій атлетиці) можна виділити спортсменів із вагою тіла менше 50 і більше 150 кг. Рухові можливості цих спортсменів будуть різними. При однаковому рівні тренуваності люди більшої ваги можуть виявляти більшу силу дії. З цим пов'язаний поділ на вагові категорії в таких видах спорту, як боротьба, бокс, важка атлетика.

Для порівняння силових якостей людей різної ваги, як правило, використовують поняття *«відносна сила»*, під яким розуміють величину сили дії, яка припадає на один кілограм власної ваги. Силу дії, яку спортсмен виявляє в будь-якому русі, не зіставляючи її з власною вагою, називають *абсолютною силою*.

Відносна сила = абсолютна сила / власна вага.

У людей однакової тренуваності, але різної ваги абсолютна сила із збільшенням ваги зростає, а відносна знижується.

При оцінці максимальних показників інтенсивності людей різних тотальних розмірів тіла треба враховувати те, що час виконання рухів (наприклад, одного кроку або випрямлення ноги при відштовхуванні, або навіть час дихального або серцевого циклу) при інших рівних умовах залежить від розмірів тіла. Зі збільшенням лінійних розмірів тіла час окремих рухів збільшується.

При ходьбі й бігу довжина та частота кроків значною мірою обумовлені розмірами тіла і насамперед довжиною ніг. Наприклад, при однаковій довжині тіла діти більш старшого віку роблять під час бігу кроки більшої довжини, що пояснюється більшою (в середньому) довжиною ніг.

Пропорції та конституціональні особливості тіла, як і тотальні розміри, впливають на вибір виду спорту, вузької спеціалізації в межах даного виду, варіанта спортивної техніки, а також тактики дій у ході змагань (наприклад, у єдиноборствах).

Так, техніка підйому штанги різна в атлетів з однією ваговою категорією та довжиною тіла, але різними пропорціями (довгі ноги - короткий тулуб або короткі ноги - довгий тулуб тощо). У боротьбі спортсмени більш низького зросту щодо свого опонента не показують високої результативності,

застосовуючи, наприклад, такий прийом, як кидок прогином; проте кидки через спину і підхватом в цьому випадку є більш ефективними.

У спортсменів високого класу навіть окремі дрібні особливості тіла можуть мати значення. Наприклад, у важкоатлетів довга кисть дозволяє захватити штангу при ривку всіма пальцями; при короткій кисті захват виконується лише трьома пальцями, що знижує його силу. Не випадково у більшості рекордсменів світу в ривку довжина кисті перевищує середні розміри. У практичній роботі тренери мають враховувати неоднакові рухові можливості людей з різною будовою тіла.

Вікові зміни рухових можливостей. *Онтогенезом моторики* називається зміна рухів і рухових можливостей людини протягом її життя. Новонароджена дитина не володіє найпростішими довільними рухами. З віком її рухові можливості розширюються, досягають максимуму та поступово знижуються в процесі старіння.

Удосконалення рухових можливостей у процесі вікового розвитку відбувається під впливом двох чинників – дозрівання і навчання. Дозрівання – це генетично обумовлене удосконалення систем організму. Навчання – результат педагогічного впливу. Взаємодія цих чинників може носити різний характер: нейтральний, синергічний (односпрямований) або антагоністичний (протилежний). Причому при синергічній взаємодії сумарний ефект більший, ніж сума ефектів від кожного чинника.

У дітей, що виховуються в звичайних умовах, існує визначена послідовність оволодіння основними руховими діями. При дослідженні близнюків встановлено, що дитина, яка знаходиться в суспільстві інших людей, навчається брати в руку іграшку, сидіти, стояти і ходити у визначений термін незалежно від того, навчали її чи ні. Це приклад нейтральної взаємодії навчання і дозрівання.

Діти, позбавлені людського суспільства, не опановують типовими для людини видами рухової діяльності, наприклад прямоходінням. Тому чимало історичних свідчень – наприклад, життя Гаспара Хаузера – юнака, що в дитячому віці був поміщений в одиночну камеру і, ніколи не бачачи людей, не володів типово людськими рухами.

Педагогічний вплив ефективний лише за умови, що досягнуто визначений рівень зрілості організму. У житті людини є *сенситивні періоди* – найбільш сприятливі для оволодіння різними руховими діями або руховими якостями. Подібне до цього явище *імпринтингу* (закарбовування) спостерігається у тварин: відповідна рухова реакція з'являється відразу, нібито в готовому вигляді, але лише в тому випадку, коли стимул, що викликає цю реакцію, пред'являється в суворо визначений період життя. Наприклад, курча невідступно йде за квочкою або будь-яким рухливим предметом (черевиком, м'ячем, кішкою тощо), який вперше потрапив у поле його зору після вилуплення з яйця.

У людини імпринтинг спостерігається протягом перших 3-5 років життя. Оскільки імпринтинг характеризується швидкістю, тривалістю, необоротністю і міцністю, тому дуже важливо, щоб мікросуспільству, яке оточує дитину, були

притаманні загальнолюдські цінності (гуманізм, справедливість, чесність тощо).

Завдання педагога – поєднати навчальні заходи із сенситивним періодом розвитку і тим самим домогтися синергізму процесів дозрівання та навчання. Визначено, що в ці періоди можна досягти позитивних зрушень, застосовуючи навіть невеликий обсяг тренувальних вправ на уроках фізичної культури в школі.

Сенситивні періоди розвитку фізичних якостей. Педагогічний вплив ефективний лише за умови досягнення визначеного ступеня зрілості організму. У житті людини є *сенситивні періоди* – найбільш сприятливі для оволодіння різними руховими діями або руховими якостями. Подібне до цього явище *імпринтингу* (закарбовування) спостерігається у тварин: відповідна рухова реакція виникає відразу, нібито в готовому вигляді, але лише в тому випадку, коли стимул, що викликає цю реакцію, з'являється в строго визначений період життя.

У людини імпринтинг спостерігається протягом перших 3-5 років життя. Оскільки імпринтинг характеризується швидкістю, тривалістю, необоротністю та міцністю, дуже важливо, щоб мікросуспільству, яке оточує дитину, були притаманні загальнолюдські цінності – гуманізм, справедливість, чесність тощо.

Завдання педагога – поєднати навчальні заходи із сенситивним періодом розвитку і тим самим домогтися синергізму процесів дозрівання та навчання. Доведено, що в ці періоди можна досягти позитивних зрушень, застосовуючи навіть невеликий обсяг тренувальних вправ на уроках фізичної культури у школі.

У кожному виді рухової діяльності є віковий діапазон, у якому досягаються найвищі спортивні результати.

Рухові можливості людини інтенсивно розвиваються в юності й поступово згасають у зрілому віці. До певної міри це компенсується тренуванням і досвідом, особливо у видах рухової діяльності зі складною технікою та тактикою.

Руховий вік. Якщо виміряти результати в якихось швидкісних завданнях великої групи дітей одного віку, то можна визначити середні досягнення, які вони показують. Знаючи потім результати якоїсь дитини, можна встановити, для якого віку в середньому характерний даний результат. Таким чином визначають руховий вік дітей. Наприклад, у стрибках у довжину з місця різним результатам відповідає такий руховий вік:

Результат, см	Руховий вік, роки та місяці
170	12 – 5
180	13 – 4
190	14 – 2
200	14 – 10

Це означає, що результат 170 см показують діти в середньому в 12 років і 5 місяців, і навпаки, діти в 12 років і 5 місяців у середньому стрибають у довжину з місця на 170 см. Звичайно, не всі діти одного й того ж віку показують однакові результати. Дітей, у яких руховий вік випереджає календарний, називають руховими *акселератами*. Дітей, у яких руховий розвиток відстає, називають руховими *ретардантами*. Наприклад, якщо підліток віком 14 років і 2 місяці стрибає у довжину з місця на 170 см, він руховий ретардант (у цій вправі), а якщо його результат перевищує 210 см – руховий акселерат.

Акселерати в одних рухових завданнях можуть бути ретардантами в інших. Наприклад, дитина може випереджати своїх однолітків у силових вправах і відставати у вправах, що потребують прояву витривалості або влучності. Повні акселерати або ретарданти зустрічаються рідко.

Якщо дитина з якоїсь причини потрапляє в несприятливі умови (хвороба, неповноцінне харчування тощо), то темпи розвитку моторики у неї уповільнюються. Однак після усунення цих шкідливих впливів, якщо вони не були надмірними, рухові можливості дитини розвиваються прискореними темпами так, що вона повертається, як у даному випадку говорять, у свій «канал розвитку». Подібну властивість живих організмів (вона стосується не тільки рухів, але й інших показників) називають гомеорезом (підтримання сталості в системах, що розвиваються).

Питання вікових змін у розвитку опорно-рухового апарату та показників моторики у дітей повинно завжди враховуватися тренером або вчителем фізичного виховання при плануванні навантаження та характеру обраних фізичних вправ для навчання рухів і розвитку фізичних якостей.

Для оцінки рухового віку розроблені таблиці, в яких представлені середні для даного календарного віку результати виконання різних рухових завдань. Застосовуючи такі таблиці (наприклад, навчальні нормативи в шкільній програмі з фізичного виховання), варто враховувати, що показники рухового віку в різних регіонах країни (і в різних країнах) можуть істотно різнитися залежно від кліматичних умов, етнографічних особливостей, соціальних чинників.

Прогностична інформативність показників моторики. Часто постає питання про те, які будуть рухові можливості людини через кілька років (наприклад, дитини, коли вона стане дорослою). Відповіді на це питання допомагають матеріали досліджень спадкових впливів (спортивних родин, близнюків тощо), а також лонгітюдні (тобто тривалі, протягом ряду років) спостереження за показниками моторики дітей.

Вік, коли здійснюється прогнозування, прийнято називати ювенільним. Величини показників, зареєстровані в цьому віці, називаються *ювенільними показниками*. На відміну від них *дефінітивні показники* можна буде зареєструвати в дефінітивному віці, для якого робиться прогноз. Наприклад, значення показників у дитячому віці називають ювенільними, а в дорослому – дефінітивними. Мірою прогностичної інформативності показників моторики є коефіцієнт кореляції між значеннями ювенільних і дефінітивних показників.

Найбільш упевнений прогноз дають показники моторики, визначені в препубертатному віці. У період статевого дозрівання прогностична інформативність знижена, що пояснюється змінами, які відбуваються в організмі. Після досягнення 17-18 років вона знову зростає, наближаючись до максимального значення, рівного надійності (стабільності) тесту.

Стабільність різних показників моторики неоднакова. Найбільш стабільні показники витривалості. Наприклад, величина коефіцієнта надійності результату в плаванні збільшується з 0,44 на відріжку 50 м до 0,85 на дистанції 800 м. Найменшою стабільністю володіють показники, що характеризують точність влучення в ціль, особливо в дітей і підлітків. У міру вікового розвитку людини і підвищення спортивної кваліфікації стабільність показників моторики збільшується.

Рухові переваги. Більшість людей виконує побутові та спортивні рухи певною рукою, ногою, в якусь одну зі сторін тощо. Такі рухові асиметрії називають *руховими перевагами*. Сторона, якій надається перевага, або кінцівка називається *домінантною*. Люди, що однаково володіють обома кінцівками, називаються амбідекстриками (від лат. «амбо» – обидва, «декстер» – правий).

Вважається, що приблизно 25% людей народжуються праворукими, 25% – ліворукими і 50% – амбідекстриками. Потім під впливом соціальних чинників усі амбідекстрики і велика частка ліворуких людей стають праворукими. Цим пояснюється той факт, що в розвинутих країнах переважна більшість людей прагнуть користуватися правою рукою, права нога є маховою, а повороти вони звичайно роблять у ліву сторону. У відсталих у своєму розвитку племен виявлена приблизно однакова кількість право- і ліворуких. Таким чином, ніяких об'єктивних причин для кращого користування правою рукою немає, за винятком традицій, що склалися історично.

У спорті вміння виконувати технічні дії в обидва боки вважається ознакою високої спортивної майстерності, особливо в єдиноборствах і спортивних іграх. Однак такі рухові амбідекстрики спостерігаються досить рідко, у спортивних іграх вони становлять лише близько 5% від загальної кількості майстрів спорту. Основи такої майстерності потрібно закладати на ранніх етапах навчання спортивної техніки.

Інші рухові переваги виявляються у виборі індивідуального темпу виконання рухів, їх швидкості, просторової витривалості тощо. Багато з цих характеристик виявляються досить стабільними і добре відтворюються через декілька років життя.

? Питання для контролю

1. Поясніть, як впливають розміри тіла на основні фізичні якості.
2. Як пов'язані рухові можливості людини з її віком?
3. У чому полягає різниця між показниками календарного та рухового віку? В яких випадках вони збігаються?
4. Чим відрізняються акселерати від ретардантів?

5. Про що може свідчити високе значення коефіцієнта кореляції між ювенільними й дефінітивними значеннями рухових показників?
6. Які періоди в житті людини називаються сенситивними?
7. Чому в різних видах спорту існує віковий діапазон, в якому спортсмени частіше домагаються видатних результатів?
8. Що означає вираз «домінантна кінцівка»?
9. Як визначається коефіцієнт латеральної переваги?



Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Диференціальна біомеханіка».
2. Навести приклади впливу розмірів тіла на фізичні якості у вашому виді спорту.
3. Розрахувати коефіцієнт латеральної переваги на прикладі вашого виду спорту.

Тема 6. Прикладна біомеханіка. Біомеханіка ходьби та бігу

Ходьба та біг належать до найбільш давніх способів пересування.

За 70 років життя людина робить у середньому 500 мільйонів кроків і долає шлях, який приблизно дорівнює відстані від Землі до Місяця (384 тис. км).

Ми звикли, що йти пішки означає пересуватися повільно. Але наше життя сьогодні настільки інтенсивне, що і ходьба стала стрімкою. Переможець Кубка світу зі спортивної ходьби в 1983 р. пройшов 20 км із середньою швидкістю $15,9 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$.

Результати в бігу також не залишаються на місці. Чоловіки у 100-метровому спринті подолали десятисекундний бар'єр, а жінки оволоділи марафоном.

Будучи «фундаментальними людськими рухами», ходьба і біг цікаві самі по собі. Але, крім того, через свою загальнодоступність вони використовуються для вивчення загальних закономірностей циклічних локомоцій.

Кінематика ходьби та бігу. Як і у всіх циклічних локомоціях, при ходьбі та бігу швидкість пересування прямо пропорційна довжині кроку й темпу: $v = Ln/60 \text{ хв}$, де v – швидкість пересування ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$); L – довжина кроку (м); n – частота кроків ($\text{раз} \cdot \text{хв}^{-1}$). Щоб визначити темп ходьби або бігу реєструють кількість кроків за хвилину, або частоту кроків. Швидкість пересування може бути досягнута при різних поєднаннях довжини та частоти кроків. Збільшити швидкість можна трьома способами: збільшити довжину кроку, прискорити темп, одночасно домогтися збільшення і довжини, і частоти кроків.

Фазовий склад ходьби й бігу, граничні пози та елементарні дії. Для того щоб зрозуміти, як людина ходить або бігає, насамперед потрібно вивчити фазовий склад цих локомоцій. У міру збільшення швидкості пересування:

при ходьбі скорочується період подвійної опори (коли обидві ноги знаходяться на землі) аж до майже повного його зникнення при спортивній ходьбі;

при бігу збільшується відношення тривалості періоду польоту (коли обидві ноги не торкаються опори) до тривалості періоду опори.

Відомості про швидкість, темп, довжину кроку, тривалість опори, перенесення ноги й польоту необхідні для удосконалення тактики ходьби та бігу і дають загальне уявлення про техніку. Проте їх недостатньо, щоб відповісти на два дуже важливих питання: 1) Як організована рухова дія? 2) Як нею оволодіти?

Для відповіді на ці питання насамперед потрібні більш докладні хронограми.

Розглянемо фазову структуру ходьби. Кожен напівцикл звичайної ходьби складається з п'яти фаз (римські цифри). Фази відділені одна від одної п'ятьма граничними позами (арабські цифри). Назвемо ці пози й фази між ними для одного напівциклу:

1 – відрив стопи правої ноги від опори;

I – підсідання на лівій (опорній) нозі, її згинання в колінному суглобі;

2 – початок розгинання лівої ноги;

II – випрямлення лівої ноги, її розгинання в колінному суглобі;

3 – момент, коли права нога в процесі перенесення почала випереджати ліву;

III – винесення правої ноги з опорою на всю ступню лівої ноги;

4 – відрив п'яти лівої ноги від опори;

IV – винесення правої ноги з опорою на носок лівої ноги;

5 – постановка правої ноги на опору;

V – подвійна опора, перехід опори з лівої ноги на праву.

У другому напівциклі фази та граничні пози ті ж самі, тільки в їх назвах праву ногу потрібно замінити на ліву, а ліву – на праву.

Коли говорять про фазовий склад рухової дії, мають на увазі рух усього тіла (в даному випадку обох ніг). Для розуміння механізмів ходьби потрібно знати, які елементарні дії виконуються кожною ногою. За часом вони не завжди збігаються із фазами ходьби. Під час періоду опори виконуються: амортизація, переكات із п'яти на всю ступню, відштовхування і переكات із усієї ступні на носок. У періоді перенесення нога спочатку згинається, а потім розгинається в колінному суглобі. З елементарних дій формуються фази.

Фазовий склад бігу є таким. Кожна половина циклу складається з чотирьох фаз (римські цифри), відділених один від одного граничними позами (арабські цифри). У тому числі:

1 – відривання лівої стопи від опори;

I – розведення стоп;

2 – початок винесення лівої ноги вперед;

II – зведення стоп із винесенням лівої ноги вперед;

3 – постановка правої стопи на опору;

III – амортизація, або підсідання зі згинанням правої (опорної) ноги;

4 – початок розгинання правої ноги;

IV – відштовхування з випрямленням правої ноги до відриву від опори.

Друга половина циклу симетрична першій. У назвах фаз і граничних поз права нога замінюється лівою і навпаки.

Топографія м'язів, які працюють під час бігу, показує, що навантаження прилягає в основному на ті ж м'язи, що і при ходьбі. Однак неоднакова міжм'язова координація (послідовність збудження та розслаблення м'язів) і, крім того, ступінь напруження м'язів при бігу істотно вищий.

Динаміка ходьби та бігу. Людина є саморушійною системою, оскільки першопричиною її рухів є внутрішні сили, які створюються м'язами та прикладаються до рухливих ланок тіла. До внутрішніх належать і сили інерції, які прикладаються до ланок тіла («фіктивні» сили інерції) або до зовнішніх предметів («реальні» сили інерції).

Сила інерції ($F_{ин}$) дорівнює добуткові маси всього тіла або окремої ланки на його прискорення і спрямована убік, протилежний прискоренню. Тому сила інерції сповільнює і розгін, і гальмування.

Поряд із внутрішніми на людину діють *зовнішні сили*. При ходьбі і бігу до них відносяться: сила тяжіння, сила реакції опори, сила опору повітря.

Сила тяжіння (гравітаційна сила) прикладена до центра мас і дорівнює добуткові маси тіла на прискорення земного тяжіння: $G=mg$ ($g=9,8 \text{ м}\cdot\text{с}^2$). Наприклад, при масі тіла 50 кг сила ваги близька до 500 Н.

Сила лобового опору повітря прикладена 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.

Сила реакції опори не є рушійною силою, але її вимірюють і зображують графічно, для того щоб визначити результат спільної дії всіх сил (і внутрішніх, і зовнішніх).

Як же формується опорна реакція? Відштовхуючись від опори, людина діє на неї з силою відштовхування, що включає два компоненти – статичний і динамічний. Динамічний компонент – може мати місце лише під час рухів, які виконуються із прискоренням, коли все тіло або окремі ланки розганяються або гальмуються.

На величину сили дії на опору впливають властивості доріжки і матеріал, з якого виготовлене взуття. Різниця у величині вертикальної складової опорної реакції при ходьбі у взутті з твердою шкіряною підошвою і підошвою з мікропористої гуми досягає 350 Н.

М'яке покриття доріжки і взуття з амортизаторами забезпечують техніці ходьби й бігу більшу відповідність критерію комфортабельності. Тим самим зменшується тиск на суглоби й міжхребцеві диски. Не випадково ті, хто бігає підтюпцем по асфальту й у твердому взутті, часто скаржаться на болі в попереку й суглобах.

Енергетика ходьби та бігу. При ходьбі й бігу величина механічної енергії залежить від швидкості руху тіла і його ланок, а також їх розташування, тобто кінетичної та потенційної енергії. При ходьбі й бігу людина витрачає енергію не тільки на горизонтальні, але і на вертикальні та поперечні переміщення загального центра мас.

Залежно від фази циклу величина кінетичної та потенційної енергії тіла змінюється. Характер цих змін у ходьбі та бігу принципово різний. Під час ходьби максимум кінетичної енергії збігається з мінімумом потенційної, а під час бігу максимум кінетичної енергії збігається з максимумом потенційної. Отже, при ходьбі відбувається рекуперація енергії, тобто її збереження шляхом переходу кінетичної енергії в потенційну енергію гравітації і навпаки, а при бігу цей вид рекуперації практично відсутній. Проте під час бігу більше виражений інший вид рекуперації, коли кінетична енергія переходить у потенційну енергію активних м'язів, які діють як пружина.

Енерговитрати на 1 м шляху при ходьбі менші, ніж при бігу, але лише при низьких швидкостях пересування. При високих швидкостях біг, навпаки, більш економічний, ніж ходьба. Зона, де більш вигідний біг, відділена від зони, де більш вигідна ходьба, граничною швидкістю. *Гранична швидкість*

$$\Phi = \frac{v^2}{gL_0},$$

визначається *числом Фруда* (Φ), яке обчислюється за формулою: де g – прискорення земного тяжіння ($m \cdot c^2$); v – швидкість пересування людини ($m \cdot c$); L_0 – висота загального центра мас тіла в основній стійці (м).

Якщо число Фруда менше одиниці ($\Phi < 1$), то більш вигідною є ходьба, а при $\Phi > 1$ більш вигідний біг. Гранична швидкість відповідає умові $\Phi = 1$, а отже, може бути розрахована за формулою:

$$v_p = \sqrt{gL_0} \cong \sqrt[3]{L_0} \left(\frac{m}{c} \right) \cong \sqrt[10]{L_0} \text{ км/ч};$$

Енергетичні витрати залежать від багатьох чинників, у тому числі від поєднання довжини та частоти кроків. При занадто коротких або надто довгих кроках (що відповідає недостатній або надмірній силі відштовхування) енерговитрати на 1 м шляху вищі, ніж при оптимальному поєднанні довжини та частоти кроків. Наприклад, відхилення довжини кроку від оптимальної величини на 6% при бігу зі швидкістю 4 м·с збільшує енергетичні витрати на метр шляху в середньому на 1 Дж.

Оптимізація ходьби та бігу. Для оптимізації ходьби й бігу насамперед необхідно мінімізувати непродуктивні енерговитрати.

Це важливо й у тому випадку, коли критерієм оптимальності слугує економічність і коли основною метою є покращення результату змагань.

У процесі оптимізації ходьби й бігу вирішуються такі завдання:

1) Вибір оптимальної швидкості, довжини кроку та темпу.

Найбільш економічні величини швидкості, довжини кроку і темпу змінюються з віком. У дітей і людей похилого віку рівні оптимальних показників нижче (за винятком темпу в дітей), ніж у здорових людей у віці розквіту рухових можливостей. На їхню величину впливає низка чинників: стан

здоров'я, спортивна кваліфікація, ступінь тренуваності, стомлення, якість взуття тощо.

2) Зниження вертикальних і поперечних коливань ЗЦМ.

У ходьбі й бігу корисною роботою є лише горизонтальна зовнішня робота. Вертикальні та поперечні переміщення тіла належать до непродуктивних рухів. Однак помилково думати, що, усунувши вертикальні переміщення тіла зовсім, можна зробити ходьбу й біг більш економічними. Навпаки, при повній відсутності вертикальних коливань їхня енергетична вартість зростає, тому що рухи стають скутими і втрачається та частина енергії, що при природній техніці рухів рекуперується. Існує оптимальна величина розмаху вертикальних коливань ЗЦМ, при якій енерговитрати при ходьбі та бігу мінімальні.

Для усунення непродуктивних переміщень тіла доцільно використовувати повороти таза. Завдяки поворотам таза не тільки зменшуються вертикальні та бічні коливання тіла, але й подовжується крок і прискорюється постановка стопи на опору.

Поряд з оптимальною швидкістю, про яку вже розповідалося, має важливе значення зона економічних режимів пересування. Зоною економічних режимів називається діапазон швидкостей від оптимальної (найбільш економічної) до граничної, що відповідає рівню анаеробного порогу. Зменшення швидкості бігу та ходьби порівняно з оптимальною нераціонально, тому що це призводить до зростання енергетичної вартості метра шляху. Біг зі швидкістю, що перевищує граничну, викликає накопичення в організмі молочної кислоти та інших продуктів метаболізму, а це призводить до сильного стомлення.

Пересування з найбільш економічною швидкістю використовується як підтримуюче фізичне навантаження, для хворих і ослаблених таке навантаження є розвивальним. Гранична інтенсивність бігу в спорті вважається оптимальною при формуванні основ витривалості.

? Питання для контролю

1. Чим відрізняється ходьба від бігу?
2. Чому на змаганнях зі спортивної ходьби спортсмена знімають з дистанції, якщо в хронограмі його дій фіксується період польоту?
3. Які розбіжності в кінематиці ходьби та бігу?
4. Який механізм відштовхування при ходьбі та бігу? Поясніть роль махових рухів.
5. Які зовнішні сили діють на людину під час ходьби та бігу?
6. Що впливає на величину сили лобового опору повітря та як вона залежить від швидкості пересування?
7. Який характер зміни кінетичної та потенційної енергії при ходьбі й бігу?
8. Які різновиди рекуперації енергії мають місце при ходьбі й бігу?

9. Що таке оптимальна швидкість і оптимальне поєднання довжини та частоти кроків?

10. Що таке зона економічних режимів? Як її визначити і як використовувати ці відомості при програмуванні рухових режимів?

11. Які величини оптимальної швидкості ходьби в людей різного віку?

12. Який вид пересування (біг або ходьба) більш економічний? Чому?

13. Який критерій оптимальності є основним, коли спортсмен прагне досягти максимальної середньої дистанційної швидкості?

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Прикладна біомеханіка. Біомеханіка ходьби та бігу».

2. Побудувати хронограми ходьби та бігу.

3. Визначити для себе оптимальну швидкість пересування при виконанні циклічних вправ за допомогою числа Фруда.

Тема 7. Біомеханіка пересування на лижах та велосипеді

Біомеханіка пересування на лижах

Прагнучи підвищити швидкість пересування, людина здавна використовувала різні технічні пристосування. Найбільш популярні й доступні з них – велосипед і лижі.

Перші лижі були «снігоступами», вони дозволяли порівняно легко пересуватися по пухкому глибокому снігу, де пройти пішки дуже важко. На таких лижах не ковзали, а ходили по снігу.

Значно пізніше з'явилися лижі, подібні до сучасних, – довгі та вузькі. Спочатку навіть занадто довгі, оскільки вважали, що чим довша лижа, тим більшою буде швидкість бігу. У столиці Норвегії, м. Осло, в лижному музеї виставлені лижі довжиною 3 м 76 см.

Сучасні лижні гонки – це спорт витривалих, сильних, швидких і сміливих, де довжина дистанції буває 50 км і більше, а швидкість (на спусках) – до $60 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Кінематика лижних ходів. Використовуються різні способи пересування (лижні ходи), вибір яких залежить від рельєфу місцевості, умов ковзання, рівня підготовленості лижника. Рухові дії лижника носять циклічний характер. Цикл поділяється на часові інтервали – періоди, що складаються з окремих фаз. Межею між сусідніми фазами вважається момент, коли лижник знаходиться в суворо визначеному положенні (граничній позі) і починається виконання завдання наступної фази.

Лижні ходи поділяються за способом відштовхування палицями на попеременні й одночасні. За кількістю кроків в одному циклі виокремлюють двокроковий, чотирикроковий і безкроковий ходи.

Поперемінний двокроковий хід використовується на рівнинних ділянках і пологих схилах (до 2°), а при дуже гарному ковзанні на підйомах середньої крутості (до 5°).

Одночасний однокроковий хід використовується на рівнинних ділянках, на пологих підйомах, а також на ухилах при хорошому ковзанні. У кожному циклі лижник робить одне відштовхування одночасно двома палицями й одне відштовхування лижею.

У цьому способі значне переміщення за цикл (близько 7 м) поєднується з невисокою частотою кроків (близько 0,75 крок/с).

Одночасний двокроковий хід – це такий спосіб, коли одне відштовхування палицями припадає на два відштовхування лижами – лівою та правою. Він найбільш економний з усіх інших лижних ходів (окрім поперемінного чотирьокрового), але не забезпечує високої швидкості, тому висококваліфіковані лижники ним не користуються.

Одночасний безкроковий хід використовується на рівнинних ділянках і пологих спусках при звичайному й хорошому ковзанні. Лижник ковзає на двох лижах, не роблячи кроків і відштовхуючись одночасно обома палицями. Цей хід використовується при швидкості не більше 7,5-8,0 м·с⁻¹, тому що при більш високій швидкості лижник не встигає відштовхуватися палицями.

Повний цикл одночасного безкрокового ходу складається з одночасного відштовхування двома руками і подальшого двоопорного ковзання на лижах.

Поперемінний чотирьокровий хід у змаганнях не використовують через низьку швидкість пересування, але він успішно практикується в туристичних походах, коли глибокий сніг не дозволяє активно відштовхуватися палицями. Цикл цього ходу складається з чотирьох ковзних кроків. На перші два кроки лижник по черзі виносить палиці вперед, на третій і четвертий кроки робить два поперемінних відштовхування палицями.

Ковзанярські способи пересування широко використовуються з 1981 р., коли фінський лижник Сіттонен, якому тоді було вже понад 40 років, уперше застосував його у змаганнях (у перегонах на 55 км) і виграв. Лижі оригінальної конструкції (пластикові, з металевими вставками) і сучасні способи підготовки траси дозволяють реалізувати переваги цього ходу у швидкості, а при рівній із класичними ходами швидкості – в економичності. У ковзанярських способах відштовхування здійснюється ковзною лижею. При цьому практично не відіграє ролі коефіцієнт зчеплення лижі зі снігом. Сила відштовхування знижена, а час відштовхування збільшений (близько 50% від тривалості кроку). У результаті зростає імпульс сили, від якої залежить ефективність відштовхування ногою.

До найбільш розповсюджених варіантів ковзанярського ходу належать: одночасний напівковзанярський хід (на одне відштовхування руками припадає одне відштовхування ногою), ковзанярський одночасний двокроковий хід (цикл ходу включає в себе одночасне відштовхування палицями і два кроки), ковзанярський одночасний однокроковий хід (одночасне відштовхування обома руками на кожне відштовхування ногою), ковзанярський поперемінний хід (на кожне відштовхування рукою припадає відштовхування однойменною ногою).

При сприятливих умовах ковзання на рівнині при пересуванні одночасним напівковзанярським ходом довжина кроку в чоловіків становить 6,5-7,5 м, у жінок – 5,5-6,7 м. У ковзанярському одночасному двокроковому ході довжина кроку трохи більша – у чоловіків 7-8 м. На підйомах крутістю 5° при пересуванні ковзанярським попереми́нним ходом довжина кроку 4-5 м, а на підйомі 10° – 2,7-3,2 м.

Перевага ковзанярського ходу перед класичними щодо швидкості досягає 15-20%. Крутість підйому $8-9^\circ$ при сприятливих умовах ковзання є граничною, коли можливості ходів зрівнюються. На більш крутих ділянках доцільніше робити підйом ковзним і ступаючим кроком, на більш пологих – ковзанярським.

Динаміка пересування на лижах. Ковзаючи по лижні, лижник відштовхується за допомогою лиж і палок. При цьому на лижника діють ті ж сили, що і на бігуна і, крім того, *сила тертя ковзання*. Її величина дорівнює добутку коефіцієнта тертя ковзання на нормальну (перпендикулярну до лижні) складову сили тиску лижі на сніг. Чим менший коефіцієнт тертя ковзання, тим довший крок і вища швидкість при тих самих енерговитратах. Для зменшення коефіцієнта тертя використовуються лижні мазі. Вибір мазі залежить від температури та стану лижні. При правильному підборі мазі (що дотепер є своєрідним мистецтвом) коефіцієнт тертя вдається знизити до 0,02-0,04. Сили дії лижі та палиці на сніг збільшуються в міру збільшення швидкості й крутості підйому. Крім того, величина сили відштовхування залежить від кваліфікації лижника.

Величина вертикальної складової сили відштовхування ногою коливається в межах 1100-1500 Н, а горизонтальної складової – 100-180 Н.

Сила відштовхування ногою мало різниться в класичних ходах (одночасному й попереми́нному). У ковзанярських способах пересування сила відштовхування ногою становить: під носком черевика – 600 Н, під підбором – 380 Н (вертикальна складова), горизонтальна складова — близько 200 Н.

Енергетика пересування на лижах. Енергетичні витрати лижника при пересуванні залежать від довжини дистанції.

Виходячи з тривалості роботи, гонки на лижах відносяться до зони великої (5 і 10 км) та помірної (15, 20, 30, 50, 70 км и більше) відносної потужності. Проте через різку пересіченість сучасних трас більш правильно характеризувати гонки на лижах як роботу змінної потужності.

Оптимальні режими пересування на лижах. *Під оптимальними режимами в лижних гонках розуміють оптимальний спосіб пересування, оптимальну динаміку (розкладку) дистанційної швидкості й оптимальне поєднання довжини та частоти кроків.*

У 1924 році всерйоз обговорювалося питання про те, як раціональніше переборювати підйоми: на лижах або з лижами в руках. Відтоді склалися визначені уявлення про раціональні способи пересування на спусках, рівнинних ділянках траси і підйомах.

Пересування на лижах більше, ніж біг, вимагає економії енергії, оскільки лижник виконує м'язову роботу кілька десятків хвилин або навіть кілька годин

поспіль. Тому для пересування на лижах знайдено вікові стандарти найбільш економічної та граничної (такої, що відповідає анаеробному порогу) швидкості, а також найбільш економічні поєднання довжини та частоти кроків.

При зниженні фізичної працездатності людини, а також при ускладненні умов пересування на лижах (збільшення крутості підйому, коефіцієнта тертя ковзання тощо) оптимальна швидкість і оптимальна довжина кроку зменшуються, а оптимальний темп збільшується.

Біомеханіка їзди на велосипеді

Велосипед - найпоширеніший технічний засіб пересування на земній кулі. Проект першого велосипеда запропонував у 1495 р Леонардо да Вінчі, який намалював цей двоколісний механізм майже з усіма сучасними подробицями. Але про цей малюнок світ дізнався лише наприкінці ХІХ ст., майже через століття після того, як в Росії кріпак Артамонов сконструював і виготовив перший у світі велосипед.

Їзда на велосипеді - найбільш раціональний спосіб пересування, оскільки завдяки сидлу, що підтримує і стабілізує тіло, до мінімуму знижуються витрати енергії на переміщення тіла в просторі. Адже активні тільки ноги велосипедиста, обертальний рух яких забезпечує поздовжнє переміщення тіла.

Кінематика педалювання. Процес обертання шатунів велосипеда називають педалюванням. Педалювання є результатом трьох одночасно здійснюваних обертальних рухів: стегна навколо осі, що проходить через тазостегновий суглоб; гомілки відносно колінного суглоба; стопи відносно гомілковостопного суглоба.

Посадка й техніка педалювання. *Ефективність рухових дій велосипедиста залежить від посадки й техніки педалювання.* Посадкою називають позу гонщика на велосипеді. Залежно від нахилу тулуба розрізняють низьку, середню та високу посадку. Чим нижча посадка, тим горизонтальніше розташований тулуб і тим менший мідель (тобто найбільша величина площі перетину, перпендикулярного повітряному потоку). Отже, менша й сила лобового опору повітря. Тому гонщики, як правило, застосовують низьку посадку. Але при низьких швидкостях (наприклад, при їзді на велосипеді в оздоровчих цілях) більш звична та зручна середня й висока посадка.

При педалюванні центри ваги лівої ноги та правої рухаються по кругових траєкторіях, а загальний центр ваги обох ніг практично не переміщується відносно велосипеда. З цього випливає, що при їзді по горизонтальній поверхні вертикальні переміщення загального центру мас практично відсутні, а отже, робота, спрямована на вертикальні переміщення тіла, близька до нуля.

Характер зміни кутів у колінному, тазостегновому й гомілковостопному суглобах нагадує синусоїду, а мінімальні та максимальні межі величин суглобових кутів становлять відповідно 40-140°, 20-70° і 80-100°.

Динаміка й енергетика педалювання. Сила, що прикладається до педалі велосипеда, розкладається на дві складові: а) нормальну

(перпендикулярну до педалі); б) дотичну, або тангенціальну. Корисною, яка просуває вперед, є лише тангенціальна складова.

При педалюванні доцільно, щоб і права, і ліва нога в кожен момент часу створювали позитивний (який просуває вперед) момент сили. Це неможливо при імпульсному педалюванні й можливо при коловому педалюванні за наявності спеціальних пристосувань – тукліпсів і велошипів. Тукліпси необхідні для підтягування педалі вгору, а шипи – для її проведення, тобто переміщення назад і вперед.

Спільна дія м'язів у режимі, близькому до ізометричного, дозволяє добре підготовленому велосипедисту розвинути силу 2500-3500 Н, а при провідці та підтягуванні - 800-1100 Н.

При пересуванні на велосипеді механічна енергія витрачається на подолання сили тертя кочення і сили опору повітря (зовнішня робота) і на переміщення ніг щодо ЗЦМ (внутрішня робота). Зовнішня робота залежить від швидкості пересування, посадки й екіпіровки велосипедиста і коефіцієнта тертя кочення. Тертя кочення залежить від типу дорожнього покриття та самих коліс. Чим більше поперечний переріз і нижче тиск повітря в шинах, тим більше тертя кочення, а отже, додаткові витрати енергії. При їзді по гладкій твердій поверхні на велосипеді зі стандартними колесами, з тиском в них 7-8 атм вартість метра шляху вдвічі менша порівняно зі звичайною ходьбою і втричі менша, ніж при бігу. На дуже гладких поверхнях витрати енергії зменшуються наполовину, а на покритих каменем дорогах, навпаки, зростають удвічі.

Сила опору повітря пропорційна квадрату швидкості, а потужність, яку необхідно розвинути для її подолання, пропорційна кубу швидкості.

Втрати енергії на тертя в системі передачі й осях хорошого велосипеда незначні. Тому робота, що витрачається на подолання опору повітря, – найбільш вагома фракція повної механічної роботи велосипедиста. Так, при швидкості 5 м/с на подолання опору повітря витрачається близько 50% всієї потужності, що розвивається, а при швидкості 10 м/с – уже 80%. Саме тому так важливо знижувати аеродинамічний опір. Для цього поза і одяг велосипедиста повинні бути найбільш обтічними.

Щільно облягає тіло сорочка і спеціальний пластиковий шолом, наприклад «шолом Мозера», що нагадує своїми обрисами ніс реактивного літака. Вони дозволяють на 3 с поліпшити результат у трекових перегонках на 4 км. Ще 1,5 с можуть зменшити обтічні велотуфлі без шнурків. Поліпшення результату пояснюється зниженням сили вихроутворення. Сила вихроутворення виникає тому, що в місцях відриву струменів повітря виникають завихрення, де за законом Бернуллі тиск менше. У зону зниженого тиску спрямована гальмівна, «відсмоктуюча» сила. Для зменшення вихроутворення застосовують і обтічні дискові колеса замість звичайних.

Топографія працюючих м'язів. У процесі педалювання безпосередньо беруть участь кістки нижніх кінцівок, таз і м'язи, які здійснюють згинання та розгинання ніг. При натисканні на педаль розгинаються стегно, гомілка та стопа. При цьому активні такі м'язи: сідничний, двоголовий, напівсухожильний, напівперетинковий (розгинання стегна); чотириголовий (розгинання гомілки);

литковий, камбаловидний, задній великогомілковий, довгі згиначі пальців, довгий і короткий малогомілковий (розгиначі стопи).

Оптимальні режими педалювання. Велосипедисти застосовують кругове і імпульсне педалювання. Їх чергування віддаляє настання стомлення.

Ефективність їзди на велосипеді залежить від частоти обертання педалей і вибору передачі. Чим більша передача, тим вища сила дії на педалі й більша відстань, яку долають за один оберт педалей. За останні 40-60 років значне збільшення середньої швидкості на змаганнях відбулося виключно за рахунок збільшення відстані. Темп педалювання практично не змінився.

При ЧСС, рівній 150 1/хв, оптимальний темп дорівнює 87 1/хв, а **укладання 6,8 м.** А при ЧСС, рівній 180 1/хв, оптимальний темп становить 100 1/хв, а **укладання 7,1 м.** Ці рекомендації стосуються дорослих велосипедистів високої кваліфікації.

При виборі режиму педалювання слід враховувати індивідуальні особливості спортсмена і зовнішні умови. Чим нижча фізична працездатність, вищий рівень стомлення і складніші умови (погане покриття дороги, зустрічний вітер тощо), тим вищий оптимальний темп і менша оптимальна передача.

Тактика їзди на велосипеді залежить від мети велосипедиста. Наприклад, при прогулянковій їзді основний критерій оптимальності - економічність, і найкращою є тактика постійної швидкості.

Для досягнення найвищого спортивного результату гонщик повинен так обирати швидкість і так її змінювати, щоб повністю використовувати потенційні можливості енергетичних систем. Наприклад, в індивідуальних перегонах переслідування на 4 км найбільш вигідна тактика «щосили». При цьому швидкість відразу після стартового розгону на 7-8% вища за середньодистанційну швидкість, а в подальшому вона знижується (швидше або повільніше – залежно від ємності фосфогенної та лактацидної систем і потужності окислювальної енергетичної системи у даного спортсмена).

І нині триває вдосконалення велосипеда. Поряд з численними конструкціями звичайних велосипедів усе більшого поширення набувають тандеми, а також одномісні й багатомісні веломобілі, які розвивають швидкість до 30-40 км/год.

? Питання для контролю

1. Які способи пересування на лижах вам відомі?
2. Перелічіть переваги й недоліки ковзанярського ходу порівняно із традиційними способами пересування на лижах.
3. Які зовнішні сили впливають на величину енергетичних витрат лижника?
4. Що таке оптимальна швидкість? Як вона пов'язана з віком і фізичною підготовленістю лижників?
5. Для чого потрібні лижні мазі?

6. Яка топографія м'язів, що працюють при різних способах педалювання на велосипеді?

7. З яких компонентів (фракцій) складається механічна робота велосипедиста?

8. Як можна зменшити витрати енергії на подолання опору повітря при їзді на велосипеді й бігу на лижах?

9. Які чинники впливають на оптимальне поєднання темпу й довжини кроку при бігу на лижах і на оптимальний темп педалювання при їзді на велосипеді?

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханіка пересування на лижах і велосипеді».

2. Побудувати хронограми пересування на лижах і велосипеді.

Тема 8. Біомеханіка плавання

Плавання належить до циклічних локомоцій, які реалізуються за принципом відштовхування від рідкого середовища. Плавання є важливою частиною рухової культури людини. Адже ще в Древній Греції про некультурну людину говорили: «Вона не вміє ні плавати, ні читати».

Сотні наших сучасників демонструють неабиякі можливості швидкого прогресу людини в плаванні. Так, якщо в 1875 р. англійський капітан М. Уебб подолав 33 км, що відокремлюють Англію від Франції, за 22 год, то через сторіччя П. Дике переплила Ла-Манш усього за 7 ч 40 хв. На показових виступах спортсмени пропливають сотні метрів зі зв'язаними руками й ногами.

Проте, на жаль, дуже багато людей не вміють плавати і бояться води. Останнє пояснюється насамперед нерозумінням того факту, що за законами фізики здорова людина в теплій і спокійній воді потонути не може. Пояснимо цю думку.

Відомо, що на тіло, яке нерухомо лежить у воді, діють дві сили: сила ваги і сила (Архімедова), що виштовхує тіло, яка дорівнює вазі витиснутої тілом води. Але, оскільки людське тіло більше, ніж на 60% складається з води, а в легенях знаходиться кілька літрів повітря, ці дві сили приблизно однакові. Щоб повірити в це, виконайте просте дослідження: стоячи по груди у воді, наберіть у легені максимальний об'єм повітря і ляжте на воду. При цьому ваше тіло розташується поблизу поверхні води. Якщо почати поступово випускати повітря з легень, тіло також буде поступово занурюватися у воду. Виявивши велику силу волі, можна продовжувати видих доти, доки тіло не опуститься на дно водойми. *Таким чином, змінюючи об'єм повітря в легенях, людина може регулювати величину сили, що виштовхує, і тим самим плавучість тіла.*

Сказане підтверджують такі цифри. Питома вага тіла на вдиху в плавців-чоловіків у середньому дорівнює $0,98 \text{ г}\cdot\text{см}^3$, а в жінок – $0,96 \text{ г}\cdot\text{см}^3$ (що пояснюється, ймовірно, великим обсягом жирової тканини в тілі жінок). На видиху середні величини питомої ваги вищі: у чоловіків $1,06 \text{ г}\cdot\text{см}^3$ і в жінок $1,04 \text{ г}\cdot\text{см}^3$. Нагадаємо, що питома вага прісної води становить $1,00 \text{ г}\cdot\text{см}^3$, занурене у воду тіло може потонути тільки в тому випадку, якщо його питома вага більша за питому вагу води.

Окрім того, у плавучої людини плавучість вища, ніж у нерухомої. Адже коли тіло сплющеної форми рухається в повітряному або водному середовищі таким чином, що передній його кінець розташований трохи вище від заднього, виникає спрямована вгору піднімальна сила. Саме такий випадок має місце в плаванні. Величина піднімальної сили зростає зі швидкістю. Цьому явищу зобов'язаний своїм існуванням воднолижний спорт. Причому майстри цього виду спорту можуть нестися по воді і без лиж, на п'ятах.

Існує багато різновидів плавання, але доцільно детально розглянути кроль (найшвидший спосіб) і брас (найлегший).

Кінематика плавання. При плаванні кролем повний цикл складається із почергових гребків правою і лівою рукою і визначеної кількості ударів ногами. По кількості цих ударів розрізняють дво- і шестиударний варіанти техніки. У шестиударному кролі на повний цикл рухів руками припадає шість ударів ногами – по три кожною ногою. У двоударному кролі на повний цикл рухів руками виконуються тільки два удари – по одному кожною ногою.

Шестиударний кроль застосовується на спринтерських дистанціях, а двоударний – на стаєрських. Навчання дітей звичайно починають із шестиударного варіанта.

Кожен напівцикл плавання кролем складається із чотирьох фаз. Фази відділені одна від одної чотирма граничними позами. Назвемо ці пози та фази для одного напівциклу, а також завдання, які повинен виконувати кроліст у кожній фазі:

I фаза – вихід ліктя лівої руки із води; *завдання – якнайменше втратити швидкість просування вперед;*

II фаза – вихід лівої кисті із води; *завдання – розпочати підвищення швидкості;*

III фаза – проведення ліктя правої руки повз плече; *завдання – підвищити швидкість;*

IV фаза – момент повного занурення лівої руки у воду; *завдання – якомога більше розвинути швидкість.*

Видих (при повороті голови вправо) здійснюється в III і IV фазах першого напівциклу, а вдих – у I і II фазах другого напівциклу.

Завдання, які повинен виконувати брасист у кожній фазі:

I фаза – початок розгинання у колінних суглобах; *завдання – підвищити швидкість;*

II фаза – момент випрямлення ніг у колінних суглобах; *завдання – максимально збільшити швидкість;*

III фаза – закінчення руху кистей назад; *завдання – мінімізувати зниження швидкості;*

IV фаза – початок розгинання рук у ліктьових суглобах; *завдання – якнайменше втратити швидкість.*

Видих виконується в II фазі та на початку III фази, а вдих – наприкінці III фази і на початку IV фази. З кінця IV фази до початку II фази — затримка дихання.

Динаміка плавання. У воді тіло людини знаходиться під дією декількох сил, які забезпечують його плавучість у нерухомому стані та просування вперед при плаванні. Розглянемо їх докладніше.

1. Вертикально-спрямовані сили:

Сила тяжіння $G = mg$, де m – маса тіла, кг; g – прискорення вільного падаючого тіла, $m \cdot c^2$.

Сила, яка виштовхує (сила Архімеда). Ця сила прикладена до центра об'єму тіла плавця. Центр об'єму, як правило, не збігається із центром мас. Тому виникає обертальний момент і ноги людини, яка лежить нерухомо у воді, опускаються.

Підйомна сила виникає при обтіканні тіла потоком води. Вона пропорційна площі горизонтального перетину тіла та швидкості потоку, що набігає, і залежить від кута атаки.

2. Горизонтально-спрямовані сили:

Сила, що просуває (або сила тяги). Вона виникає в результаті дій руками і ногами, про техніку яких навіть серед фахівців із плавання немає єдиної думки. Наприклад, лише низькокваліфіковані плавці-кролісти виконують гребок прямою рукою. Значно більший ефект дає гребок по зигзагоподібній траєкторії, від якої залежить від особливостей статури та рухових якостей.

Сила лобового опору – залежить від площі поперечного перетину тіла в площині, перпендикулярній до напрямку руху.

Сила опору вихроутворення, що залежить від форми і характеру поверхні тіла. У тих місцях, де струмені води відриваються від поверхні тіла, утворюються завихрення і за законом Бернуллі тиск знижується. Через різницю тисків виникає сила, що ніби тягне тіло назад. Вона і називається силою опору вихроутворення. Незначні зміни положення тіла, що не збільшують або майже не збільшують мідель тіла, можуть погіршити його обтічність. Під час ковзання опускання голови плавця вниз збільшує опір на 8-12%, а відхилення її від оптимального положення вгору – на 10-20%.

Сила тертя води – складки шкіри, волоски на шкірі, пухкий або ворсистий матеріал костюма плавця посилюють опір.

Сила опору хвиле утворення. Плавець, що знаходиться на межі водного й повітряного середовищ, піднімає частки води вище від рівня водної поверхні. Вони вже не утримуються тиском середовища, і плавцю доводиться переборювати ще й силу ваги зміщених часток води.

Сили інерції ланок або всього тіла не належать до горизонтальних або вертикальних сил, оскільки сила інерції спрямована протилежно прискоренню і дорівнює добутку маси (m) на прискорення (α).

Топографія працюючих м'язів. Ефективне використання гребків руками і ногами можливе тоді, коли тулуб плавця являє собою досить тверду конструкцію, що знаходиться в обтічному й урівноваженому положенні. Забезпечується це за рахунок напруження м'язів живота та спини. Інші м'язи тулуба мають бути розслаблені.

При плаванні кролем найбільш активними є м'язи, що забезпечують згинання кисті. У брасі високою є активність м'язів ніг. Але значне навантаження припадає і на руки (особливо в спортивному плаванні), що виконують подібні до кругових гребкові дії, які нагадують рухи руками, по лікоті опущеними в два глечики з вузькими горлечками.

Енергетика плавання. Сили, від яких залежить опір води, є основними з тих, які доводиться переборювати плавцю. Оскільки щільність води у 800 разів більше щільності повітря, плавання вимагає великих витрат енергії і є найменш економічним видом локомоцій людини. Коефіцієнт механічної ефективності (аналогічний коефіцієнтові корисної дії) складає у плавців 1-5% і збільшується в міру підвищення кваліфікації. Це набагато нижче, ніж при наземних локомоціях людини (20-40%), і нижче, ніж у риб і морських тварин. Так, у зеленої черепахи, форелі та золотої рибки коефіцієнт механічної ефективності становить відповідно 10, 14 і 40%. При плаванні в ластах коефіцієнт механічної ефективності вищий, ніж без ластів, – близько 17%. Ці факти свідчать про невикористовувані резерви економізації техніки пересування людини у водному середовищі.

Енергетична вартість метра шляху у плавців міжнародного класу приблизно на 40% нижча порівняно з плавцями невисокої кваліфікації. Для новачків брас (при швидкості $0,3-0,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) є на 30% більш економічним, ніж кріль.

Оптимізація плавання. Основні вимоги до техніки й тактики плавця обумовлені закономірностями динаміки й енергетики плавання. Найбільш загальною є вимога максимізувати силу тяги та мінімізувати суму гальмуючих сил. Максимізація сили тяги досягається граничним підвищенням сили взаємодії плавця з водою при гребних діях руками й відштовхуванні ногами (у брасі). Упродовж усього гребка рука повинна переміщатися у воді з прискоренням, завдяки чому досвідчений плавець безупинно відчуває «опору на воду».

Підтримувати високу силу тяги на всій дистанції людина може тільки в тому випадку, якщо до самого фінішу збереже достатньо енергії. Але плавання досить енергоємний вид рухової діяльності. Тому тут особливо важливо виключити непродуктивні витрати енергії. З цією метою:

- 1) усувають зайві рухи;
- 2) обирають оптимальний (найбільш економічний) темп рухів, причому кожній швидкості плавання відповідає свій оптимальний темп;
- 3) намагаються знизити величини гальмівних сил;
- 4) усувають непродуктивне м'язове напруження.

У плаванні, на відміну від інших видів спорту, важливе вміння розслаблювати ті м'язи, які в даний момент не беруть участі у виконанні

механічної роботи. Тому, наприклад, у кролі при проносі над водою рука повинна рухатися з мінімальним напруженням. Так само і при плаванні брасом, у фазі ковзання (яка в спортивному плаванні скорочується до мінімуму), більшість м'язів розслаблені.

Із гальмівних сил найбільш велика сила лобового опору води і сила опору вихроутворення. Обидві вони знижуються зі зменшенням кута атаки, тобто кута між подовжньою віссю тіла і напрямком руху. Чим менший кут атаки, тим менші:

- 1) мідель тіла, а отже, і сила лобового опору;
- 2) поверхня відриву струменів, а отже, і сила опору вихроутворення.

Таким чином, плавець повинен зайняти положення тіла якомога горизонтальніше і витягнуте в напрямку пересування. При цьому, говорячи словами Д. Каунсилмена, «лобовий опір і опір вихроутворення обмінюються на опір тертя тіла плавця об воду», яке порівняно невелике. Плавці низької кваліфікації показують невисоку швидкість, зокрема, тому, що їхнє тіло знаходиться в поганому обтічному положенні, захоплює за собою велику масу води й утворює позаду водяні вихри.

Для зниження непродуктивних витрат енергії варто зменшувати внутріциклові коливання швидкості. У кролі вони менші, ніж у брасі. Це досягається безперервною роботою ніг кроліста і тим, що одна рука починає гребок захопленням у той момент, коли інша рука ще не завершила відштовхування.

Усе сказане пояснює, чому кроль є більш швидкісним стилем, ніж брас. Прийнята при плаванні кролем кінематика рухових дій забезпечує менші величини сил лобового опору, опору вихроутворення і сил інерції ланок тіла.

? Питання для контролю

1. Охарактеризуйте способи плавання кролем і брасом. У чому полягають принципові відмінності між ними?
2. Від чого залежить сила опору води при плаванні? Як на неї впливає швидкість плавця?
3. Який вплив на швидкість плавання чинять сили інерції ланок тіла?
4. Які м'язи найбільш активні при плаванні кролем і брасом?
5. Як виміряти економічність плавання? Поясніть, чому її величина відрізняється від економічності інших локомоцій людини.
6. Чому зменшення внутріциклових коливань швидкості підвищує економічність плавання?
7. Як енергетична вартість рухів плавця залежить від техніки й тактики плавання?
8. Як скоротити витрати енергії при плаванні, не знижуючи при цьому швидкості?
9. У чому полягає сутність явища вихроутворення? Поясніть його вплив на швидкість плавання.

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханіка плавання».
2. Побудувати хронограми різних способів плавання.

Тема 9. Біомеханіка пересувних рухів та і стрибків

Змагання в метаннях і стрибках були популярні завжди. Адже від уміння далеко і точно метати, далеко й високо стрибати нерідко залежить життя людини.

У Древній Греції метали диск і спис, з якого, щоб уникнути нещасного випадку знімався металевий наконечник. Змагання в метанні списа на дальність і на точність проводилися між асирійськими солдатами. В Ірландії на народних святах особливою популярністю користувалися стрибки у висоту і вид метань, що став прототипом сучасного метання молота.

Стрибок у висоту для воїнів Півночі був обов'язковим. Щоб бути допущеним у ряди воїнів, потрібно було вміти перестрибнути через людину, яка стоїть.

Кінематика метань. Для всіх різновидів метань характерні загальні закономірності. Але деталі техніки в різних видах метань різняться.

Для прикладу візьмемо метання гранати з розбігу, у якому виокремлюють чотири структурні частини:

- 1) розбіг, мета якого – надати тілу якомога більшої швидкості відносно землі: до цієї швидкості додається швидкість кидка рукою;
- 2) підготовка до кидка, наприкінці цієї фази тулуб відхилений у бік, протилежний метанню, права рука (якщо метання проводиться правою рукою) майже пряма; права нога сильно зігнута; ліва зігнута та спирається на внутрішнє склепіння стопи; ліва рука напівзігнута і знаходиться попереду тулуба;
- 3) кидок, що починається з розгинання правої ноги; потім відбувається згинання і поворот тулуба вперед і, нарешті, ривок рукою;
- 4) зупинка після кидка, яка має загальмувати просування вперед, що досягається завдяки винесенню правої ноги перед лівою.

У металників гранати, що мають вищі досягнення (70-85м), на відміну від металників невисокого класу швидкість снаряда під час кидка постійно зростає.

Топографія працюючих м'язів. Розглянемо роботу м'язів при метанні гранати й м'яча. Основні м'язові групи, що беруть участь у метанні, включаються в роботу послідовно. Причому перед скороченням м'язи попередньо розтягуються і при цьому запасуються енергією.

Сегменти руки, що метає, включаються в процес метання поступово, починаючи з проксимального – плеча. Потім активізується передпліччя, кисть,

пальці. Останніми втягуються в роботу м'язи дистальних ланок кисті руки, що метає. Безпосередньо перед кидком тіло метальника перетворюється немовби на натягнутий лук. Основними м'язами при виконанні кидка є м'язи живота; м'язи пояса верхньої кінцівки; великий грудний м'яз; найширший м'яз спини; м'язи, що беруть участь у розгинанні ліктьового суглоба; згиначі кисті й пальців.

Оптимальні режими метань. Питання про оптимальні режими при переміщенні снаряда можна розглядати у двох аспектах. По-перше, під яким кутом до горизонту необхідно штовхати чи метати снаряд? По-друге, яка динаміка швидкості снаряда є оптимальною?

При відповіді на перше питання необхідно виходити із законів механіки, згідно з якими дальність польоту снаряда (L) дорівнює:

$$L = \frac{V_0^2 \times \sin 2\alpha}{g},$$

де V_0 – швидкість вильоту, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; α – кут вильоту, град; $g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ – прискорення вільно падаючого тіла.

Проте це рівняння не можна прямо застосовувати до спортивних метань, оскільки воно не враховує атмосферних впливів (вітру тощо) і того факту, що граната, ядро, диск і спис залишають руку метальника на деякій «висоті випуску».

Якби граната залишала руку на рівні землі, то оптимальний кут вильоту складав би 45° . Оскільки це не так, то для досягнення максимальної дальності кут вильоту повинен бути менший ($30-40^\circ$). Зі збільшенням висоти випуску снаряда оптимальний кут вильоту зменшується.

Дальність польоту снаряда при оптимальному куті вильоту визначається в основному швидкістю вильоту. Тому варто організувати свої рухові дії так, щоб максимально збільшити швидкість вильоту. Саме для цього необхідно поступове залучення в процес метання ланок руки – від проксимальних до дистальних.

У відповідності з цим передпліччя прискорюється раніше, ніж кисть, а плече – раніше, ніж передпліччя.

При метанні м'яча в ціль точність влучання тим вища, чим менша дальність. Так, при кидку по кільцю в баскетболі точність влучання зменшується на 40-80% з дистанції 1 м, до 10-20% з дистанції 7 м.

Вважають, що коли людина виявляє точність в одному виді метань, то вона буде успішною і в інших видах. При навчанні прицільних метань потрібно враховувати сенситивний період (від 12 до 14 років), коли навчальні заходи найбільш ефективні. У цей період відбувається швидкий природний розвиток влучності.

Кінематика стрибків у висоту. Відомо кілька способів стрибків у висоту і кожний з них включає в себе розбіг, відштовхування, перехід через планку та приземлення.

При стрибку способом «переступання» розбіг виконується під кутом $30-45^\circ$. Відштовхується спортсмен дальньою від планки ногою на відстані

70-80 см від проекції планки. Відштовхнувшись, спортсмен утримує тулуб у вертикальному положенні. Махова нога, злегка зігнута в коліні, піднята якнайвище, поштовхова опущена вниз. Досягнувши рівня планки, махова нога випрямляється, а потім опускається за нею. Потім відбувається «переступання», при цьому тулуб сильно нахилиється вперед і до планки, одночасно опускаються руки, злегка зігнута поштовхова нога переходить через планку дугоподібним рухом. Приземлення відбувається на махову ногу. Основний недолік цього стрибка – надзвичайно високе положення загального центра мас тіла відносно планки в момент переходу через неї.

При стрибку способом «перекидний» цей недолік частково усувається. Розбіг відбувається під кутом 30-40° до планки, відштовхування виконується ближньою до планки ногою. На початку злету тулуб приймає вертикальне положення боком до планки. У польоті спортсмен нібито лягає на планку, а поштовхова нога проходить між планкою і маховою ногою. Завдяки обертальному руху тулуба навколо поздовжньої та поперечної осей стрибун переходить планку, одночасно повертаючи обличчя і груди донизу.

На сьогодні світовий рекорд у стрибках у висоту у чоловіків перевищив 2 м 40 см, а в жінок – 2 м. Причому спортсмени екстра-класу використовують лише один спосіб – «фосбюрі-флоп». У стрибку «фосбюрі-флоп» спортсмен долає планку в положенні спиною вниз.

Динаміка стрибків у висоту. У дорослих стрибунів вертикальна складова сили дії на опору при відштовхуванні (а також і при амортизації) становить 3500-6000 Н. Ці величини збільшуються з підвищенням підготовленості стрибунів. Значну роль у цьому відіграють вертикальні прискорення махових кінцівок.

При знайомстві з біомеханікою стрибків вражають не тільки величини сили дії на опору, але й величини механічної потужності. Так, за розрахунками В.М. Д'ячкова, для стрибка у висоту на 2,3 м дорослий стрибун розвиває потужність до 5 кВт.

Вибір способу стрибка впливає на висоту загального центра мас тіла відносно планки при переході через неї. При сучасних способах стрибка у висоту («перекидному» і «фосбюрі-флоп») спортсмен долає планку, коли траєкторія загального центра мас може проходити на рівні планки або навіть нижче. Висота підйому загального центра мас збільшується з укороченням фази відштовхування. Але при цьому зменшується імпульс сили дії на опору. Таким чином, завдання оптимізації полягає в тому, щоб збільшити імпульс сили, незважаючи на зниження тривалості відштовхування.

Стрибки в довжину з розбігу. Довжина розбігу звичайно становить 20-50 м (12-24 бігових кроки). Результат стрибка суттєво залежить від швидкості в завершальній частині розбігу. Характерною рисою техніки розбігу є збільшення часу контакту з опорою і різке зменшення часу польоту в останньому кроці розбігу. Цим створюються передумови для швидкої та точної постановки ноги на брусок і активне відштовхування. Якщо час контакту з опорою при відштовхуванні менше, то стрибок довше. Отже, фаза відштовхування повинна бути якомога коротшою. Щоб ефективно

відштовхнутися, треба швидко поставити ногу на брусок і стрімко підкинути себе нагору. У момент відштовхування важливо якнайшвидше пройти вперед через опорну ногу, направляючи груди та плечі вгору.

Після відштовхування стрибун переходить у фазу польоту. Її можна розділити на три частини: зліт, власне політ з рухами, що відповідають одному з трьох способів стрибка, і підготовка до приземлення.

Стрибок способом «зігнувшись» найбільш простий і природний. Так стрибали на початку століття, так стрибають і сьогодні новачки. Однак цей простий і доступний спосіб має серйозний недолік: згинаючи ноги в польоті та нахилиючись до них, стрибун зменшує радіус інерції свого тіла.

У 30-х роках з'явився спосіб «прогнувшись», або, як його тоді називали на честь фінського стрибуну, «Туулос». Після злету стрибун опускає махову ногу, приєднуючи її до поштовхової. Обидві ноги опиняються дещо за тулубом, стрибун прогинається в поперековому та грудному відділах хребта, напівзігнуті руки швидко відводяться у сторони-назад. У першій половині польоту стрибун зберігає положення прогнувшись. До моменту приземлення тіло згинається, тулуб нахилиється вперед, швидко виносяться вперед ноги, а руки повертаються у вихідне положення. Недолік способу «прогнувшись» полягає в тому, що стрибун починає прогинатися ще при відштовхуванні, знижуючи тим самим дальність стрибка.

Для обох розглянутих способів стрибка характерний різкий перехід від одних рухів до інших при групуванні або прогині. Тому пізніше стали віддавати перевагу стрибку способом «ножиці», де ноги виконують у польоті такі рухи, як і при бігу, роблячи два з половиною або три з половиною кроки. Всі рухи у такому стрибку природно слідує один за одним, і координація рухів при розбігу не порушується.

Оптимізуючи рухову діяльність при стрибку в довжину, необхідно збільшувати швидкість вильоту та правильно обирати кут вильоту, які реалізуються аналогічно тим закономірностям, що і при метаннях.

Швидкість спортсмена в момент закінчення відштовхування – найбільш важлива з характеристик, що визначають дальність стрибка. Вона залежить від швидкості, що розвивається спортсменом при розбігу, і втрат швидкості, пов'язаних з необхідністю точно потрапити поштовховою ногою на брусок для відштовхування. Таким чином, оптимізація розбігу передбачає досягнення компромісу між швидкістю і точністю. Пошук такого компромісу ускладнюється досить значними величинами сили дії стрибуну на брусок відштовхування, що досягає декількох тисяч ньютонів.

На останніх 3-4 кроках перед відштовхуванням спортсмен приводить тулуб у положення, близьке до вертикального, і знижує висоту загального центра мас тіла. Ці зміни положення тіла супроводжуються подовженням передостаннього кроку і відповідним укороченням останнього.

Призначення відштовхування – надати тілу вертикальну швидкість, зберігаючи якомога більшу горизонтальну швидкість. Тут спортсмен також стикається із протиріччям, вирішення якого є одним із завдань оптимізації. У сучасних стрибунів екстра-класу при швидкості розбігу понад $10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ час

відштовхування становить 0,11-0,13 с, а кут відштовхування – 19-25°, що набагато менше від оптимального при метаннях (45°).

Дистанція приземлення (відстань від проекції загального центра мас тіла до точки торкання ґрунту в момент приземлення) невелика і становить близько 8% від довжини стрибка. Проте спортсмен повинен намагатись у момент приземлення виставити стопи якнайдалі від центра мас.

? Питання для контролю

1. Величини яких біомеханічних характеристик першочергово впливають на дальність метання?
2. Поясніть, що дає послідовне залучення до процесу метання проксимальних і дистальних ланок тіла.
3. З яких рухових дій складається метання гранати?
4. З яких рухових дій складається стрибок у висоту?
5. У яких фазах стрибка тіло стрибуна у висоту має мінімальну й максимальну величину кінетичної та потенційної енергії?
6. Які величини сили дії на опору при виконанні стрибків у висоту й довжину?
7. Назвіть найбільш раціональні способи виконання стрибка у висоту й довжину. Відповідь обґрунтуйте.
8. За рахунок яких сил створюється вертикальна складова сили взаємодії з опорою у фазі відштовхування при стрибку у висоту та стрибку в довжину?
9. Які чинники, крім швидкості розбігу, впливають на дальність стрибка?
10. Сила інерції снаряда, що розганяється, діє на кисть і розтягує м'язи-згиначі кисті й пальців. Як це впливає на дальність кидка?
11. Яким чином махові рухи можуть збільшувати силу відштовхування, а отже, й висоту стрибка?
12. Чим пояснюється той факт, що оптимальний кут вильоту при стрибку в довжину значно менше, ніж при метаннях?

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханіка пересувних рухів і стрибків».
2. Обґрунтувати зменшення моменту інерції тіла, коли стрибуна у польоті згинає ноги й нахиляється до них.

Тема 10. Біомеханіка техніко-естетичних видів спорту

Спортивна та художня гімнастика, фігурне катання, стрибки у воду, синхронне плавання та інші техніко-естетичні, або «артистичні», види спорту

відрізняються двома особливостями: надзвичайною різноманітністю технічних елементів і своєрідним підходом до оцінки майстерності, яку визначають судді, що спостерігають за змагальною діяльністю спортсменів. По суті, оцінюється кінематика (зовнішня картина) рухової діяльності, а динаміка й енергетика відіграють другорядну роль. Важливу роль в оцінюванні відіграє уявлення про естетичний ідеал, що змінюється з часом. Естетичність рухової діяльності визначається багатьма чинниками, в тому числі специфічними (несподіванка, оригінальність, відповідність «школі» тощо) і загальнобіологічними (економічність, точність).

Естетичність, естетичний ідеал. Еволюція естетичного ідеалу. Естетичний ідеал – це зразок, який відповідає загальноприйнятим в даний період часу уявленням про красу. У тому, що стосується форм і рухів людського тіла, сьогодні відбувається повернення до естетичних ідеалів античності. Прекрасно все, що максимально відповідає своєму призначенню. І тому в зовнішньому вигляді та руховій діяльності людини цінується все, що свідчить про її фізичне та психічне здоров'я і сприяє йому. Але так було не завжди.

Єдиним доступним для нас способом простежити за еволюцією естетичного ідеалу є вивчення творів мистецтва, які закарбували зовнішність людей минулих епох. Такий екскурс дозволяє краще зрозуміти сучасні еталони краси.

Понад п'ять тисячоліть відділяють від нас час, коли були створені перші зі збережених скульптурних портретів Стародавнього Єгипту. Для них характерні груба сила і тілесна міць. Фараони і знать стародавнього царства були воїнами, завойовниками, і фізична сила була їм необхідна.

Фізична сила і міць особливо цінувалися в країнах із суворими кліматичними умовами, де м'язова сила і витривалість були життєво необхідними. Не випадково в образотворчому мистецтві різних країн і народів ми зустрічаємо образи богатирів-воїнів і трудівників.

Протягом усієї історії людства були нерозривно пов'язані уявлення про тілесну красу та практичну корисність.

Лише в добу середньовіччя турбота про тілесну досконалість вважалася справою гріховною. Релігія проповідувала аскетизм, умертвіння плоті, а теоретики-богослови стверджували, що фізичні вправи це «вигадка пекла і еретиків». У XII ст. у Макленбурзі кілька людей були спалені за те, що вони «зробили безбожно і безчесно, плаваючи в ставках на очах натовпу». І навіть у XVI-XVIII ст. у Росії один із законів забороняв «настільки небезпечну розвагу, як катання на ковзанах». Особливої шкоди здоров'ю приносило носіння корсетів та інші традиції, що йдуть врозріз з природною життєдіяльністю людського організму (наприклад, високі підбори).

Поступове повернення до естетичних ідеалів античності розпочалося в епоху Відродження і завершується в наші дні.

Загальноприйнятий естетичний ідеал та естетичний ідеал обраного виду спорту. Сучасний ідеал тілесної краси найяскравіше втілено в образі спортсменів і артистів балету. Систематичні тренування зробили їх м'язистими,

стрункими. Зовнішня привабливість поєднується з високими об'єктивними показниками рухових якостей (витривалістю, силою, швидкістю, спритністю, гнучкістю). Тому до рухової діяльності майстрів спорту й балету звертаються в тому випадку, коли хочуть виявити еталони краси рухів. Говорячи словами Ле Корбюзьє, тут вступають в дію математичні здібності нашого розуму: насолоджуючись видовищем, ми одночасно знаходимо в ньому відображення законів світобудови.

Краса рухів привабливіша за красу статичних форм. Цьому зобов'язані своїм існуванням і балетне мистецтво, і артистичні види спорту. Досконаліми й привабливими є рухи досвідченого лісоруба, косаря, монтажника, хоча естетичність не належить до числа критеріїв оптимальності їх діяльності. Так само протягом усієї змагальної дистанції відзначаються красиві рухи майстра спорту-бігуна, ковзаняра, лижника, хоча іноді їх зовнішній вигляд на фініші аж ніяк не можна назвати витонченим.

Виникає питання: що в цих випадках лежить в основі наших естетичних оцінок? Мабуть, можна відповісти так. Подібно до того як нерозривно пов'язані між собою здоров'я і зовнішній вигляд людини, краса її рухів свідчить про фізичне та психічне здоров'я, а також про високу кваліфікацію в даному виді рухової діяльності. *Здоров'я і краса рухів утворюють нерозривне ціле: здоров'я – запорука краси, а звичка рухатися правильно, красиво – одна з умов фізичної досконалості й довголіття.*

Біомеханічний опис основних елементів рухової діяльності в артистичних видах спорту. Відомо, що всі види рухової діяльності поділяються на п'ять груп: рівновага, рухи на місці, переміщення, локомоції та рухи навколо осі. Рівновага на перший погляд здається найпростішим видом рухової діяльності. Але таке враження оманливе, бо навіть у збереженні вертикального положення тіла й підтриманні правильної постави одночасно беруть участь понад 300 м'язів. Це складний руховий акт. З літературних джерел відомо, що солдати царської армії непритомніли, коли їх змушували годинами стояти нерухомо у стійкі «струнко».

Загальноприйняті канони правильної постави обґрунтовані медично й біомеханічно. Це ті пози, які забезпечують найкращі умови для функціонування внутрішніх органів, рівномірного розподілу механічного навантаження на частини скелета, а також мінімальні енерговитрати на підтримання рівноваги.

Навичку правильної постави можна тренувати. Про це свідчить багатовіковий досвід хореографії, спорту та військової справи.

В артистичних видах спорту витончено і граціозно повинні виконуватися складні вправи, що вимагають високої гнучкості і добре (проте не надмірно) розвиненої мускулатури. Виконання оцінюється тим вище, чим більшою є амплітуда рухів і чим менш помітними є коливальні рухи тіла та зусилля, спрямовані спортсменом на утримання рівноваги.

Види рухів, що є складовими вправ у техніко-естетичних видах спорту. *Рухи на місці* в змаганнях з техніко-естетичних видів спорту спостерігаються не часто. Однак вони широко застосовуються в силовій та хореографічній підготовці. Рухові дії на місці є базовими вправами, частиною

«школи рухів». Тому техніка їх виконання повинна бути доведена до автоматизму та досконалості. Підвищенню оцінки сприяє все, що свідчить про «алертність» (від франц. *alerfe* – швидкий, легкий у рухах): висока амплітуда рухів (вимагає гнучкості в суглобах і м'язової сили), відтягнуті носки та правильна постава, а також зовнішня легкість і розкутість (але без зайвих рухів, що знижують економічність).

Переміщення виконуються у вправах з предметами в художній гімнастиці. На відміну від метань тут не прагнуть до дальності. І вправа не закінчується, коли обруч, булава чи м'яч відокремлюються від руки спортсменки. За періодом метання настає період ловіння предмета, що складається з фази підготовки до ловіння та фази ловіння. Тут потрібна спритність (точність швидких рухів).

Локомоції артистичних видів спорту мають свої особливості. Так, ходьба в гімнастиці (наприклад, при виході до снаряда) характеризується легкістю і плавністю, внутріциклові коливання швидкості зведені до мінімуму. Стрункість тіла підкреслюється поставою: спина пряма, лопатки з'єднані, голова піднята.

Біг у гімнастиці має два різновиди: гімнастичний біг і розбіг. Мета розбігу – досягнення оптимальної (необов'язково максимальної !) швидкості для виконання подальшого технічного елемента (наприклад, стрибка).

Гімнастичний біг оптимізується за естетичністю. Як і в хореографії, він супроводжується різними рухами рук, голови й тулуба. Тим самим стає можливим передати різноманітні відтінки настрою і почуттів засобами пластики. Хоча, зрозуміло, ще немає чіткого наукового пояснення того емоційного впливу, який справляють на людину рухові дії артистів балету, фігуристів тощо.

Рухи навколо осей, що виконуються в техніко-естетичних видах спорту, досить видовищні вже тому, що демонструють можливості людини, які виходять за межі звичних, буденних. Без багаторічного тренування неможливо виконати багатообертовий стрибок у фігурному катанні, складні оберти при стрибках у воду тощо. Засвоїти подібні вправи допомагає усвідомлення та розуміння їх біомеханічних закономірностей.

Існують два принципово різних способи управління обертаннями.

Перший спосіб – при відсутності зовнішніх сил, за рахунок зміни моменту інерції.

Другий спосіб управління обертовим рухом – за рахунок імпульсу моменту сили. Причому імпульс сили може створюватися як при відштовхуванні від опори, так і в безопорному положенні. Наприклад, парашутист у вільному польоті може змінювати позу, використовуючи силу опору повітря.

Підіб'ємо підсумок сказаному про біомеханіку артистичних видів спорту. Головним критерієм оптимальності в техніко-естетичних видах спорту є естетичність. Естетичними вважаються рухові дії, які: 1) відзначаються економічністю, точністю, досконалістю, що дозволяє виконувати їх без зайвих

витрат енергії; 2) відповідають існуючому на сьогодні уявленню про естетичний ідеал.

Для виконання вказаних умов потрібна різнобічна фізична підготовленість, яка, природно, поєднується з міцним здоров'ям. Отже, здоров'я та рухова майстерність невід'ємні одне від одного.

? Питання для контролю

1. Як оцінюється ефективність рухової діяльності в артистичних видах спорту?
2. Що таке естетичний ідеал?
3. Як і чому естетичний ідеал змінювався в історії людства?
4. Чому краса рухів і здоров'я людини тісно взаємопов'язані?
5. Які біомеханічні характеристики фізичної вправи можуть бути зареєстровані, якщо врахувати, що спортсменка стоїть на стабілографічній платформі і суглоби її марковані?
6. Що сприяє підвищенню оцінки за виконання рівноваги і рухів на місці і як це пов'язано з сучасними уявленнями про естетичний ідеал?
7. Які біомеханічні особливості переміщень в артистичних видах спорту?
8. Які біомеханічні особливості локомоцій в гімнастиці і інших артистичних видах спорту?
9. Які способи управління обертальними рухами вам відомі?
10. Збільшується або зменшується кутова швидкість при угрупованню?



Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханіка техніко-естетичних видів спорту».
2. Здійснити біомеханічний аналіз фізичної вправи, яка відноситься до техніко-естетичних видів спорту.

Тема 11. Біомеханічні основи туризму

Основні поняття. Види туризму. Туристичні походи поділяються на пішохідні, лижні, водні, велосипедні й кінні. У рамках цієї теми розглядаються лише особливості техніки та тактики рухової діяльності в пішому поході. У пішому поході турист пересувається з вантажем, який несе на собі, як правило, в рюкзаку.

Визначальним критерієм оптимальності при пересуванні з рюкзаком є економічність. Знайдено поправкові коефіцієнти для розрахунку енергетичної вартості метра шляху при ходьбі залежно від покриття, виходячи з коефіцієнта 1,0 для поверхні асфальту: тверда ґрунтова дорога – 1,2; трав'яне покриття –

1,3; ліс і оране поле – 1,5; щільний сніг – 1,6; болотистий ґрунт і піщані дюни – 1,8; сніг глибиною 100 см – 2,1.

Біомеханічний аналіз рухів людини в різних видах туризму. При ходьбі з вантажем і ходьбі в гору витрати енергії як за одиницю часу, так і на метр шляху зростають зі збільшенням крутизни підйому. Зрозуміло, зі збільшенням крутості підйому коливальні переміщення тулуба у вертикальній площині поступово переходять у поступальне просування. Однак пов'язана з цим економія енергії менша за додаткові енерговитрати на підйом угору.

Ходьба в гору відрізняється від ходьби по горизонтальній поверхні енергетично, кінематично і за топографією працюючих м'язів. Тулуб нахилений, руки винесені вперед. Для збільшення тертя, що перешкоджає ковзанню, нога ставиться на всю ступню.

Динамічний аналіз рухів у різних видах туризму. При підйомі в гору зростає активність: розгиначів стопи, що скорочуються після сильного розтягування; чотириголового м'яза стегна, оскільки в періоді задньої опори збільшується розгинання ноги в колінному суглобі; м'язів, що розгинають хребет, у напруженні яких унаслідок нахилу тулуба вперед є істотний статичний компонент. Ці відомості необхідно використовувати при підготовці до походу для підбору тренувальних вправ.

Зовнішні обтяження – один з найбільш вивчених ергономічних чинників, що впливають на ефективність рухової діяльності. У туризмі вони мають місце при перенесенні рюкзака й інших вантажів (наприклад, байдарки). До визначеної межі додаткові витрати енергії на пересування лінійно пов'язані з вагою обтяження, але збільшення маси вантажу понад 30 кг (або добуток маси вантажу у кг на швидкість ходьби в км·год⁻¹ понад 100) призводить до непропорційного підвищення енергетичної вартості метру шляху.

Способи перенесення вантажу й визначення оптимальних режимів. На енерговитратах позначається місце розміщення вантажу. Так, 1 кг маси взуття еквівалентний 4-8 кг вантажу, що переноситься в руках або на торсі.

Чим більш рівномірно розподілений вантаж, тим легше його транспортувати. Наприклад, перенесення вантажу в одній руці (порівняно з перенесенням вантажу в обох руках) збільшує енерговитрати, як і будь-яке відхилення тіла від вертикальної осі (пози).

Цікаво, що в різних країнах транспортування великих вантажів здійснюється по-різному. Найбільш поширені сім способів:

- 1) вантаж розділений навпіл і перекинутий через плече, мішки внизу зв'язані;
- 2) кошик із вантажем розміщується на голові та підтримується однією або двома руками;
- 3) звичайний рюкзак розміщений за плечима;
- 4) мішок, затягнутий угорі ременем, що проходить навколо чола (так носять вантаж шерпи-скелелазів, збирачі чаю, жителі деяких районів Гімалаїв, індіанці);

5) «рисовий мішок» – цей спосіб передбачає використання мішків; він відрізняється від попередніх лише тем, що два верхніх кути мішка тримають руками;

6) коромисло (або бамбукова жердина), на кінцях якого укріплені розділений навпіл вантаж, причому коромисло або жердину підтримують рукою;

7) розділений навпіл вантаж несуть у двох руках.

Економічність названих способів зменшується в тому порядку, у якому вони перераховані. Найменш енергоємні такі прийоми перенесення вантажу, при яких перекидаючий момент сили ваги вантажу є мінімальним. Традиційний (а також і станковий) рюкзак займає в цьому списку лише третє місце. Зрозуміло, це не означає, що туристу можна рекомендувати переносити вантаж на голові. Цей спосіб під силу лише тим, хто його використовує роками й у результаті такого тренування має сильні м'язи шиї та неабияку здатність підтримувати рівновагу.

Зовнішні обтяження і підйом у гору знижують оптимальну (найбільш економічну), а також і граничну (ту, що відповідає анаеробному порогу) швидкість.

Так само і фізичне стомлення, що настає через 1,5-2 год ходьби із граничною швидкістю, на 5-10% знижує оптимальну швидкість.

Ще помітніше вплив спеки, що суттєво обтяжує будь-яке фізичне навантаження. Зі збільшенням зовнішньої температури на 25°C оптимальна швидкість ходьби знижується на 30%.

Оптимізація рухової діяльності. Як відомо, інтервал швидкостей від оптимальної до граничної називають зоною економічних режимів. У туристичному поході доцільно йти з оптимальною (найбільш економічною) швидкістю.

Тривала рухова діяльність із граничною інтенсивністю під силу тільки найбільше фізично підготовленим туристам. Адже відомо, що гранична тривалість м'язової роботи граничної інтенсивності навіть у спортсменів рідко перевищує 2 год.

У людей різного віку та фізичної підготовленості величини оптимальної швидкості різняться, так само як і величини граничної швидкості. Тому керівнику походу не уникнути компромісних рішень. Одне з них зводиться до того, щоб зрівняти енергетичні вартості метра шляху. Проте, якщо стан здоров'я туристів різний, то всім доцільно йти зі швидкістю, оптимальною для людини з ослабленим здоров'ям.

? Питання для контролю

1. Як забезпечити найменші енерговитрати при пересуванні з вантажем?
2. Як вибрати швидкість спільного пересування людей з різним станом здоров'я і фізичною працездатністю?
3. Як змінюється оптимальна швидкість ходьби при ускладненні зовнішніх умов?

4. Доведіть, що постановка ноги на всю ступню при підйомі в гору зменшує ймовірність сковзання вниз.
5. Чому підошви туристичного взуття роблять ребристими?
6. Що таке зона економічних режимів?

Практичні завдання

1. Скласти конспект теми «Біомеханічні основи туризму».
2. Обґрунтувати вплив умов на економічність пересування в туристичному поході. Навести приклади.

Питання для повторення та закріплення вивченого програмного матеріалу

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

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

60. Руховий апарат людини. Біокінематичні ланки та пари. Біомеханічна система.
61. Енергетичні характеристики.
62. Біокінематична схема (промір) та її використання у біомеханіці.
63. Шкали вимірювань та одиниці вимірювань.
64. Динамічні характеристики руху людини.
65. Поступові та обертові рухи. Який рух називається рівномірним, прискореним, рівноприскореним.
66. Просторові характеристики рухів людини.
67. Оптимізація рухової діяльності людини. Критерії оптимальності.
68. Хронограма фізичної вправи. Лінійна та кругова хронограма.
69. Часові характеристики.
70. Чинники, що впливають на рухові можливості людини.
71. Сенситивні періоди в розвитку рухових якостей і рухових навичок.
72. Особливості взаємодії процесів дозрівання та навчання.

Використана література

Основна

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Житомир : ЖДПУ ім. Івана Франка, 2004. 124 с.
2. Берштейн Н.А. Избранные труды по биомеханике и кибернетике. Москва : СпортАкадемПресс, 2001. 295с.
3. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2005. 320 с.
4. Біомеханіка спорту / за заг. ред. А.М. Лапутіна. Київ : Олімпійська література, 2001. 319 с.
5. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика : учебник для институтов физической культуры. Москва : Физкультура и спорт, 1979. 264 с.
6. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика: учебник для сред. и высш. учеб. завед. Москва : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. 672 с.
7. Жуков Е.К., Котельников Е.Г., Семёнов Д.А. Биомеханика физических упражнений. Москва : Финансы, 2003. 120 с.
8. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной морфологии) : учебник для ИФК. Москва : Физкультура и спорт, 1985. 544 с.
9. Иванов В.В. Комплексный контроль в подготовке спортсменов. Москва : Физкультура и спорт, 1987. 256 с.
10. Костюкевич В.М. Спортивна метрологія : навч. посіб. для студентів факультетів фізичного виховання пед. університетів. Вінниця : ДОВ «Вінниця» ВДПУ, 2001. 183 с.
11. Лапутин А.Н., Уткин В.Л. Технические средства обучения. Москва : Физкультура и спорт, 1990. 80 с.
12. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений : учеб. пособ. Москва : Просвещение, 1989. 210 с.
13. Хмельницька І.В. Біомеханічний відеокомп'ютерний аналіз спортивних рухів : метод. посіб. Київ : Наук. світ, 2002. 56 с.
14. Язловецький В.С., Бріжатиї О.В. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. Кіровоград : КДПУ, 2002. 191 с.

Додаткова:

1. Антонов В.Ф., Черныш А.М. Биофизика. Москва : Наука, 2000. 198 с.
2. Бальсевич В.К., Запорожанов В.А. Обучение спортивным движениям. Киев : Физкультура и спорт, 1986. 123 с.
3. Берштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. Москва : Просвещение, 1996.
4. Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата. Москва : Физкультура и спорт, 1981. 234 с.
5. Клиническая биомеханика. / под ред. В.И. Филатова. Ленинград : Медицина, 1980. 96 с.

6. Ломан В. Бег, прыжки, метания. Москва : Физкультура и спорт, 2004. 234 с.
7. Манжосов В.Н. Тренировка лыжника-гонщика. Москва : Физкультура и спорт, 1986. 87 с.
8. Миненков Б.В. Техника и методика тензометрических исследований в биологии и медицине. Москва : Физкультура и спорт, 1976. 246 с.
9. Лапутин А.Н. Обучение спортивным движениям. Киев: Вища школа, 1986. 142 с.
10. Лапутин А.Н. Биомеханика физических упражнений : лабораторные занятия. Киев : Вища школа, 1976, 88 с.
11. Лапутин А.Н., Хапко В.Е. Биомеханика физических упражнений. Киев : Радянська школа, 1986. 135 с.
12. Практикум по биомеханике / под общ. ред. И.М. Козлова. Москва : Просвещение, 1980. 120 с.
13. Смирнов Ю.И., Полевщиков М.М. Спортивная метрология : учебник для студ. пед. Вузов. Москва : Академия, 2002. 232 с.
14. Спортивная метрология : учебник для ин-тов физ. культ. / под ред. В.И. Зацюрского. Москва : Физкультура и спорт, 1982. 256 с.
15. Тутевич В.Н. Теория спортивных метаний. Москва : Физкультура и спорт, 1969. 196 с.
16. Уткин В.Л. Биомеханические аспекты спортивной тактики. Москва : Просвещение, 1984. 156 с.
17. Уткин В.Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию). Москва : Физкультура и спорт, 1978. 137 с.
18. Физиология человека. / под ред. Н.В. Зимкина. Москва : Физкультура и спорт, 1975. 216 с.
17. Элементарный учебник по физике. / под ред. Г.С Ландсберга, Москва : Наука, 1973. Т. 1. 672 с.

Навчальне видання
(українською мовою)

Соколова Ольга Валентинівна
Омельяненко Галина Анатоліївна
Тищенко Валерія Олексіївна

БІОМЕХАНІКА ФІЗИЧНИХ ВПРАВ

Навчальний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності «Фізична культура і спорт»
освітньо-професійних програм «Фізичне виховання»
і «Спорт»

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