

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

ОСНОВИ БІОМЕХАНІКИ РУХУ

Навчальний посібник

Чернівці
Чернівецький національний університет
2019

УДК : 796.012.1(07)
О – 751

Друкується за рекомендацією вченої ради
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича
(протокол № 8 від 1 вересня 2019 року)

Рецензенти:

Випасняк І.П. – доктор наук з фізичного виховання та спорту, професор кафедри теорії та методики фізичної культури і спорту ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», доцент;

Юрчишин Ю.Ю. – кандидат наук з фізичного виховання і спорту, завідувач кафедри теорії і методики фізичного виховання Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, доцент.

О – 751 Основи біомеханіки руху: навчальний посібник / укл. А. В. Гакман. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2019. 144 с.

У посібнику висвітлено особливості біомеханічного аналізу руху, біостатичні та біокінематичні характеристики руху та біомеханічна класифікація опорно-рухового апарату.

Для студентів, викладачів, тренерів, працівників фізичної культури і спорту.

УДК : 796.012.1(07)

© Чернівецький національний
університет, 2019

ВСТУП

Програма вивчення обов'язкової навчальної дисципліни циклу професійної підготовки «Біомеханіка» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю 017 «Фізична культура і спорт».

Предметом навчальної дисципліни є вивчення біомеханіки опорно-рухового апарату та його вимірювання, а також біостатичні та біодинамічні характеристики руху.

Дисципліна «Біомеханіка» базується на наступних дисциплінах: «Вступ до спеціальності», «Теорія та методика фізичної культури», «Анатомія людини», «Фізіологія», «Спортивна фізіологія».

Знання та уміння з дисципліни «Біомеханіка» можуть використовуватися при вивченні таких дисциплін: «Загальна теорія підготовки спортсменів», «Теорія та методика спортивних тренувань», «Спортивна метрологія», «Моніторинг фізичного стану та фізичної підготовленості», «Основи науково-дослідної роботи».

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. Біомеханіка опорно-рухового апарату та його вимірювання.
2. Біостатика та біодинамічні характеристики руху.

Мета посібника «Основи біомеханіки руху» – ефективно забезпечення спеціальної професійно-педагогічної підготовки студентів; формування теоретичних знань і практичних навичок з дослідження рухових дій, навчання рухових дій та фізичних вправ людей, які займаються фізичною культурою.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Біомеханіки» є:

- 1) формування у студентів системи знань про закони, за якими здійснюються рухові дії людини, фізичні вправи;
- 2) ознайомлення студентів з теорією навчання руховим діям у фізичній культурі та спорті;
- 3) формування у студентів практичних навичок використання методів біомеханічного вимірювання і контролю, біомеханічного аналізу, дидактики рухових дій;

4) формування навичок самостійної побудови, підбору та використання фізичних вправ різного напрямку.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні

знати :

- закономірності прояву рухової функції людини, основи теорії біомеханічних вимірювань, біомеханічного аналізу та дидактики рухових дій;

- основи теорії навчання рухових дій у фізичній культурі;
- основи методики використання рухів у фізичній реабілітації, лікувальній фізкультурі та кінезотерапії;

вміти:

- використовувати теоретичні знання з біомеханіки при створенні програм навчання та вдосконалення рухових дій;

- самостійно використовувати теорію та методи біомеханічного вимірювання, аналізу та контролю, дидактики рухових дій у фізичному вихованні;

- самостійно проводити кількісні вимірювання параметрів руху людини, характеризувати стан рухової функції людини;

- самостійно розробляти, підбирати та використовувати фізичні вправу різного напрямку в процесі фізичного виховання.

Тема 1. ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ БІОМЕХАНІКИ

- 1) Завдання біомеханіки. Предмет і методи біомеханіки. Об'єкт пізнання біомеханіки.
- 2) Сфера застосування біомеханіки.
- 3) Завдання біомеханіки.
- 4) Теорія і метод біомеханіки.

1) Завдання біомеханіки. Предмет і методи біомеханіки. Об'єкт пізнання біомеханіки

Термін “біомеханіка” складається з двох грецьких слів: *bios* – життя і *mechané* – засіб (зброя). У широкому науковому плані біомеханіка вивчає просторові рухи біологічних макро- та мікрооб'єктів. Незважаючи на те що біомеханіка вивчає переважно механічні форми рухів, вона не може не враховувати біологічні (насамперед анатомічні та фізіологічні) особливості об'єкта, котрий рухається (людина або тварина).

Загальна біомеханіка біологічних об'єктів (зокрема людини) вивчає загальні закономірності будови їхніх рухових систем, органів та їх рухів. Окремий напрям біомеханіки має забезпечити конкретні галузі рухової діяльності людини (біомеханіка трудових процесів, ергономічна біомеханіка, медична і клінічна біомеханіка, біомеханіка військової справи та космонавтики, біомеханіка рухової реабілітації та кінезитерапії, біомеханіка фізичного виховання та спорту тощо).

В існуючій сучасній системі наукових знань біомеханіці відводиться важливе місце. Фахівці сьогодні відносять її до найбільш значущих наук ХХІ століття. З цього погляду біомеханіка – галузь природничих наук, що на основі ідей та методів механіки вивчає фізичні якості біологічних об'єктів, закономірності їх адаптації до навколишнього середовища, поведінку (навчання) та механічні рухи у них на всіх рівнях організації і в різних станах (включаючи періоди розвитку та згасання, а також при патологіях).

Завданням біомеханіки є застосування результатів подібних досліджень для подальшого розвитку біології, фізики (механіки), професійної рухової дидактики (педагогіки),

ергономіки, психомоторики, медицини, фізичної культури та спорту.

Кожний вид спорту об'єднує цілі комплекси фізичних вправ, котрі мають спеціальну рухову спрямованість і становлять його спортивну техніку. Біомеханіка розглядає спортивну техніку як складну динамічну систему дій, що ґрунтується на раціональному використанні рухових можливостей людини і спрямована на розв'язання конкретного завдання у тому або іншому виді спорту, зокрема на досягнення високих спортивних показників.

Біомеханічний аналіз спортивної техніки є важливою передумовою для наукового обґрунтування та раціоналізації самого процесу і навчання рухів у спорті, а також для профілактичного, оздоровчого та лікувального застосування фізичних вправ у лікувальній фізичній культурі.

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

Курс біомеханіки на факультетах фізичного виховання педагогічних інститутів має на меті ознайомити студентів із загальними основами біомеханіки як науки про рухи людини і дати необхідні знання з біомеханічного обґрунтування фізичних вправ.

У результаті вивчення цього курсу майбутній фахівець з фізичного виховання повинний опанувати знаннями і навичками, що необхідні для правильного застосування фізичних вправ як засобу фізичного виховання.

Біомеханічний аналіз фізичних вправ являє собою не тільки конкретний метод вивчення рухів. Це й особливий спосіб мислення, розуміння складності процесів механічного руху людини, їх досконалості, які вироблено в процесі еволюції; це спосіб розкриття доцільності у фізиці живого.

Рух людини, що вивчається в біомеханіці, містить у собі механічний рух. Саме він складає основне завдання рухової діяльності людини. Але механічний рух здійснюється при

визначальній участі більш високих форм руху. Тому біологічна механіка (біомеханіка) ширша і набагато складніша, ніж механіка, вона якісно відрізняється від фізики неживих тіл. Механічний рух живого пояснюється лише при вивченні специфіки живого, спираючись, зрозуміло, на основи механіки – на класичну механіку (абсолютно твердого тіла).

Предмет біомеханіки визначається тим, що саме, які явища (об'єкт пізнання) і яку сторону дійсності (область вивчення) вона вивчає.

Об'єкт пізнання біомеханіки – рухові дії як системи взаємно зв'язаних активних рухів і положень тіла людини.

Як наука біомеханіка охоплює вивчення механічного руху у тваринних організмах, у тому числі і руху людини.

Однак рухові дії людини істотно відрізняються від рухів тварин. У першу чергу, мова йде про усвідомлену цілеспрямованість рухів людини, про розуміння їхнього змісту, можливості контролювати їх і планомірно удосконалювати. Тому подібність між рухами тварин і людини завершується на суто біологічному рівні.

Об'єктом пізнання в біомеханіці є активні рухи, а також збереження положень тіла. Саме вони вивчаються як системи рухів у діях людини.

Рухові дії, що складають рухову діяльність, здійснюються за допомогою цілеспрямованих активних рухів. Руху багатьма частинами тіла, органами опори і рухи об'єднані в керовані системи рухів, цілісні рухові акти (наприклад гімнастичні вправи, способи пересування на лижах, прийоми гри в баскетбол та ін.). До системи рухів входить також і активне збереження положень окремих частин тіла (у суглобах), а іноді і всього тіла.

Предмет вивчення біомеханіки – механічні і біологічні причини виникнення рухів в їхній єдності й особливості їхнього виконання за різних умов.

Причини рухів у біомеханіці розглядають з погляду і механіки, і біології. Ці позиції треба розглядати в їхньому взаємному зв'язку, з урахуванням ролі людської свідомості в керуванні рухами. Організована система взаємозалежних механічних і біологічних закономірностей не є просто їх сумою.

Ці закономірності, вступаючи в складні взаємини, приводять до розкриття біомеханічної специфіки живого. Причому найбільш важливі особливості виявляються саме у плані керування рухами, що забезпечує їхню високу ефективність у різних умовах виконання.

2) Сфера застосування біомеханіки

Біомеханіка використовується для медичної діагностики, створення заміників тканин і органів, для розробки методів та засобів (у тому числі тренажерів), призначених для розв'язання складних рухових завдань, а також методів впливу на процеси у живих об'єктах, для створення методів аналізу та корекції природних, професійних (трудових) та спортивних рухів, для пізнання рухових можливостей людини і забезпечення оптимальних умов ефективного функціонування “людино-машинних” систем, при розробці методів захисту людини від несприятливих впливів механічних чинників зовнішнього середовища під час роботи в екстремальних умовах.

Найважливішими напрямами наукових досліджень у сучасній біомеханіці є

- вивчення механіки опорно-рухового апарату (скелета, м'язів) людини та тварин; вивчення природних локомоцій людини та тварин (плавання, політ, наземні пересування), а також маніпуляційних рухів людини;

- вивчення фізичних основ, механізмів та виявлень управління (регуляції) у біологічних системах;

- вивчення фізичних основ психомоторики та закономірностей формування у людини і тварин складних рухових навичок та заданих моделей рухів і рухових дій;

- вивчення рухової діяльності операторів “людино-машинних” систем з метою раціоналізувати її, оптимізувати та підвищити ефективність;

- вивчення різних виявлень рухової активності та здібностей людини до розв'язання складних рухових завдань в екстремальних умовах (в орбітальних польотах, у відкритому космосі, у стратосфері, під водою, за умов наднизьких та надвисоких температур);

- розробка технологій і засобів (на основі фізичних

методів) для дослідження якостей та явищ у живих системах для спрямованого впливу на них та їх захисту від впливу зовнішніх чинників;

— створення замінників органів та тканин (переважно для потреб медицини);

— розробка моделей ефективного розв'язання людиною складних рухових завдань у різній професійній (трудовій), військовій, космічній практиці, у мистецтві, фізичному вихованні та спорті;

— розробка методик та технологій ефективного навчання людини і рухів та різних способів розв'язання складних рухових завдань;

— розробка технічних засобів (тренажерів) та іншого спорядження (у тому числі медичного обладнання та спортивного інвентарю), призначеного для відновлення тимчасово втрачених функцій (у медицині), а також для розширення й удосконалення рухових можливостей людини у різних видах її професійної (трудова), військової практики, фізичній культурі та спорті.

Великого розвитку набула біомеханіка у фізичній культурі та спорті. У цій галузі більш наочно виявляються і найгостріше випробовуються рухові можливості людини.

Біомеханіка фізичних вправ вивчає рухову систему людини та її рухові акти (вправи) під час занять фізичною культурою і спортом з метою забезпечити раціональні методи фізичного виховання населення і створити міцні наукові основи сучасної системи підготовки спортсменів високої кваліфікації.

3) Завдання біомеханіки

Завдання загальної біомеханіки – висвітлити (з позицій біомеханіки) основні загальні закономірності будови, рухового апарата і виконання рухів.

До розділу загальної біомеханіки входять вступ до курсу, який визначає предмет і метод науки, вивчення особливостей опорно-рухового апарата людини як біомеханічної системи, визначення біомеханічних характеристик рухів людини, що розкривають особливості рухових дій; розгляд складу і структур систем рухів у фізичних вправах.

Рухи живих істот являють собою дуже складне явище. У них поєднується найпростіший рух – механічний, що вивчає механіка, з більш високими формами руху, що вивчає хімія, біологія, психологія та інші науки. Тому біомеханіка, розробляючи власні шляхи вивчення механічного руху живих істот, використовує також дані ряду суміжних наук.

Оскільки оволодіння рухами, удосконалення рухів визначають собою їхню ефективність, їхню відповідність меті рухової діяльності, навчальний курс біомеханіки спрямований на вивчення рухів тільки людини. Тут необхідно враховувати і те, що рухи зумовлені вищими рівнями свідомого керування ними. Саме ці особливості не мають пояснення ні з позицій механіки, ні з позицій біології.

“У нормі людина робить не просто рух, а завжди дії” (Н. А. Бернштейн). Дії людини завжди мають мету, визначений зміст. З дій людини складається його рухова діяльність. За допомогою цієї діяльності в процесі фізичного виховання людина вдосконалює свою власну природу, фізично змінюється. Людина перетворить світ, використовуючи можливості науково-технічного прогресу в кінцевому рахунку за допомогою рухової діяльності.

У біомеханіці предмет вивчення визначається її завданнями. Загальні завдання охоплюють всі галузі знань у цілому; окремі завдання важливі при вивченні конкретних питань рухів.

Загальне завдання вивчення рухів полягає в оцінюванні ефективності прикладених сил для більш ефективного досягнення поставленої мети.

Вивчення рухів у кінцевому рахунку має педагогічну спрямованість. Рухи вивчають для того, щоб визначити, від чого залежить їхня ефективність, у яких умовах і як краще їх виконувати. Для цього необхідно вміти оцінювати їхню досконалість, їхню відповідність поставленій меті. На думку А. А. Ухтомського, біомеханіка досліджує, “яким чином отримана механічна енергія руху і напруження може мати робоче застосування”.

Шлях оцінювання ефективності в принципі простий. Потрібно визначити сили, що у даному русі виконують корисну роботу. Далі потрібно встановити, які сили виконують шкідливу

роботу, що знижує ефект корисних сил. З'ясовують, які джерела сил, де і коли вони прикладені, який результат їхньої дії. Зіставляючи отримані дані, можна довідатися, наскільки ефективний досліджуваний рух, у чому полягають його недоліки, як краще його усунути і, головне, як удосконалювати рух.

При всій удаваній простоті цього завдання потрібно підкреслити, що виконання його вимагає не тільки зроблених методів реєстрації рухів, але й фундаментальної теорії, що дозволяє пояснювати одержувані дані.

Оцінка ефективності вимагає глибокого розкриття законів руху в живих системах. Ці закони навіть з погляду механіки відрізняються від законів Ньютона, принаймні, як живий організм відрізняється від абстрактної моделі – абсолютно твердого тіла. З цього погляду завдання впливають не тільки на вибір галузі вивчення, але також на метод і теорію, що пояснює закономірності даної науки.

Окремі завдання біомеханіки полягають у вивченні і поясненні: а) самих рухів людини в тій або іншій сфері її рухової діяльності; б) рухів фізичних об'єктів, переміщуваних людиною; в) результатів розв'язання рухового завдання; г) умов, в яких вони здійснюються; д) розвитку рухів людини (з урахуванням названих сторін) у результаті навчання і тренування.

Для досягнення мети рухової дії можна знайти кілька способів її виконання. Вивчаючи кінематику, просторову форму і характер рухів, отримують їхній зовнішній опис. Вивчаючи динаміку рухів, вплив сил на їхню зміну, знаходять причини особливостей рухів. У такий же спосіб описують і пояснюють рух снарядів (м'яч, шайба, ядро і т. п.), що залежать від рухів людини.

Для оцінювання якості рухів потрібно вивчити результат виконання рухового завдання. Він може більше або менше відповідати поставленим вимогам. При цьому потрібно не тільки визначити саму якість результату, але й дати пояснення причинам тієї або іншої ефективності. Необхідно зіставляти різні варіанти, що склалися в практиці, різний ступінь досконалості, що залежить від кваліфікації виконавця, і багато

чого іншого.

Далі необхідно розглянути вплив умов, за яких виконується рух, на спосіб дії і на результат розв'язання рухового завдання. Тому що рухи часто виповнюються в перемінних умовах, характер зміни останніх також впливає на рухи. Умови рухової діяльності звичайно поділяють на зовнішні й внутрішні. До зовнішніх умов належать усі фактори зовнішнього оточення, в якому рухається людина. До внутрішніх умов діяльності відносять більш загальні, залежні від довгостроково діючих факторів (рівень підготовленості, вікові особливості та ін.), і більш приватні прояви пристосування людини до конкретних умов визначеної дії (ступінь спрацювання, стомлення та ін.). З одного боку, тут виявляють, які умови сприяють ефективності, інакше кажучи, які потрібно створювати умови. З іншого боку, визначають, як краще пристосуватися до заданих умов, як їх використовувати.

Нарешті, як правило, для розуміння досліджуваного стану або процесу треба вивчити його історію, розглянути явище в його розвитку. Тут потрібно не тільки розкрити вже пройдені етапи, але й передбачати, прогнозувати майбутнє. Без передбачення неможливе обґрунтоване планування діяльності, а саме воно загалом відрізняє людину від тварин. Тому на основі опису і пояснення рухів необхідно вказати шлях їхнього удосконалення: не тільки вивчати дійсність, але й перетворювати її.

Визначення загального завдання, розкриття його через ряд особливих завдань підвищує цілеспрямованість вивчення рухів, конкретизує вимоги до розробки теорії й методу біомеханіки, дає можливість раціоналізації фізичних вправ і шляхів оволодіння ними.

4) Теорія і метод біомеханіки

Біомеханіка, як і кожна наука, характеризується сукупністю накопичених знань; вони формуються у визначену систему – теорію біомеханіки. Разом з тим розробляються шляхи одержання знання – метод біомеханіки. Теорія і метод виражаються поняттями біомеханіки і законами, що і розкривають зміст біомеханіки.

Сучасна теорія біомеханіки має у своїй основі системно-структурний підхід до розгляду явищ і процесів (як конкретизацію діалектико-матеріалістичного розуміння): субстрату рухів (тіло людини), самих процесів руху (рухові дії) і їхнього розвитку.

Матеріалістична діалектика розглядає увесь світ як певну систему, якій властиві визначений зв'язок тіл і процесів. Системно-структурний підхід являє собою принцип наукового пізнання цілісності складних об'єктів і процесів (систем), виходячи із взаємодії елементів (структура систем), з яких вони складаються.

Цілісний підхід до предметів вивчення спрямований проти метафізичного розчленовування цілого без обліку взаємодії елементів. Він спрямований і проти механічного зведення якісно більш складних явищ до їх більш простих складових, які характеризують вихідне ціле. Системно-структурний підхід дозволяє розробляти теорію структурності рухів.

Закономірності рухів багато в чому залежать від особливостей будівлі і функцій організму. Для вивчення рухових дій опорно-руховий апарат розглядають як біомеханічну систему. Це свого роду спрощена модель, що враховує особливості, найбільш характерні для рухів. Цей розділ теорії біомеханіки почав розвиватися порівняно недавно.

Для теорії біомеханіки велике значення має розгляд рухів людини як систем рухів. У цьому розділі теорії вивчаються особливості рухів і їхнього взаємозв'язку, що впливають на ефективність рухових дій.

У процесі навчання рухових дій відбувається зміна рухів, перебудова їхніх систем, виникають нові їхні особливості. Закономірності формування й удосконалювання рухів складають зміст наступного, третього розділу теорії біомеханіки.

Закономірності керування рухами накладають особливий відбиток на самі рухи. Тільки людина, на відміну від усіх інших істот, може активно пізнавати закони природи і правильно їх застосовувати, керуючи рухами.

Метод біомеханіки – системний аналіз і системний синтез рухів на основі їхніх кількісних характеристик, зокрема

кібернетичне моделювання рухів.

Метод біомеханіки – це спосіб дослідження, шлях пізнання закономірностей у біомеханіці. Теорія біомеханіки дає обґрунтування її методу; метод же визначає можливості одержання нових даних, розкриття нових закономірностей.

Розглядаючи складну рухову дію як систему рухів, необхідно виділити в цій системі її складові елементи, установити її склад. Для цього використовують кількісні характеристики, що дозволяють розрізнити рух, відрізнити один рух, елемент, деталь від інших. Щоб установити складові системи, використовують системний аналіз, тобто розчленовування системи на складові частини.

До поняття системи входить її структура як закон взаємодії елементів у системі. Вивчаючи зміни кількісних характеристик, установлюють цей закон, виявляють, як елементи впливають один на одний. Для виявлення структури системи використовують системний синтез – виявлення причин цілісності системи.

Системний аналіз і системний синтез нерозривно зв'язані один з одним, вони взаємно доповнюються в системно-структурному дослідженні.

Кількісні характеристики рухів дозволяють на рівні вищого системного синтезу будувати моделі системи рухів (фізичні, математичні). Використовуючи обчислювальну техніку, починають вивчати процеси керування в рухах, шукати оптимальні варіанти дій. Тут мова йде про принципи і результати, а не конкретні механізми, що вже відноситься до фізіології.

Закономірності, установлювані при вивченні рухів, мають статистичний (вірогідний) характер. Такі закони характерні для живих організмів. Їх вірогідний характер зумовлений залежністю наслідків від багатьох, невизначених цілком причин.

Питання та завдання для самоконтролю

- 1) Дайте визначення біомеханіки як науки.
- 2) Розкрийте біомеханіку як навчальну дисципліну.
- 3) Охарактеризуйте предмет біомеханіки .

- 4) Розкрийте об'єкт пізнання біомеханіки.
- 5) Визначте, що вивчає біомеханіка.
- 6) Розкрийте найважливіші напрями наукових досліджень у сучасній біомеханіці.
- 7) Охарактеризуйте основні завдання вивчення загальної біомеханіки.
- 8) Розкрийте метод біомеханіки.
- 9) Охарактеризуйте історію розвитку біомеханіки.

ТЕМА 2. БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ

1. Визначення завдання і методика дослідження.
2. Реєстрація характеристик руху:
 - а) кінематичних
 - б) динамічних.
3. Системи координат, соматична система координат.

1. Визначення завдання і методика дослідження

Для вивчення рухів у біомеханіці застосовуються специфічні для неї (біомеханічні) методи. У разі потреби використовують методи і суміжні науки: біологічні, психологічні, педагогічні, математичні та ін. Біомеханічні методи дозволяють одержувати кількісні характеристики рухів і виявляти їхню взаємну залежність. Це забезпечить системний аналіз, а також системний синтез рухів як основний шлях їхнього вивчення.

Організація біомеханічного дослідження залежить від визначення завдань і вибору відповідних їм методик.

Завдання біомеханічного дослідження досить різноманітні. Від їхньої постановки залежить не тільки вибір методик, організація дослідження, але і шляхи обробки отриманих даних, напрямок аналізу. Визначення завдання дослідження значною мірою відповідає на запитання:

- 1) що вивчати (які залежності);
- 2) на якому матеріалі (об'єкті) досліджувати;
- 3) в яких умовах збирати дані;
- 4) яким способом одержувати й обробляти їх.

Методики дослідження (як комплекси характерних методів) вибирають, виходячи із завдання дослідження. Щоб визначити конкретне завдання, потрібно знати існуючі методики, що дозволяють його розв'язати, або можливість їхнього створення. На основі завдання визначають, які характеристики необхідно досліджувати. Одні з них одержують тільки розрахунковим способом як вироблені від зареєстрованих основних характеристик (момент інерції, кінетична енергія, робота, у багатьох випадках також швидкість, прискорення і т. ін.), інші (частіше просторові, тимчасові і силові характеристики) – шляхом безпосередньої реєстрації.

Установивши, які характеристики треба реєструвати, визначають умови збору даних (природні, спеціально створені для експерименту та ін.).

Спостереження в природних умовах тренування і змагань проводять так, щоб вони не стали перешкодою рухам спортсмена. Спостерігач може користуватися вимірювальними приладами (рулетка, секундомір, оптичні системи спостереження) і фото- і кіноапаратурою. Основна умова зорового або інструментального спостереження – одержання об'єктивних даних, що вимагає невтручання в природний хід рухів.

При проведенні експерименту (наукового досліджу) створюються спеціальні умови, в яких розв'язуються визначені в дослідженні завдання. Можна провести природний експеримент, в якому спортсмени будуть знаходитися в строго визначених умовах і при цьому буде забезпечене найменше втручання в їх рухи. При цьому спортсмени, оснащені складною апаратурою, можуть показати навіть високий результат.

У даний час широко застосовують лабораторний експеримент (модельний), починаючи від вивчення закономірностей у змінених і тільки в чомусь істотно подібних рухах і закінчуючи побудовою математичної моделі руху й аналізом її особливостей. Математичне моделювання рухів людини стає самостійним методом виявлення складних залежностей. Обробка зареєстрованих даних про рухи проводиться переважно математичними методами.

Сучасні комплексні методики включають ряд методів реєстрації й обробки даних, що взаємно доповнюють, а іноді і дублюють (для перевірки) один одного.

Той або інший метод дослідження вибирають, виходячи з того, наскільки він забезпечує одержання достовірних і доступних даних. Необхідно, щоб такий метод:

- а) забезпечував достатню точність вимірювань;
- б) не спотворював рухів, тобто не обтяжував би спортсмена;
- в) був надійним і зручним для застосування;
- г) міг застосовуватися в умовах проведення спостережень або експерименту;
- д) надавав матеріал у формі, зручній для обробки;

е) був сумісний з іншими необхідними методами і за всіма названими показниками відповідав завданню дослідження.

У біомеханічному дослідженні умовно розрізняють три етапи:

- 1) реєстрація даних (характеристик);
- 2) обробка результатів реєстрації;
- 3) біомеханічний аналіз.

Реєстрація характеристик рухів людини і спонукуваних їм тіл має на меті одержання кількісних даних про досліджувану дію, умови її виконання, його результати, а також про самого спортсмена. Реєструються як механічні характеристики рухів і навколишніх умов (кінематичної і динамічної), так і характеристики самого спортсмена (наприклад розміри тіла, функціональні показники). Звичайно реєструються не одиночні характеристики, а їхня сукупність, для чого застосовується не один, а комплекс методів (методика).

Обробка даних (результатів реєстрації) дозволяє одержати нові дані, що не були прямо зареєстровані (наприклад розрахувати швидкості за даними шляху і часу). Математична обробка дає можливість установити залежності між різними факторами, визначити їхню вірогідність. Нарешті, у результаті обробки даних одержують новий вид (таблиці і графіки), зручний для аналізу, наочний при використанні на практиці.

Біомеханічний аналіз спрямований на встановлення характерних закономірностей, пошуки яких були визначені в завданнях дослідження, і на обґрунтування висновків і рекомендацій. Пошуки закономірностей за традицією називають “аналізом”. Однак, як відомо, аналіз тісно зв’язаний із синтезом: розчленовування цілого на частини обов’язково доповнюється об’єднанням частин у ціле. Отже, біомеханічний аналіз містить у собі і синтез.

Перераховані етапи дослідження не завжди суттєво впливають один на один. Уже при виборі способу реєстрації починається попередній біомеханічний аналіз. У процесі реєстрації характеристик дослідник у міру нагромадження даних шукає залежності. Нарешті, хід обробки наштовхує на нові думки і сам спрямовується завдяки даним попереднього аналізу. Тому поділ на етапи умовний. Він змушує заздалегідь

обміркувати хід дослідження, одержавши перші дані, перевірити, чи піддаються вони обробці, а в ході обробки уважно проаналізувати результати.

2. Реєстрація характеристик руху

Реєстрація характеристик завершує шлях сигналу від спортсмена, що рухається, або іншого об'єкта до пункту фіксації (на папері, плівці, екрані і т.п.).

Цей шлях починається з прийняття сигналу за допомогою датчика. Відбувається перетворення сигналу, що несуть із собою рух, напруга або інші фізичні процеси. При кодуванні змінюється носій сигналу. Далі відбувається передача сигналу на відстань, можливі і подальші перетворення сигналу (посилення, перекодування) до надходження в пристрій, що реєструє. Тут сигнал знову перекодується і приймає характер процесу, що залишає ті або інші «сліди» (запис). Кількість пунктів перетворення (включаючи приймання і реєстрацію) буває різною. Передача може бути механічною, оптичною, звуковою, електричною (по проводах, електромагнітна) та ін. Наприкінці передачі на приладі можлива індикація сигналу, що дозволяє наочно спостерігати його, індикація сигналу з одночасною його реєстрацією або тільки одна реєстрація. Усі ці варіанти подібні, якщо розглядати індикацію (спостереження за стрілкою, променем і т.п.) як реєстрацію, що не фіксується.

В останні роки широко застосовуються в дослідженнях пристрої, що перетворюють неелектричні сигнали в електричні, котрі передаються по проводах або радіопередавачем і після посилення подаються на осцилограф.

Просторові характеристики (координати, траєкторії) можна вимірювати, а результати вимірювань записувати по ходу виконання руху як безупинно, так і в окремі моменти часу – дискретно. Визначення цих характеристик зводиться до вимірювання відстаней (у лінійних і кутових одиницях відліку).

Вимірювання відстаней виконується як безпосереднім шляхом, так і вимірюванням на зменшених (масштабно) зображеннях (матеріали фотореєстрації).

Безпосередні вимірювання. У спортивній практиці вимірюються як розміри місць змагань (загальні розміри і

розмітка), так і результати спортивних виступів (наприклад висота, довжина в стрибках, дальність метань та ін.). Для цього застосовують рулетки, вимірювальні троси, оптичні візирі, механічні дистанціметри (колесо з лічильником), циркулі-вимірники та ін. Кути нахилу на місцевості вимірюють еклиметром (кутоміром).

Результат рухів визначають, наприклад, за допомогою вимірника пригучості (В. М. Абалакова), мішеною для влучення футбольним або тенісним м'ячем. Уздовж доріжки розставляють на рівних відстанях орієнтири для зорового або автоматичного (фотоелементи) вимірювання часу проходження визначених відрізків (наприклад для визначення швидкості лідирування звуковим сигналом). Усі перераховані методи вимірювання відстаней прості і не вимагають докладних пояснень.

Кути в суглобах вимірюють гоніометрами різних систем. Найбільш зручна електрогоніографія – безперервне вимірювання суглобного кута. При зближенні або віддаленні двох деталей гоніографа (з'єднаних на осі суглоба) змінюється електричний опір, а зміна струму фіксується на стрічці (плівці) осцилографа. При використанні системи електрогоніографів можна одержати запис одночасних змін ряду суглобних кутів у різних площинах.

Фотореєстрація застосовується у вигляді одноразових і багаторазових експозицій.

При одноразовій експозиції (фото- або кіноапаратом) виходить одиночний фотознімок (фотографія), на якому, наприклад, відбиті положення, поза людини в даний момент. Якщо прикріпити до тіла (на проєкціях центрів суглобів, у робочій точці, в інших обраних точках) світні лампочки накалювання і тримати затвор апарата відкритим протягом усього руху, то на негативі виходять безперервні траєкторії крапок (фотограма). У затемненому приміщенні фотограма буде більш чіткою. Замість лампочок можна використовувати маленькі дзеркала, що відбивають яскравий промінь світла (тоді затемнення не потрібно). Фотограма дозволяє зафіксувати проєкції траєкторій точок на площину, перпендикулярну оптичній осі об'єктива апарата. Але визначити, в який момент

часу точка, що рухається, була в тому або іншому пункті траєкторії, неможливо.

При багаторазовій експозиції можна одержати на одному негативі подвійний (потрійний і т.д.) фотознімок (кілька положень). Використовуючи обтюратор, одержують хронофотограму – ряд зображень через однакові проміжки часу на одній і тій же плівці (або пластині). Якщо фотографувати людину, оснащену світними лампочками з застосуванням обтюратора, то на негативі вийде циклограма – ряд точкових траєкторій. Відстані між точками кожної траєкторії відповідають переміщенню точки за рівні проміжки часу. Нарешті, перериваючи промінь світла, що падає на об'єкт зйомки, можна також одержати на одному негативі ряд поз освітленої людини – стробофотограму. Останній спосіб дозволяє реєструвати пози як на хронограмі, але з більшою частотою (сотні і тисячі герців) при значній точності тимчасових проміжків.

Нерідко застосовується двостороння циклографія (двома апаратами). Такі ж дані одержують за допомогою дзеркальної циклозйомки – прямі і відбиті траєкторії (як зйомка з двох пунктів).

Кінореєстрація (кінозйомка), як відомо, здійснюється шляхом експозиції на послідовні ділянки кіноплівки, що переміщуються (кінокадри). При всіх видах кінозйомки первинним матеріалом реєстрації є кіноплівка (негативна або позитивна). Надалі вона може бути використана для демонстрації на екрані з застосуванням нормальної, прискореної або уповільненої проекції кінокадрів. Прискорену зйомку (рапід) використовують для одержання ряду характеристик шляхом більш точних вимірювань і розрахунків. На кожному кадрі фіксується лише одне положення, за яким можна визначити положення і координати точок тіла у відповідний момент. Можлива одночасна кінозйомка двома і трьома кіноапаратами, що дозволяє одержати зображення проєкцій рухів і поз відповідно на двох або трьох взаємно перпендикулярних площинах, тобто одержати інформацію про переміщення ланок тіла у всіх трьох вимірах.

Умови фотокінореєстрації. При всіх видах зйомок потрібна

попередня розробка схеми розташування апаратури щодо місця руху, маркування (розмітка) поля й об'єкта зйомки. Варто передбачити умови висвітлення.

Оптичну вісь об'єктива апарата розташовують перпендикулярно площині руху, що знімається. Видалення на велику відстань із використанням довгофокусної оптики (телеоб'єктив) дозволяє зменшити перспективне перекручування. Вибираючи місце для зйомки, враховують, на якому тлі вийде зображення й в якому масштабі.

Для одержання точного масштабу фотографують масштабну лінійку, поміщену у площині руху. Для подальшої обробки необхідно помістити в поле зйомки вертикальний (або горизонтальний) орієнтир. Паралельно площині руху може встановлюватися просторова розмітка (з урахуванням віддалення її від площини руху). Для наступної обробки на поверхні тіла, на костюмі відзначаються пункти відліку – прикріплюються або малюються позначки (наприклад хрестики). Позначки розташовують, наприклад, на проекції осі суглоба на поверхню тіла. Варто тільки постійно враховувати, що при ряді рухів (унаслідок повороту ланки) пункт відліку зміщається щодо осі суглоба, що спотворює дані на десятки міліметрів. У цьому полягають найбільш принципові труднощі точного визначення просторових координат осей і центрів суглобів.

Відповідно до умов висвітлення місця зйомки і швидкістю руху, що знімається, визначають, якими повинні бути відносний отвір об'єктива, чутливість плівки й експозиції. При швидких рухах необхідна менша експозиція (щоб не змазувалося зображення) і велика частота зйомки (для більшої точності наступних розрахунків). При циклозйомці зменшують освітленість приміщення, щоб яскравіше виділялись лампочки. У випадку недостатньої освітленості при кінозйомці застосовують освітлювальні прилади (потужні лампи з відбивачами).

Часові характеристики (момент часу, тривалість руху, темп і ритм рухів) можна вимірювати і фіксувати, відзначаючи потрібні моменти часу і визначаючи відповідні його проміжки.

Для вимірювання часу в спортивній практиці застосовують

механічні секундоміри (ціна найменшого поділу 0,1 с). Вони дають великі погрішності за рахунок часу реакції хронометристів при пуску і зупинці секундоміра. Існують пристрої для автоматичного пуску і зупинки секундоміра, що значно знижують погрішність «реакції». Більш точні електросекундоміри, що, маючи малу ціну розподілу (0,01 с), вмикаються і вимикаються автоматично. При роботі з кіноматеріалами про проміжки часу судять за частотою зйомки (тривалість міжкадрового проміжку часу – величина, зворотна частоті). Якщо частота зйомки недостатньо стабільна, то застосовують точний електросекундомір.

Для позначення часу на стрічці, на якій реєструються ті або інші характеристики, застосовують хронографи. Оцінки часу можна одержати на циклограмі і стробоскопічній фотографії (за частотою зйомки), а також на осцилографічному записі.

Просторово-часові характеристики (швидкості і прискорення) можна вимірювати і розраховувати. Безпосередньою реєстрацією швидкості користуються рідко. У дослідженнях для практичних цілей зручний спідграф В. М. Абалакова: капронову нитку (довжиною до 200 м) спортсмен, що рухається, змотує з барабана тахометра, що робить запис кривої швидкості.

Для реєстрації прискорень застосовують датчики, що дозволяють фіксувати прискорення (в одному, двох або трьох напрямках). Сигнал від датчика через підсилювач надходить на осцилограф.

До останнього часу швидкості і прискорення визначалися переважно розрахунковим шляхом за координатами точок і тимчасовими інтервалами. Безпосередня реєстрація швидкостей і прискорень у складних рухах має технічні труднощі, але застосовується все успішніше. У даний час використовують також диференціюючі пристрої, що одночасно з реєстрацією переміщень дають запис розрахованих за ними швидкостей і прискорень.

Реєстрація динамічних характеристик може проводитися до або після рухів спортсмена (наприклад визначення маси тіла, моменту його інерції, сили м'язів та ін.) і під час рухів (наприклад сила взаємодії з опорою).

Інерційні характеристики (маса, момент інерції) звичайно безпосередньо не реєструються. Визначаються дані, за якими розраховують ці характеристики.

Маса тіла (m) визначається зважуванням. Знаючи за вагою тіла його силу ваги (G) і прискорення вільного падіння тіла (g), визначають масу:

$$M=G/g$$

Розподіл мас у тілі у певною мірою характеризується положенням його загального центра ваги (ОЦТ). Застосовують достовірне (експериментальне) визначення положення ОЦТ і розрахункове.

Один із найбільш точних дослідних методів – зважування людини на трикутній платформі у заданій позі.

Необхідну позу встановлюють двома способами. При першому способі позу змальовують з кінокадру, збільшуючи її до натурального розміру. На цей малюнок, що знаходиться на платформі, лягає спортсмен, приймаючи позу, що відповідає нанесеному контурові. При другому способі на кінокадрі вимірюють кути у великих суглобах тіла (плечові, ліктьові, тазостегнові, колінні, гомілковостопні) і, використовуючи кутоміри, задають спортсмену на платформі необхідну позу.

Дослідне визначення виконують і на моделях. Модель Абалакова – фігурка людини, побудована з дотриманням середніх пропорцій тіла (у 0,1 розміру тіла і 0,001 ваги). Фігурка укладається в заданій позі на лист паперу з контурами пози. Лист із моделлю пересувають по вільно хитній на опорі О платформі, поки ОЦТ моделі не збіжиться з точкою підвіси платформи. Натиском знизу на голку в центрі платформи приколюють лист паперу в точці розташування ОЦТ.

Можна також застосувати шарнірну модель О. Фішера, що дозволяє визначити положення ОЦТ у передньо-задній площині.

Розподіл мас у тілі людини характеризується також моментом інерції щодо обраної осі. На гойдалках або на пружинному обертовому столі поміщають людину в заданій позі. Визначивши відстань ОЦТ його тіла до осі обертання, надають установці коливальні рухи і реєструють період одного хитання. Знаючи момент інерції самої установки, масу тіла

людини і період хитань, можна розрахувати момент інерції тіла.

Можна або вимірювати силові характеристики, реєструючи сили протягом усього руху, одержуючи поточне їхнє значення, або вимірювати і реєструвати максимальні їхні значення.

Силу дії людини (на визначений об'єкт) можна вимірювати як при роботі груп м'язів одного або кількох суглобів, так і при загальній спільній роботі багатьох груп м'язів (відштовхування, удар боксера та ін.). Коли під дією людини деформується пружина або пластина (платформа), деформація передається на індикатор стрілочного типу з попередньо таврованою шкалою. Показання індикатора можна спостерігати безпосередньо, відзначаючи максимум стрілкою, що зупиняється, або фіксувати фотографуванням або кінозйомкою, а також передавати на записуючий пристрій (дінамографія).

Для вимірювання моментів сили ряду груп м'язів у суглобах застосовують метод полідинамометрії. За показниками динамометра максимальну силу тяги вимірюють на петлі, розміщеній на кінці ланки при суглобному куті, що дорівнює 90° .

Ця сила тяги (S) менше рівнодіючої тяги всіх м'язів (F_m) у суглобі в k раз. Тут k – коефіцієнт, дорівнює відношенню плечей сили тяги на петлі (Y) і рівнодіючої м'язової тяги (Y_1):

$$S = \frac{Y_1}{Y} F_m = kF_m$$

Щоб порівняти силу груп м'язів у різних людей, визначають відношення так званої “абсолютної сили групи м'язів” (S) до ваги спортсмена. Це відношення називають “відносною силою групи м'язів”.

Вимірювання сили звичайними кистьовим і становим динамометрами базується на викладеному принципі, але через великі похибки цих динамометрів застосування їх для наукових досліджень не рекомендується.

Метод електричної тензометрії базується на зміні електричних властивостей датчиків (тензодатчики), наклеєних на частини снарядів, що деформуються спортсменом (гриф штанги або поперечини, рукоять весла, ручка тенісної ракетки і т.п.) або на вимірювальні пристрої (сталеві кільця, пластини та ін.). Тензометричні платформи одержали широке застосування

для реєстрації сили відштовхування в стрибках, ходьбі, бігу, метаннях, боротьбі і багатьох інших видах спорту.

Метод вектординамографії базується на електро-тензометричній реєстрації взаємно перпендикулярних складових деформації платформи (або іншого об'єкта). Електричні сигнали, пропорційні відповідним зусиллям людини, прикладеним до платформи, впливають на електронний промінь векторелектрокардіоскопу. На екрані електронний промінь залишає світний слід у вигляді кривої, що відбиває зміни обох складових зусиль. Після прикладання зусилля роблять фотознімок світного екрана (фотовектординамографія). Помістивши екран так, щоб він увійшов у кінокадр, одержують на кінокамері позу спортсмена і положення електронного променя (точки на екрані), що відповідає величині й напрямку прикладених до платформи зусиль (доіновектординамографія).

Метод телетензометрії базується на передачі по радіо сигналу про зусилля, прикладені спортсменом до елементів, що деформуються (наприклад до устілок з тензодатчиками у взутті бігуна, лижника).

Перевага тензометричних методів полягає у швидкості одержання інформації, можливостях векторного зображення сумарних зусиль. Недоліком є значні похибки, що скрадають важливі особливості тонкого керування рухами.

Електроміографія – метод реєстрації електричної активності збуджених м'язів. Застосовується для визначення початку і завершення м'язових зусиль і величини їхньої активності, що по суті відноситься до динамічних характеристик.

Електричні потенціали (тисячні частки вольт) змінюються надзвичайно швидко (тисячні частки секунди). Для їхньої реєстрації необхідно підсилити сигнали в тисячі разів і подати їх на безінерційний осцилограф. На фотоплівці або паперовій стрічці одночасно реєструються електроміограми ряду м'язів і оцінка часу (звичайно до 0,02 с); попередньо записується калібрований сигнал, щоб при дешифруванні запису визначити величини біопотенціалів.

За електроміограмою можна визначити момент включення м'яза в активний стан і момент припинення активності, а за

цими даними – тривалість активності. Крім того, з певною вірогідністю можна судити про ступінь активності м'яза, тобто про величину його напруги. Застосування портативних підсилювачів біострумів дозволяє записувати активність багатьох м'язів у складних умовах виконання вправ (стрибки із жердиною, лижні ходи, бар'єрний біг, плавання та ін.) при високих спортивних результатах.

Біомеханічний аналіз спрямований на розв'язання конкретних завдань дослідження шляхом виявлення біомеханічних закономірностей. В основу аналізу покладені дані про структурність рухів у руховій дії людини. Виходячи з принципу структурності визначається послідовність опису і пояснення рухів. При цьому аналітичне виявлення складу системи рухів поєднується із синтетичним відтворенням її структури. Єдина послідовність операцій навряд чи може бути рекомендована при різних завданнях дослідження. Однак викладений нижче загальний логічний хід і подальше використання результатів дослідження можуть бути основою схеми аналізу в кожному конкретному випадку.

За характеристиками рухів судять про їхнє виконання. Ці характеристики реєструють, дані реєстрації обробляють, зіставляють, аналізують. Тому вкрай важливо правильно вибрати необхідні для вивчення характеристики. Тут враховують і особливості рухів, і реальні можливості їхньої реєстрації (наявність апаратури, її відповідність завданням та ін.).

Виходячи з результатів первинної обробки, складають план подальшого аналізу.

Ґрунтуючись на вивчених характеристиках, визначають елементи рухів: а) суглобні рухи ланок і систем ланок (елементарні дії) і б) фази рухів.

Установлюють, з яких положень і в яких суглобах виконуються рухи, за якими напрямками, з яким розмахом; яка їхня послідовність і погодженість у часі і просторі. Інакше кажучи, визначають зовнішню картину рухів у цілому.

Слідом за цим (а часто й одночасно) вичленяють складові частини рухів ланок, підготовчі, робочі і завершальні фази.

Ще при встановленні складу рухів (або рухового складу)

намагаються звфіксувати взаємні зв'язки і залежності елементів. Більш-менш докладно установивши склад, основну увагу переключають на структуру рухів.

Розглядають, як форма і характер рухів, їхня кінематична структура пов'язані з динамікою, з механізмом рухів. Динамічну структуру з'ясовують починаючи з визначення механічних умов збереження положень і виконання рухів. Розглядають зовнішнє силове поле, зовнішні сили, прикладені до тіла спортсмена, і його власні зусилля, що виявляються як вплив на власні частини тіла і зовнішні тіла.

Виявлення зовнішньої і внутрішньої динаміки – настільки важливе завдання в дослідженні рухів, що його нерідко виділяють як біодинамічний аналіз. Звичайно, без даних про кінематику рухів і без вивчення їхньої зміни під дією сил неможливо вивчати біодинаміку. У біодинамічному аналізі розглядаються взаємозв'язки силових і інерційних характеристик і особливе зіставлення дії сил зі зміною рухів.

Головне завдання дослідження структури системи рухів – відтворення цілісного процесу рухової дії, виявлення об'єднуючої ролі і специфічного впливу структурних зв'язків.

Для оцінювання ефективності рухів установлюють, наскільки успішно вирішене рухове завдання і яка “вартість” його розв'язання, наскільки раціонально (з урахуванням закономірностей біомеханіки) досягнута мета. Для цього вивчаються і результат рухів, і умови їхнього виконання, і відповідність рухів завданню досягнення мети і конкретних можливостей. На цьому етапі дослідження необхідно широке зіставлення можливостей людини з їхньою реалізацією.

При практичному проведенні уроку необхідне оцінювання виконання фізичних вправ. У цих умовах звичайно не застосовують складних приладів. Однак викладачеві необхідно мати науково обгрунтоване судження про якість виконання вправ. Знаючи основні закономірності рухів, спостерігаючи наочно за рухами, викладач проводить якісний біомеханічний аналіз (В. Б. Коренберг). Для цього необхідні відмінне знання техніки вправ, досвід спостереження й оцінки, наявність гарно продуманого плану спостережень, здатність швидко і точно помічати деталі виконання вправ, уміння дати йому

(спираючись на знання основних положень і законів біомеханіки) педагогічну оцінку.

Для розв'язання ряду конкретних завдань у біомеханіці використовуються різні методи. Сьогодні у біомеханіці як синтетичній науці сформувався специфічний біомеханічний метод дослідження, основою якого є біомеханічний аналіз.

Практично без попереднього біомеханічного аналізу неможливо розробити жодної ефективної програми підготовки людини до розв'язання будь-яких координаційно складних рухових завдань. При вивченні рухів тіла людини часто умовно беруть за так звану матеріальну точку. Це припустимо тільки у тому випадку, якщо його розміри настільки малі порівняно з відстанню, на котру воно переміщується, що ними можна знехтувати. У випадках, коли з будь-яких практичних міркувань розмірами тіла знехтувати неможливо, за матеріальні точки беруть окремі його частини, ланки і розглядають у цьому разі як систему матеріальних точок. Якщо відстань між окремими точками системи не змінюється, її називають матеріальною системою, що не змінюється, або абсолютно твердим тілом.

Абсолютно твердих тіл у природі не існує; деформації притаманні усім без винятку матеріальним тілам з відносним молекулярним рухом. Однак більшість деформацій, у тому числі і в тілі людини, такі малі, що при вивченні її рухів ними можна знехтувати.

Усі рухи людини відбуваються у часі та у просторі. Час береться однаковим у будь-якій точці простору, у будь-якій системі відліку. Під простором, у котрому рухається тіло людини, розуміють евклідов тривимірний простір. При цьому вважається, що маса тіла (кількісна міра інертності її тіла) залишається увесь час незмінною і не залежить від руху.

Процедура аналізу рухової діяльності (біомеханічного аналізу) складається з наступних етапів:

1. Вивчення зовнішньої картини рухової діяльності. Насамперед з'ясовують, з яких рухових дій вона складається і в якому порядку дії впливають одна на одну. Наприклад, шкільний урок фізичної культури складається з ряду вправ. Потрібно враховувати, що характер, тривалість і інтенсивність попередніх вправ впливають на якість виконання наступних.

Вивчаючи зовнішню картину рухової діяльності, реєструють кінематичні характеристики. Особливо важливо знати тривалість окремих частин руху (фаз), графічним відображенням чого 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 викликають і змінюють рухи. Вони не доступні візуальному контролю, і для їхнього аналізу необхідно реєструвати динамічні характеристики. Найважливіше значення тут мають величини сил, що діють на людину ззовні і вироблені його власними м'язами.

3. Визначення топографії працюючих м'язів. На цьому етапі виявляється, які м'язи і наскільки активно беруть участь у виконанні даної вправи. Знаючи, які м'язи переважно забезпечують рухову діяльність, до якої готує себе людина, можна з безлічі фізичних вправ відібрати сприятливому розвитку саме цих м'язів і їхньої координації.

У залежності від того, яка частина всієї м'язової маси тіла задіяна, розрізняють: глобальну м'язову роботу (більш 2/3 %), регіонарну (від 1/3 до 2/3) і локальну (менш 1/3%). Так, бігуни, плавці, лижники виконують глобальну м'язову роботу. До регіонарної відноситься, наприклад, м'язова робота, виконувана при деяких загальнорозвиваючих гімнастичних вправах (підтягуванні на поперечині, підніманні ніг і верхньої частини тулуба з положення лежачи на спині і т.п.).

Уявлення про те, які м'язи задіяні в кожній вправі, можна одержати реєстрацією їхньої електричної активності. Чим інтенсивніше працює м'яз, тим вища його електрична активність і більша амплітуда електроміограми.

Добре відомо, що різні рухи відрізняються один від одного за кінематикою (зовнішня картина) і динамікою (характер силових взаємодій). Точно так само і електроміографічний портрет рухів неоднаковий у різних вправах. Але, як пише Р. С. Персон, “навіть досить складні рухи, якщо вони досить автоматизовані (наприклад ходьба та інші локомоції, звичайні побутові, професійні і спортивні рухи), мають більш-менш постійний рисунок дії 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 відповіді на ці питання реєструють енергетичні характеристики. Поряд із величинами енерговитрат важлива економічність: чим вище, тим більше частка корисних енерговитрат стосовно усієї витраченої енергії. Помічено, наприклад, що в стаєрів вищої кваліфікації підвищення економічності бігу на 20% переміщає бігуна в списку кращих з 10-го на 1-ше місце.

5. Виявлення оптимальних рухових режимів (найкращої техніки рухових дій і найкращої тактики рухової діяльності) здійснюється на завершальному етапі біомеханічного аналізу. Тут же оцінюється ступінь відповідності реальних і оптимальних варіантів техніки і тактики.

Оптимальним (від лат. *optimus* – найкращий) називається найкращий варіант із усіх можливих. У спорті (а останнім часом і в оздоровчій фізкультурі) постійно йде пошук оптимальних варіантів техніки і тактики і визначення ступеня відповідності рухового режиму, що спостерігається реально, оптимальному. Тим самим виконується 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 запитання не існує, оскільки усе залежить від конкретної ситуації і поставленої мети. Так, людина, що рятується 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 у людей. І тому неоднакові критерії оптимальності, тобто показники, що використовуються для оцінювання ступеня досягнення поставленої мети.

Економічність рухової діяльності пропорційна енергії, затрачуваної на одиницю виконуваної роботи або метр пройденого шляху. Це найважливіший критерій оптимальності, і ми ще не раз до нього повернемося.

Механічна продуктивність тим вище, 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 дистанції, а в масовій фізичній культурі – відстанню, що людина може пройти, пробігти або пропливти за 12 хв.

Точність рухових дій має два різновиди: цільова 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 числа успішно виконаних рухових дій до їхнього загального числа (ударів у боксі і спортивних іграх, кидків у боротьбі, передач і прийомів м’яча і т.п.).

Естетичність оцінюється близькістю кінематики (тобто зовнішньої картини руху) до естетичного ідеалу – загальноприйнятому або прийнятому в даному виді спорту (фігурному катанні, художній гімнастиці, синхронному плаванні і т.п.).

Комфортабельними вважаються плавні рухи. Чим більше трясеться тіло при ходьбі, бігу і т.п., тим нижче комфортабельність.

Безпека тим вище, чим менше імовірність травми.

Трудомісткість біомеханічного аналізу і користь від нього залежать від того, наскільки успішно педагог прагне може проаналізувати техніку і тактику своїх учнів. Розрізняють системно-структурний і функціональний підходи до аналізу рухової діяльності.

Функціональний підхід дозволяє констатувати ті або інші недосконалості техніки і тактики. Наприклад, на уроці фізкультури можна побачити, що техніка підтягування в багатьох учнів відрізняється від еталонної, рекомендованої в комплексі ГТО. Але як її виправити? Функціональний підхід не дає відповіді на це запитання. Його функція – опанувати процесом керування без повного розкриття його внутрішньої природи. Зрозуміло, що такий шлях ненадійний. Не маючи чітких рекомендацій для усунення недоліків щодо техніки і тактики, викладач змушений діяти навмання.

Системно-структурний підхід дає більш конкретні рекомендації. Педагог, що застосовує при навчанні своїх учнів

системно-структурний підхід, прагне до пізнання складу і структури рухової діяльності, тобто до відповіді на запитання, з яких елементів вона складається і як вони зв'язані між собою. Крім того, з'ясовують внутрішні механізми, тобто прагнуть відповісти на запитання, чому рухові дії виконані саме так, а не інакше. Найбільш широко розповсюдженим прийомом системно-структурного підходу є виконуваний за визначеними правилами поділ рухової дії на частини ("фази").

Функціональний і системно-структурний підходи до аналізу й удосконалювання рухової діяльності доповнюють один одного. Застосовуючи системно-структурний підхід, педагог здійснює аналіз від складного до простого. Елементи рухової діяльності, що знаходяться на нижній сходинці ієрархічної градації, залишаються нерозкритими, недеталізованими і 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, кісток, суглобово-зв'язкового апарата. Але стосовно окремих елементів рухового апарата застосовується функціональний підхід: їхня побудова і функціонування на молекулярному рівні звичайно не розглядаються.

3. Системи координат, соматична система координат

Для об'єктивного пізнання закономірностей виконання рухів широко застосовуються різні біомеханічні методи дослідження, розроблені відповідно до сучасних наукових поглядів на їх природу, що відображають специфіку біомеханіки та її основних принципів методичних положень.

Біомеханічний аналіз являє собою один із способів вивчення рухової діяльності людини. Це ефективний логічний прийом вивчення складних і багатовимірних систем, за допомогою котрого рухи людини ніби розчленовуються на складові частини, що потім досліджуються диференційовано для більш глибокого їх пізнання як єдиного цілого. Разом з тим

біомеханічний аналіз не зводиться до простого розчленування складних об'єктів, котрі вивчаються, на їхні складові елементи. Біомеханічний аналіз – це тільки початок об'єктивного дослідження руху. За ним іде слідом біомеханічний синтез – моделювання складних систем рухів з метою використання їх у різних напрямках медицини, ергономіки та прикладної дидактики рухової діяльності людини.

Починається біомеханічний аналіз із вимірювання систем біомеханічних характеристик руху. Потім встановлюються закономірності їхніх взаємозв'язків та системоутворюючі елементи руху як цілого. Далі, у разі необхідності, визначається внесок кожного елемента у реалізацію його цільової функції. У процесі аналізу використовується цілий ряд фундаментальних відомостей з механіки. До найважливіших із них відносять насамперед поняття про механічний рух.

Механічним рухом людини називається зміна її положення у просторі щодо інших тіл (вибраної системи відліку) з плином часу. Положення будь-якої точки тіла на будь-якій лінії, площині та у просторі визначають відповідно одним, двома й трьома числами-координатами. У зв'язку з тим, що положення тіла людини у будь-який момент часу можна визначити за координатами його точок, то найважливіше завдання біомеханічного аналізу у даному випадку зводиться до того, щоб знайти координати точок тіла у будь-який момент часу.

Для того, щоб визначити рух тіла, необхідно знати його переміщення. Переміщенням тіла (матеріальної точки) називається спрямований відрізок прямої, що з'єднує початкове положення тіла з його наступним положенням. Переміщенням точки задається вектор, що називається вектором переміщення.

При біомеханічному аналізі враховується також те, що у будь-якому випадку положення тіла людини є по-різному відносним щодо різних тіл та пов'язаних із ними систем координат. Із цього випливає, що відносним є не тільки положення, але й рух тіла. При вивченні рухів тіла важливо знати як мінімум дві величини – його переміщення і час, протягом котрого це переміщення відбулося. Довжина переміщення і час виражаються певними числами. Перш ніж робити біомеханічний аналіз, слід виміряти ці характеристики.

Для того, щоб дослідити рухи людини, вимірюють кількісні показники механічного стану і рухової функції її тіла та самих рухів. Для цього використовують біомеханічні характеристики.

Біомеханічні характеристики рухів тіла людини – це міри механічного стану біосистеми та його зміни (поведінки). Будь-яке об'єктивне вивчення рухів тіла на організменному рівні неможливе без дослідження їхніх біомеханічних характеристик. Механічний стан і поведінка кожної біологічної системи, тим більше такої складної, як тіло людини, відрізняється змінним характером, тому характеристики, що описують її стан, називаються не механічними, а біомеханічними. Ця суттєва особливість дає змогу при вивченні враховувати біологічну специфіку рухів тіла людини як цілісної біологічної системи.

На практиці звичайно використовують біомеханічні характеристики двох типів – якісні та кількісні. Якісні характеристики дають змогу розрізняти рухи, принципово різні за типами, видами, біомеханічними закономірностями, принципами побудови та особливостями виконання (приклад якісно різних типів рухів – рухи навколо осі та локомоторні рухи). Кількісні характеристики дають змогу розрізняти та зіставляти рухи всередині кожного їх типу, виду тощо. Ці характеристики використовують найчастіше для порівняння зразків одних і тих самих рухів, але виконуваних різними особами. Вимірювання кількісних характеристик таких рухів дає об'єктивну можливість порівнювати якість виконавчої діяльності та визначити рівень рухової майстерності виконавців. Однак якщо якісні характеристики при певному досвіді можна визначити без спеціальної апаратури за допомогою візуального спостереження, то встановлення кількісних характеристик цих рухів вимагає використання досить складної вимірювальної техніки та методики. Кількісні характеристики рухів тіла людини методично зручно поділити на два основних види – біокінематичні та біодинамічні.

Розділ біомеханічного аналізу – *біокінематика* (від грецьк. *bios* – життя, *kinematos* – рух) вивчає рух живих тіл та біологічних систем.

Кінематика – це розділ механіки, що вивчає механічні рухи усіх матеріальних тіл у природі. Рухи тіл у кінематиці

вивчаються без урахування їхньої інертності та діючих сил. Тому кінематику іноді називають геометрією рухів. До поняття кінематики рухів включають в основному способи вимірювання положення тіла у просторі щодо інших тіл із плином часу. Кінематика ставить за мету аналізувати різні види руху та виявляти закони, котрі відображають зв'язки між величинами, що характеризують ці рухи. Основним чинником кінематики та біокінематики є поняття про рух. Біокінематика вивчає все про рухи тіла людини, окрім механічних причин, котрі їх викликають.

Зміна руху відбувається у просторі, а простір описується у тих чи інших системах відліку. Наприклад, спортсмен переміщується по дистанції від старту до фінішу. Суддівська колегія виконує відлік його руху від старту до фінішу. Для того, щоб упорядкувати уявлення про довколишній простір, вводяться певні системи просторових координат. Умовний простір поділяють на частини – квадранти. Існують різні системи координат: прямокутні, косокутні, сферичні та ін. Розрізняють плоскі та просторові координати: плоскі дають змогу фіксувати положення точки на площині, а просторові – у просторі. Вивчення рухів біомеханічної системи тіла людини надзвичайно утруднене через складне просторове розташування її численних частин у різні моменти часу. Можна описати її рухи тільки для однієї площини (наприклад сагітальної), але у цьому разі багато рухових механізмів більшості локомоторних актів залишаться невивченими, а загальна картина рухів буде викривленою.

Рух будь-якої точки тіла людини тільки тоді слід вважати за встановлене, коли спосіб визначення її положення у будь-який момент часу, у будь-якій площині простору відомий. Для об'єктивного вивчення характеристики рухів людини необхідно якимось чином моделювати її тіло. У біомеханіці існують два способи моделювання тіла людини: перший – уявити її тіло як матеріальну точку і другий – уявити тіло людини як систему матеріальних точок. Тіло людини можна уявити як матеріальну точку, якщо при дослідженні його розмірами можна знехтувати, припускаючи одночасно, що у матеріальній точці сконцентрована вся маса її тіла. Якщо при вивченні рухів

розмірами тіла не можна знехтувати, то воно приймається як система матеріальних точок і може бути графічно зображене у вигляді біокінематичної схеми.

Існують три способи визначення рухів тіла людини як матеріальної точки: природний, координатний та векторний. При цьому використовують такі кінематичні характеристики руху, як траєкторія, швидкість, прискорення, форма руху точки (прямолінійна, криволінійна). Якщо ж аналізується рух тіла як системи матеріальних точок, то використовують такі її характеристики: форма рухів (за формою рух може бути поступальним, обертальним або складним), швидкість, прискорення (розглядаються та зіставляються характеристики рухів різних точок системи). Другий спосіб моделювання дозволяє отримати більш повне уявлення про рух тіла людини. Визначити положення тіла людини у просторі, застосовуючи цей спосіб, означає встановити місце його точок у просторі відносно обраної системи координат з урахуванням часу. Однак ця проблема ускладнюється тим, що біоланки його рухової системи переміщуються за власними траєкторіями і займають у просторі певне місце відносно усього тіла. При вивченні спортивної техніки, трудових процесів та управління часто виникає необхідність визначити не стільки положення усього тіла людини у просторі, скільки відносно взаєморозташування окремих його елементів та біоланок. Щоб визначити просторове розташування матеріальних точок тіла людини, необхідно прийняти певну систему відліку для вимірювання кінематичних характеристик складних рухів. Така система відліку має базуватися на цілком визначеній системі координат, об'єктивно відображати кінематику як окремих біоланок, так і усього тіла людини. При її практичному застосуванні необхідно урахувати правила антропометрії та матеріали біомеханічної класифікації рухового апарату людини.

Закони механіки об'єктивно та зручно застосовувати для біомеханіки тоді, коли рух тіла людини розглядається у так званій інерціальній системі координат. Оскільки нерухомої системи координат практично не існує, то інерціальну координатну систему для тіла людини можна вважати умовно нерухомою системою відліку. Такою системою може бути

географічна координатна система відліку, що являє собою прямокутний тригранник, вершина котрого збігається з точкою земної поверхні, де у даний момент перебуває людина, одна вісь спрямована за дотичною паралельно на схід, друга – за дотичною до меридіана на північ, а третя – за вертикаллю у зеніт.

Географічний інерціальний тригранник має бути обов'язково пов'язаний з координатною системою людини, щоб можна було визначити істинну орієнтацію усіх частин та біолонок її тіла. Система біолонок хребетного стовпа людини у фронтальній площині у нормі відповідає напрямку істинної просторової вертикалі. Вісь симетрії проходить через фронтальну площину тіла у ділянці пупка спереду, п'ятого поперекового хребця ззаду й перетинає вертикаль у ділянці п'ятого поперекового хребця. У тому ж місці розташовано загальний центр мас тіла людини у випадку, якщо людина перебуває у положенні антропометричної стійки. Дана ділянка являє собою своєрідний метричний центр симетрії основних мас тіла людини.

Найзручнішим місцем розміщення центра соматичного координатного тригранника є антропометрична поперекова точка, котра розташована на вершині остистого відростка п'ятого поперекового хребця. У цьому випадку числова координатна вісь Z відповідає напрямку істинної вертикалі, осі X та Y розташовуються під прямим кутом у горизонтальній площині та відповідають сагітальному (F) та фронтальному (X) напрямкам.

Слід зауважити, що коли фігура людини перебуває у загальноприйнятому для анатомічних вимірювань положенні стоячи, то соматична система координат буде так само, як і географічна, умовно інерціальною системою. Тому визначити координати будь-якої точки її тіла відносно двох даних систем у такому положенні досить просто.

Застосування соматичної системи відліку створює зручний перехід від інерціальної системи до неінерціальної при переміщеннях тіла з прискоренням. Тоді соматична система, що визначає вихідне положення тіла, перетворюється з інерціальної на неінерціальну, у котрій значно простіше визначити відносний рух біолонок. Надалі у разі необхідності можна визначити й абсолютні рухи окремих точок та біолонок

практично у будь-якій іншій системі відліку.

При застосуванні соматичної системи відліку з'являється можливість використання так званої просторової антропометрії – визначення будь-якої (антропометричної) точки у просторі за допомогою координатного методу.

Декартова система координат на площині складається з двох взаємно перпендикулярних осей – абсциси (X) та ординати (Y). Декартовою ж системою координат у просторі вважається впорядкована трійка взаємно перпендикулярних осей координат із одним загальним початком (O) на кожній з них та з одним і тим самим масштабним відношенням. Для визначення координат будь-якої точки досліджуваних просторових фігур біологів необхідно застосовувати три числові осі: X (абсциса), Y (ордината) та Z (апліката). При цьому позитивна напіввісь X має сполучатися з позитивною напіввісю Y обертанням на 90° проти годинникової стрілки, якщо дивитися з позитивної напіввісі OZ . У результаті побудови трьох координатних осей у просторі можна розрізнити координатні площини, котрі проходять через дві будь-які координатні осі.

Координатний метод дає змогу визначити положення на площині ті у просторі не тільки окремих точок, але й різних ліній та поверхонь, котрими можуть бути, зокрема, окреслення частин тіла, поверхні обличчя, кінцівок тощо. Усі ці плоскі або просторові фігури можуть бути задані за допомогою чисел або числових співвідношень, над котрими можна виконувати практично будь-які математичні операції.

Окрім прямокутної декартової координатної системи для визначення просторових характеристик тіла людини, можна застосовувати так звану косокутну систему координат, у котрій числові осі перетинаються не тільки під прямим кутом.

На цьому можливості координатного методу не вичерпуються. У деяких випадках доцільно застосовувати полярну та сферичну системи координат на площині та у просторі. У багатьох випадках доцільно вводити одночасно прямокутні, полярні та сферичні координатні системи. Це дозволяє розв'язувати різноманітні просторові завдання в антропометрії та біомеханіці.

Отже, у тій або іншій системі відліку всі точки тіла людини

можуть бути описані такими біокінематичними характеристиками:

- 1) траєкторія руху;
- 2) форма руху;
- 3) шлях руху;
- 4) час руху;
- 5) швидкість руху;
- 6) прискорення руху.

Питання та завдання для самоконтролю

1. Розкрийте завдання біомеханічного дослідження.
2. Охарактеризуйте реєстрацію характеристик рухів людини.
3. Опишіть, як здійснюється обробка даних.
4. Охарактеризуйте біомеханічний аналіз.
5. Опишіть особливості реєстрації характеристик руху.
6. Охарактеризуйте системи координат, соматичну систему координат.

ТЕМА 3. ПРОСТОРОВІ ТА ЧАСОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХУ

1. Біокінематичні та біодинамічні (часові, просторові та просторово-часові) характеристики руху тіла
2. Біостатичні характеристики тіла людини. Положення рівноваги.

1. Біокінематичні та біодинамічні (часові, просторові та просторово-часові) характеристики руху тіла

Системи відліку (відстані) – умовно обране тверде тіло, відносно якого визначають положення інших тіл у різні моменти часу. Траєкторією називають умовну лінію, котру описує точка, що рухається у просторі.

До системи відліку часу входить певний початок та одиниці відліку. В умовах змагань за початок відліку часу беруть суддівський час, тобто “секундоміри виставляють на нуль”. У всіх установах та на підприємствах – північ (північ та полудень у звичайних життєвих умовах).

Часові характеристики розкривають рух у часі, коли він почався і коли закінчився (момент часу), як довго тривав (тривалість руху), як часто виконувався рух (темп), як рухи були побудовані у часі (ритм). Разом з просторово-часовими характеристиками вони визначають характер рухів людини. Визначаючи, де знаходилася та чи інша точка тіла у просторі, слід визначити, коли вона там була.

Момент часу – це часова міра положення точки тіла щодо початку відліку. Момент часу (t) визначають проміжком часу до нього від початку відліку:

$$[t] = T.$$

Визначають момент часу не тільки для початку та завершення руху, але й для інших важливих миттєвих положень. Насамперед це моменти суттєвої зміни руху: завершується одна частина руху і починається наступна. За моментами часу визначається тривалість руху.

Тривалість руху – це часова міра, котра вимірюється різницею моментів часу завершення і початку руху

$$\Delta t = t_{\text{зак}} - t_{\text{поч}}; [\Delta t] = T$$

і являє собою проміжок часу між двома моментами часу, що його обмежують. Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм.

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

$$N = \frac{1}{\Delta t}; [N] = T^{-1}.$$

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

Ритм рухів (часовий) – це часова міра співвідношення частин руху. Ритм – величина, що не має розміру і визначається за співвідношенням тривалості частин рухів:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \quad \text{і т. д.}$$

Ритм рухів характеризує, наприклад, відношення часу опори до часу польоту у бігу або часу амортизації до часу відштовхування при опорі. Окрім часових можна визначити ще просторові показники ритму (наприклад відношення довжини бігових кроків у стартовому розбігу спринтера).

За просторово-часовими характеристиками рухів визначають, як змінюються положення і рухи людини у часі, як швидко людина змінює свої положення (швидкість) і рухи (прискорення).

Швидкість точки – це просторово-часова міра руху точки (швидкості зміни її положення). Швидкість дорівнює першій похідній за часом від радіуса-вектора у системі відліку, що розглядається:

$$\bar{v} = \frac{d\bar{s}}{dt} = \bar{s}; [v] = LT^{-1}.$$

Визначається швидкість точки за змінами її координат у часі.

Швидкість – величина векторна і характеризує швидкість руху та його напрямок.

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

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; [\omega] = L^0 T^{-1}.$$

Швидкість системи тіл, що змінює свою конфігурацію, не можна визначити так само, як кутову швидкість твердого тіла. У цьому випадку визначають лінійну швидкість загального центра мас (ЗЦМ) системи. Часто визначають лінійні швидкості точок ланок тіла (проекції осей суглобів на поверхню тіла). Окрім того, при змінах пози визначають кутові швидкості ланок тіла щодо осей суглобів; ці швидкості звичайно змінюються у процесі руху. Для біомеханічного обґрунтування рухів необхідно у кожному випадку вибрати, які швидкості і яких ланок та точок слід визначити.

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

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d^2\bar{s}}{dt^2} = \overline{\ddot{s}}; [a] = LT^{-2}.$$

Звичайно прискорення такої точки визначається за змінами її швидкості у часі. Прискорення – величина векторна, що характеризує швидкість зміни швидкості за її величиною і напрямком у даний момент (миттєве прискорення).

Прискорення системи тіл, що змінює свою конфігурацію, визначається ще складніше, ніж швидкість. Прискорення є показником якості докладених зусиль.

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

залежність пройденого тією чи іншою точкою тіла шляху від часу відображає закон руху:

$$s = f(t).$$

Будь-яка точка тіла, якщо їй дозволяють механічні зв'язки, може рухатися рівномірно, прямолінійно. Рух, при котрому матеріальна точка переміщується по прямій і за рівні проміжки часу проходить однакові відрізки шляху, називається *рівномірним, прямолінійним*. Шлях, пройдений цією точкою, пропорційний часові руху. Рух, при котрому ця точка за рівні відрізки часу проходить нерівні ділянки шляху, називається *перемінним і нерівномірним*. Рух, при котрому швидкість зростає, називається *прискореним*. Нерівномірний рух з постійним прискоренням називається *рівномірно-змінним*. Шлях тієї чи іншої точки при такому русі пропорційний квадрату часу.

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

Одним з найпоширеніших рухів точок тіла людини є криволінійний рух. Вектор швидкості точки у криволінійному русі безперервно змінює свій напрямок відповідно до форми її траєкторії, залишаючись постійно дотичною до неї. Прискорення, що характеризує зміни вектора швидкості за напрямком, називається *нормальним* або *доцентровим* прискоренням.

У біомеханічному аналізі рухових дій найчастіше оцінюється рух не тільки окремих точок, але й усієї системи точок тіла. Найпростішим рухом усього тіла людини як абсолютно твердого тіла є поступальний рух (усі точки тіла при цьому мають однакові траєкторії).

Більш складним є обертальний рух тіла (усі точки тіла при цьому описують кола різного радіуса, але мають одну загальну

вісь обертання). Цей рух також може бути рівномірним та перемінним. Біокінематичними характеристиками цього руху є кутові переміщення (φ), кутова швидкість (ω) та кутове прискорення (ε). При обертальному русі кожна точка тіла людини описує коло і проходить відповідний шлях, величина якого за одиницю часу характеризує лінійну швидкість (v) даної точки, котра тим більша, чим на більшій відстані від осі обертання (r) вона знаходиться (лінійна швидкість точки тіла при даній кутовій швидкості прямо пропорційна її відстані до центра обертання тіла):

$$v = \omega r.$$

Рівномірний обертальний рух тієї чи іншої точки тіла, що вивчається, характеризується нормальним лінійним прискоренням (a_n), котре дорівнює відношенню квадрата її лінійної швидкості до радіуса обертання:

$$a_n = \frac{v^2}{r}.$$

У цьому виразі можна замінити лінійну швидкість на кутову, тоді отримаємо

$$a_n = \omega^2 r.$$

Якщо обертання тіла перемінне, а його швидкість змінюється за величиною та напрямком, воно характеризується ще і дотичним прискоренням:

$$a_T = \frac{dv}{dt}$$

або

$$\varepsilon_T = \frac{d\omega}{dt}.$$

Оскільки відношення кутової швидкості до часу є кутовим прискоренням, то можна записати:

$$a_r = \varepsilon r.$$

Тоді повне прискорення даної точки тіла людини, котре обертається, дорівнює геометричній сумі нормального та дотичного прискорень:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_T^2} = \sqrt{(\omega^2 r)^2 + (\varepsilon r)^2}$$

або

$$a = r\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}.$$

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

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

Розділ біомеханічного аналізу – біодинаміка (від грецьк. *bios* – життя, *dynamis* – сила) вивчає дію сил, що надають руху тілу людини та іншим біологічним системам. Динаміка – це розділ механіки, що вивчає механічні причини руху всіх матеріальних тіл у природі.

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

Усі завдання динаміки реалізуються на основі використання трьох основних законів механіки. Згідно з першим законом (закон інерції), будь-яке тіло намагається зберегти стан спокою або прямолінійного та рівномірного руху, поки вплив з боку

інших тіл не змусить його змінити цей стан. За другим законом – прискорення, котре отримує тіло під дією сили, прямо пропорційне силі та обернено пропорційне масі тіла.

Із третього закону випливає, що у разі взаємодії тіл виникають рівні за величиною, але протилежно напрямлені сили (дія дорівнює протидії).

Рухи людини здійснюються внаслідок дії сил. Власне вони є наслідком взаємодій тіла людини з іншими тілами. Біодинамічні характеристики дозволяють розкрити основні особливості цих взаємодій. Біодинамічні характеристики включають: інерційні характеристики (особливості тіла людини та тіл, котрі воно рухає); силові (особливості взаємодії біоланок тіла та інших тіл); енергетичні (стани та зміни працездатності біомеханічних систем).

Інерційні характеристики найповніше розкриваються у першому законі Ньютона. Інертність – властивість фізичних тіл. Вона виявляється у поступовій зміні їх швидкості з плином часу під дією сил. Інакше кажучи, тіло зберігає швидкість, поки її не змінять сили, що діють на нього.

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

Збереження швидкості незмінною за реальних умов можливе лише тоді, коли усі зовнішні сили, прикладені до тіла, взаємно зрівноважені. В інших випадках незрівноважені зовнішні сили змінюють швидкість тіла відповідно до міри його інертності.

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

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

де m – маса; F – сила; a – прискорення. Вимірювання маси тіла тут ґрунтується на другому законі Ньютона. Маса тіла

залежить від кількості речовини цього тіла і характеризує його властивість – як саме прикладена сила може змінити його рух. Одна й та сама сила надасть більшого прискорення тілу, що має меншу масу, ніж тілу з більшою масою.

При дослідженні обертальних рухів слід урахувувати не тільки величину маси, але й її розподіл у тілі. На розподіл матеріальних точок у тілі вказує місце розташування мас тіла.

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

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

Тут n – кількість елементів (часточок) у системі; m_i – маса кожного елемента у системі; r_i – відстань кожного елемента до осі обертання.

У системі тіло, що деформується, коли його частини віддаляються від осі обертання, момент інерції системи збільшується. Інерційний опір збільшується з віддаленням частин тіла від осі обертання пропорційно квадрату відстані. Оскільки матеріальні точки у тілі розташовані на різних відстанях від осі обертання, для розв'язання ряду завдань зручно вводити поняття радіуса інерції.

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

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

Знання моментів інерції тіла спортсменів під час розв'язання різних рухових завдань є дуже важливим для розуміння закономірностей рухів тіла, хоча точне кількісне визначення цієї величини у конкретних випадках нерідко утруднене.

Відомо, що рух тіла може відбуватися як під дією прикладених до нього рушійних сил, так і без рушійних сил (за інерцією, коли прикладена тільки гальмівна сила). Рушійні сили прикладені не завжди; без гальмівних сил руху не буває. Сила –

причина не руху, а зміни руху; силові характеристики розкривають зв'язок дії сил зі зміною рухів.

Сила – це міра механічної дії одного тіла на інше; чисельно вона визначається добутком маси тіла на його прискорення, спричинене даною силою:

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

Зміна сили, так само як і маси, ґрунтується на другому законі Ньютона. Сила, що прикладена до даного тіла, спричиняє його прискорення. Хоча найчастіше йдеться не про силу, а про результат її дії, це можна застосовувати тільки до найпростішого поступального руху тіла. У рухах людини як системи тіл, де усі рухи частин тіла є обертальними, зміна обертального руху залежить не від сили, а від моментів сил.

Сили, що діють на тіло людини, при біомеханічному аналізі можна поділити на декілька груп: *дистантні*, що виникають на відстані без безпосереднього зіткнення тіл – сили земного тяжіння, та *контактні*, що утворюються при зіткненні тіл (пружні сили та сили тертя). Виходячи з того, який вплив справляють ті або інші сили на рух тіла, можна виділити сили *активні* (що задаються) та *реакції зв'язку*, котрі накладають певні обмеження на рух тіла (вони не спричиняють рух, а протидіють активним силам або зрівноважують їх). Залежно від обраної системи відліку щодо тіла людини (від складу системи) розрізняють сили *зовнішні* та *внутрішні*. Зовнішні сили виникають іззовні тіла людини (наприклад сила земного тяжіння). Внутрішні сили утворюються внаслідок внутрішніх взаємодій у системі тіла людини (наприклад сила м'язів, сили внутрішньої взаємодії мас тіла). Стосовно до простору, що займає тіло людини та окремі його частини, діючі сили можуть розглядатися як *зосереджені* (прикладені в одній точці) або *розподільні* (поверхневі, об'ємні). Залежно від тривалості дії на тіло людини сили можуть бути *постійними* (наприклад сила гравітації) та *змінними* (практично всі інші сили).

При біомеханічному аналізі великого значення набуває визначення джерела діючих сил. У зв'язку з цим необхідно враховувати, що джерелом сили в інерціальній системі відліку для тіла, що вивчається, завжди слугує інше матеріальне тіло. Залежно від способу вимірювання та системи відліку

розрізняють сили *статичні* та *рушійні*. Статичне вимірювання сили відбувається за допомогою будь-якої зрівноважуючої її сили (при цьому прискорення тіла дорівнює нулю). Статична дія сили завжди спричиняє деформацію тіла. Рушійні сили визначаються за прискоренням тіла, що виникло внаслідок дії цієї сили. Рушійна сила, як правило, збігається з напрямком руху тіла або утворює з ним гострий кут (при цьому вона може здійснювати позитивну роботу і збільшувати енергію тіла).

У реальній дійсності на тіло людини при його русі діє ще цілий комплекс сил довколишнього середовища. Ті сили, котрі спрямовані проти його руху або утворюють з його напрямком тупий кут, називаються *гальмівними силами*. Відносно тіла людини вони здійснюють від'ємну роботу. Залежно від того, як спрямовано силу відносно вектора швидкості, можна виділити ще сили, котрі *відхиляють* (*відхильні*) рух та *завертають* (*завершальні*). Від того, яким буде результат дії тих чи інших сил, їх можна також розглядати як сили прискорювальні, сповільнювальні або такі, що повертають рух у зворотному напрямку (*повертальні*).

У рухах людини як системи тіл зміна обертального руху кожної біоланки залежить не від сили, а від моменту сили.

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

$$M_z \vec{F} = \vec{F} \vec{d}; [M_z] = ML^2T^{-2}.$$

Момент сили відносно осі вважають додатним, якщо сила спричиняє поворот тіла проти годинникової стрілки, а від'ємним – при повороті тіла за годинниковою стрілкою (з боку спостерігача).

Момент сили – величина векторна (сила виявляє свою обертальну дію, коли вона докладена на її плечі). Інакше кажучи, лінія дії сили не повинна проходити через вісь обертання. Якщо сила лежить не у площині, що перпендикулярна до осі, то знаходять складову сили, котра лежить у цій площині: вона й викликає момент сили відносно осі. Решта складових на нього не впливає. Зрозуміло, що сила, котра збігається з віссю або паралельна їй, також не має плеча відносно осі, а отже, нема і її моменту.

Визначення сили або моменту сили, якщо відома маса або

момент інерції, дає змогу дізнатися тільки про прискорення, тобто як швидко змінюється швидкість. Треба ще дізнатися, наскільки саме зміниться швидкість. Для цього має бути відомо, як довго докладалася сила, тобто слід визначити імпульс сили (або її моменту).

Імпульс сили – це міра впливу сили на тіло за даний проміжок часу (у поступальному русі). За скінченний проміжок часу він дорівнює певному інтегралу від елементарного імпульсу сили, де межами інтегрування є моменти початку та кінця проміжку часу дії сили:

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

В обертальному русі момент сили, діючи протягом певного часу, створює імпульс моменту сили. *Імпульс моменту сили* – це міра впливу сили відносно даної осі за даний проміжок часу (в обертальному русі).

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

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

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

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

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

Кількість руху тіла спортсмена може бути встановлена, наприклад, за тривалістю руху до зупинки під дією вимірної гальмівної сили. Відповідна зміна кількості руху відбувається під дією імпульсу сили:

$$\int_{t_0}^t \overline{F} dt = \Delta m \overline{v}.$$

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

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

У такий самий спосіб під дією імпульсу моменту сили відбувається відповідна зміна кінетичного моменту (момент кількості руху):

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

Без впливу зовнішніх сил на тіло людини або на інше тіло, що рухається, сума усіх його імпульсів залишається постійною.

Таким чином, до раніше розглянутих кінематичних мір зміни руху (швидкість та прискорення) додаються і динамічні міри зміни руху (кількість руху, кінетичний момент). Разом з мірами дії сили вони відображають взаємозв'язок сил та руху. Вивчення їх допомагає усвідомити фізичний зміст рухів, що, у свою чергу, необхідно для правильного розуміння специфічних особливостей рухових дій людини.

При рухах людини сили, прикладені до її тіла на певному шляху, здійснюють роботу і змінюють його енергію. Робота характеризує процес, під час якого змінюється енергія системи. Енергія вже характеризує стан системи і змінюється внаслідок роботи. Механічна енергія – це специфічна фізична величина, що характеризує здатність тіла здійснювати роботу. Енергія відображає кількісну міру та якісну характеристику руху матерії в усіх її можливих проявах. Енергетичні характеристики показують, як змінюються види енергії під час рухів та як відбувається перебіг самого процесу зміни енергії.

Робота сили – це міра дії сили на тіло при деякому його переміщенні під дією цієї сили. Робота змінної сили у поступальному русі на кінцевому шляху дорівнює певному інтегралу від елементарної роботи сили на шляху її докладання:

$$A = \int_{s_0}^s F_v ds; [A] = ML^2T^{-2}.$$

де F_v – проекція сили F на напрямок швидкості v . Оскільки сили у рухах людини звичайно є перемінними, а рухи точок тіла криволінійні, то робота сили являє собою суму елементарних робіт.

Якщо сила спрямована у бік руху (або під гострим кутом до його напрямку), то вона здійснює додатну роботу, збільшуючи енергію тіла людини, що рухається. Коли ж сила спрямована назустріч руху (або під тупим кутом до його напрямку), то робота сили є від'ємною і енергія руху тіла людини зменшується.

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

$$A_{\text{тяж}} = P\Delta h.$$

При опусканні тіла робота сили тяжіння є додатною, а при підйомі – від'ємною.

Окрім роботи сили тяжіння (роботи підйому), можна виділити роботу розтягування та роботу прискорення. Робота розтягування здійснюється проти пружної сили (наприклад, таку роботу виконує рука людини, розтягуючи тязиву лука тощо). Роботу прискорення добре видно на прикладі метань молота, списа, штовхання ядра тощо. У процесі роботи людина проявляє певну працездатність (робота перетворюється на працездатність).

При енергетичних розрахунках для оцінювання ролі сили визначають потужність сили, що характеризує важливий бік її ефекту – швидкість виконання роботи.

Потужність сили – це міра приросту роботи сили. Потужність сили у даний момент часу дорівнює похідній за часом від роботи:

$$N = \frac{dA}{dt} = \dot{A} = Fv; [N] = ML^2T^{-3}$$

Ефективність прикладання сил у механіці визначають також за коефіцієнтом корисної дії (ККД) - відношенням корисної роботи) до всієї витраченої роботи (А) рушійних сил:

$$\eta = \frac{N_{\text{кор}}}{T} = \frac{A_{\text{кор}}}{A}$$

Чим більший ККД (η), тим ефективніший рух.

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

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

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

$$E_{\text{к(пост)}} = \frac{mv^2}{2}; [E_{\text{к(пост)}}] = ML^2T^{-2}$$

При обертальному русі кінетична енергія тіла людини може бути виражена за допомогою формули

$$E_{\text{к(об)}} = \frac{I\omega}{2}; [E_{\text{к(об)}}] = ML^2T^{-2}$$

Потенційна енергія тіла людини – це енергія його положення, зумовлена взаємним відносним розташуванням тіл або частин того самого тіла та характером їх взаємодії. Потенційна енергія у полі сил тяжіння

$$E_n = mgh = Gh,$$

де G – сила тяжіння; h – різниця рівнів початкового та кінцевого положення над землею, відносно котрого визначається енергія. Потенційна енергія пружно деформованого тіла

$$E_{\text{н(пр)}} = \frac{C\Delta l^2}{2},$$

де C – модуль жорсткості; Δl^2 – зміна довжини.

Потенційна енергія тіла людини, яка перебуває у полі сил тяжіння, залежить від відносного розташування його частин. Потенційна енергія виникає за рахунок кінетичної (піднімання тіла, розтягування м'яза) і при зміні положення (падіння тіла, вкорочення м'яза) переходить у кінетичну.

Кінетична енергія біомеханічної системи тіла людини при

плоскопаралельному русі дорівнює сумі кінетичної енергії його центра мас (ЦМ), якщо уявити, що у ньому зосереджено масу усієї системи, та кінетичної енергії системи в її обертальному русі відносно ЦМ:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$

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

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

$$\Delta E_k = A_{\text{зов}} + A_{\text{вн}}.$$

У рухах людини одні види руху переходять в інші. При цьому енергія як міра її руху переходить з одного виду в інший. Так, хімічна енергія у м'язах перетворюється на механічну (внутрішню потенційну пружно деформованих м'язів). породжена останньою сила тяжіння м'язів здійснює роботу і перетворює потенційну енергію на кінетичну енергію рухомих ланок тіла та зовнішніх тіл. Механічна енергія зовнішніх тіл (кінетична) передається при їх дії на тіло людини, перетворюється на потенційну енергію м'язів-антагоністів, що розтягуються, та на теплову енергію, котра розсіюється.

У процесі вивчення рухів фахівцям часто доводиться розглядати не тільки окремі їх характеристики, але й рухи в цілому у повному їх обсязі. У такому випадку використовуються поняття "біомеханічна структура рухів", що дозволяє не тільки спростити сам підхід, але й дає можливість більш глибоко пізнати сам рух. Таке уявлення про рух виникло одночасно з появою системно-структурного підходу.

Системні уявлення про рухи дають можливість вивчати окремі біомеханічні характеристики рухів в їх взаємозв'язку, взаємозумовленості та взаємозалежності. Це й визначає поняття "структура руху". Біомеханічна структура руху дає уявлення про те, в який спосіб окремі його частини об'єднуються в одне ціле.

У звичайному житті та при розв'язанні різноманітних

спеціальних рухових завдань тіло людини може набувати різних фіксованих на деякий час у просторі відносно нерухомих положень.

За певних умов, здійснюючи активні відносні рухи своїх окремих ланок, людина, однак, у цілому все ж може зберігати місце розташування свого тіла у просторі відносно навколишніх об'єктів. Такі рухи у біомеханіці називаються рухами на місці. У біомеханічному аналізі фіксованих положень тіла людини та її рухів на місці звичайно застосовуються біостатичні характеристики. Зміни, аналіз та вивчення біостатичних характеристик відносять до біостатики тіла людини. Біостатика, у свою чергу, базується на основних фундаментальних положеннях спеціального розділу теоретичної механіки – статички. Статику іноді називають окремим розділом динаміки. Вона вивчає рівновагу тіл, що перебувають під дією системи сил. Під рівновагою у статисти прийнято розуміти таке положення тіла, коли сили, що діють на нього, зрівноважені. Зрівноваженими можуть бути не тільки нерухомі тіла, але й ті, котрі продовжують рівномірний рух під дією сил. І в тому і в іншому випадках діючі сили не змінюють швидкості руху тіл (швидкість нерухомих тіл дорівнює нулю, а швидкість тіл, що рухаються, зберігається постійною). У статисти можна розв'язати два основних завдання: замінити систему прикладених до тіла сил однією (рівнодією) силою або системою еквівалентних сил; встановити умови, за яких дане тіло (система тіл) може бути зрівноваженим. У першому випадку застосовуються методи додавання сил, у другому – метод розкладання сил на їх складові. Для цього складають та розв'язують відповідні рівняння рівноваги з урахуванням заданих сил. Таким способом знаходиться сила, котра у взаємодії із заданими силами дозволяє даному тілу бути зрівноваженим. Методи статички дуже важливі для біомеханічного аналізу стійкості тіла людини, вивчення можливостей вибору її раціональних положень у просторі при розв'язанні різноманітних рухових завдань.

Окрім того, у статисти при аналізі положення тіл використовують також прийоми та методи графічного аналізу. Сили зображуються відрізками прямих відповідної довжини та у відповідному масштабі.

Статика базується на ряді правил та перевірених досвідом очевидних істин (аксіом). Деякі з них є надзвичайно важливими і для біостатики. Так, слід пам'ятати чотири основні аксіоми статyki:

- дві сили, прикладені до тіла, зрівноважуються, якщо вони рівні за величиною та діють на одній прямій у протилежні боки;
- рівновага не порушиться, якщо до діючої системи тіл додати або відняти від неї зрівноважену систему сил;
- рівнодійна двох сил, прикладених до однієї точки і вектори котрих не лежать на одній прямій, зображається діагоналлю паралелограма, побудованого на векторах даних сил як на сторонах;
- сили, з котрими два тіла діють одне на одне, завжди рівні за величиною та протилежні за напрямком.

У біостатиці, так само як і у біокінематиці, тіло людини уявляється як абсолютно тверде, а умовну точку, котра замінює в аналізі усе тіло з його масою, називають матеріальною точкою. Методи біостатики дозволяють ефективно аналізувати умови рівноваги важелів, котрі можна виявити у біомеханічній системі рухового апарату людини. Для аналізу рівноваги систем кісткових важелів, зокрема, застосовується відома теорема Вариньона: момент рівнодійної сили відносно будь-якої точки, що лежить у площині дії сил, дорівнює сумі моментів складових сил відносно тієї самої точки.

Для рівноваги будь-якого важеля тіла людини достатньо, аби алгебраїчна сума моментів (M_0) усіх сил відносно точки опори дорівнювала нулю:

$$\sum M_0 = 0.$$

На кісткові важелі звичайно діють паралельні сили. Рівні та протилежно спрямовані сили називаються парою сил. Ця система сил діє у площині руху пари. Відстань згідно з нормами між лініями дії сил пари є плечем пари. Момент пари сил дорівнює добутку однієї з сил пари на її плече. Для рівноваги тіла, що перебуває під дією пар сил, необхідно, щоб алгебраїчна сума моментів усіх пар дорівнювала нулю.

У випадку, коли лінії дії сил, прикладених до тіла людини, є паралельними, сили називаються паралельними. Рівнодійна

двох таких сил, спрямованих в один бік, дорівнює їх сумі і спрямована у той самий бік. Лінія дії цієї сили ділить відстань між точками докладання заданих паралельних сил на відрізки, що є обернено пропорційними величинам цих сил. З цього виходить, що рівнодійна двох не рівних за величиною паралельних сил, спрямованих у протилежні боки, дорівнює різниці цих сил і спрямована у бік більшої сили. Точка прикладання рівнодійної лежить на лінії, що з'єднує точки прикладання заданих сил за вектором більшої сили.

Точка, через яку проходить вектор рівнодійної системи паралельних сил у разі будь-якого повороту цієї системи навколо точок їх прикладання при збереженні модулів та паралельності векторів, називається *центром паралельних сил*. При перенесенні сили паралельно її лінії дії у нову точку вона зводиться до рівної їй сили й пари.

Геометрична сума системи сил, що сходяться, прикладених до центра зведення, називається *головним вектором*, а алгебраїчна сума моментів усіх приєднаних пар – *головним моментом*. Для рівноваги плоскої системи сил необхідно, щоб сума проєкцій усіх сил цієї системи на кожную з двох довільно взятих координатних осей дорівнювала нулю і сума моментів сил відносно будь-якої довільно взятої точки також дорівнювала нулю.

Рівнодійну силу від складання ваги матеріальних частинок тіла людини називають вагою тіла. Вектори цих сил паралельні, а рівнодійна (сила ваги) проходить через ту саму точку, котра є центром паралельних сил. Точка, через котру за усіх положень твердого тіла проходить лінія дії сили ваги, називається *центром його ваги*.

Сила ваги тіла людини – це одне з проявів сили всесвітнього тяжіння (сили тяжіння усіх тіл до Землі). Сила (F), що діє на тіло людини масою m поблизу поверхні Землі, згідно із законом всесвітнього тяжіння, буде дорівнювати

$$F_T = G \frac{Mm}{R^2},$$

де M – маса Землі; R – радіус Землі; G – стала всесвітнього тяжіння – гравітаційна стала, що чисельно дорівнює силі тяжіння між двома тілами (матеріальними точками) масою 1 кг

кожне, коли відстань між ними становить 1 м.

Якщо на тіло людини діє тільки сила тяжіння (усі інші зрівноважені), вона має здійснити вільне падіння. Прискорення вільного падіння визначається за другим законом Ньютона:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{Mm}{R^2 m} = G \frac{M}{R^2}.$$

Із цього рівняння видно, що прискорення вільного падіння g не залежить від маси (m) тіла. Воно однакове для усіх тіл. Таким чином, сила ваги

$$F = mg.$$

Силу, з котрою тіло людини внаслідок його тяжіння до Землі діє на опору або підвіс, називають його вагою. Це сила, котра докладена не до тіла, а до опори або підвісу. Вага людини та її сила тяжіння – не рівнозначні поняття. Вага і сила тяжіння завжди прикладені до різних тіл. У полі земного тяжіння центр маси тіла людини збігається з його центром тяжіння (з точкою прикладання сили тяжіння, що діє на тіло).

Поняття маси тіла входить до другого закону Ньютона. Ця маса називається інертною (є мірою інертності тіла людини, характеризує здатність тіла зберігати швидкість незмінною за відсутності сил, а також отримувати прискорення під дією сили). Гравітаційна маса – це маса, що визначає силу взаємного тяжіння тіл і входить до закону всесвітнього тяжіння. За сучасними фізичними уявленнями, чисельно ці величини збігаються.

Для об'єктивної біомеханічної оцінювання положення тіла людини у просторі необхідно знати можливості переміщення центра мас її тіла та пов'язані з цим наслідки. Важливим показником цього процесу є кількість руху, або імпульс тіла. Кількістю руху тіла масою m , що рухається зі швидкістю v , називається вектор mv . У тому випадку, коли на тіло протягом якогось часу (Δt) діяла сила F , другий закон Ньютона може бути записаний так: зміна кількості руху тіла дорівнює імпульсу сили, що діє на тіло, і відбувається у напрямку дії сили:

$$m\Delta v = F\Delta t,$$

де $F\Delta t$ – імпульс сили; $m\Delta v$ – зміна кількості руху тіла за час Δt . $m\Delta v = m(v_2 - v_1)$. Кількість руху, або імпульс системи тіл – це геометрична сума імпульсів усіх тіл, що входять до системи:

$$mv = m_1v_1 + m_2v_2 + \dots + m_nv_n = \sum m_iv_i.$$

Для тіла людини такою системою тіл (мас) можна вважати систему мас ($m_1, m_2, m_3 \dots, m_n$) його взаємно рухомих ланок. З цього випливає, що у такій системі точкових мас (зосереджених у центрах мас окремих ланок) існує точка, котрій можна приписати повну масу системи усього тіла ($\sum m_i$). Іншими словами, це означає – замінити всю систему масою, зосередженою в одній точці. Така точка, фактично, володіє повним імпульсом системи $mv = \sum m_iv_i$. Це і є центр мас, або центр інерції всієї системи тіла людини. Він збігається з центром її тяжіння.

Якщо на систему ланок тіла людини не діють зовнішні сили (такі системи прийнято вважати замкненими), то внутрішні сили не в змозі змінити кількість руху системи: при $F = 0$

$$mv = \sum m_iv_i = \text{const.}$$

Закон збереження імпульсу означає, що якими б не були внутрішні рухи у замкненій системі ланок тіла людини, її центр мас зберігає своє положення (знаходиться в спокої або прямолінійно рівномірно рухається). Необхідно враховувати також тривимірність простору. У зв'язку з цим очевидно, що закон може діяти для однієї осі (по котрій сума проєкцій імпульсів є постійною) і не виконуватися для другої осі. Так, зокрема, він може діяти для горизонтального руху тіла і не діяти для його вертикального руху, в котрому бере участь зовнішня сила тяжіння. Форма тіла та розміщення в ньому його маси визначають місце розташування центра тяжіння. Центр тяжіння може знаходитися і за межами об'єму тіла. Центр тяжіння – не матеріальне тіло, а умовна точка (геометричний образ), через котру проходить лінія тяжіння. Положення центра тяжіння відносно опори впливає і на ступінь стійкості тіла та умови його рівноваги.

2. Біостатичні характеристики тіла людини. Положення рівноваги

Рівновага тіла людини спостерігається тоді, коли всі сили, що діють на нього, і моменти сил є зрівноваженими (будь-які його прискорення дорівнюють нулю). У цьому положенні тіло може бути у спокої, рухатися прямолінійно та рівномірно або

рівномірно обертатися навколо осі, що проходить через центр його тяжіння. Рівновага тіла людини має місце тоді, коли геометрична сума векторів усіх прикладених до тіла сил також дорівнює нулю.

Рівновага тіла може бути стійкою, нестійкою та байдужою. Стійкою рівновагою називають таке положення тіла, при виведенні з котрого воно повертається у вихідне положення під впливом виключно сили тяжіння. І навпаки, при нестійкій рівновазі воно не може повернутися у вихідне положення без додаткової дії зовнішніх сил. У випадку, коли тіло повертається у вихідне положення і не втрачає рівноваги, воно набуває положення байдужої рівноваги.

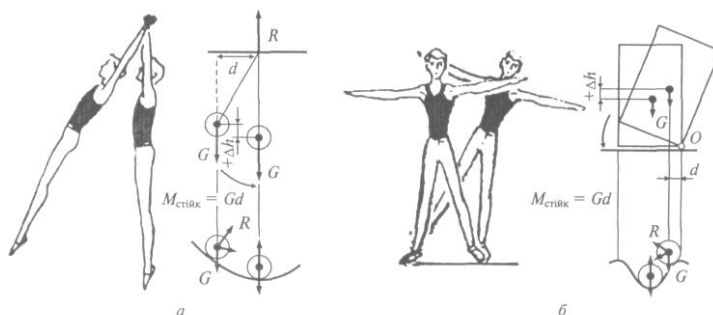


Рис. 1. Стійка (а) і обмежено стійка (б) рівновага тіла

При розв'язанні різноманітних рухових завдань людині досить часто доводиться зберігати нерухоме положення тіла. З іншого боку, так само часто вона вирішує завдання щодо збереження такого положення у взаємодії з іншими тілами, спортивними снарядами (наприклад, штанга, котру необхідно зафіксувати у положенні стоячи на прямих руках над головою). Для того щоб утримати, зафіксувати такі та багато інших положень свого тіла, людина повинна перебувати у рівновазі. Закони та правила, за котрими це відбувається, є предметом біостатичного аналізу.

З позицій біостатики необхідно розрізнити два поняття: положення тіла та поза тіла. Положення тіла визначається

фіксацією усієї його біомеханічної системи відносно системи відліку, що пов'язана з тілами навколишнього середовища (наприклад положення тіла стоячи, сидячи, лежачи тощо). Поза тіла визначається фіксацією окремих відносно рухомих ланок тіла людини щодо систем відліку, котрі пов'язані з біомеханічною системою його власного тіла (положення – стоячи; поза – руки на поясі, ноги на ширині плечей тощо).

Із цих визначень зрозуміло, що збереження певного положення свого тіла – не просте завдання для людини. Підтримання рівноваги свого тіла відносно об'єктів навколишнього середовища вимагає значно більших енергетичних витрат, ніж реалізація тієї чи іншої пози. У кожному положенні до тіла людини звичайно прикладені сили тяжіння її тіла та ваги інших тіл, а також сили реакції опори, що не дозволяють йому вільного падіння. Вочевидь, якимось чином зрівноважити усі ці сили можна тільки завдяки певним вольовим зусиллям та м'язовим напруженням. Винятком є лише деякі пасивні положення тіла (наприклад положення лежачи та ін.).

Тіло людини та окремі його ланки можуть набувати положення стійкої рівноваги. Характерними прикладами найбільш стійкого положення тіла людини можуть бути положення лежачи на горизонтальній площині (нижня опора), вис на перекладині (верхня опора). Займаючи звичне ортоградне положення у просторі, тіло людини перебуває у нестійкій рівновазі. Положення байдужої рівноваги у природних умовах тіло людини набути не може.

У практиці педагогічної діяльності тренера зрідка доводиться завершувати біомеханічний аналіз тільки на визначенні типу рівноваги тіла спортсмена. Найбільший інтерес являє встановлення ступеня його стійкості. Для того, щоб розв'язати це завдання, визначають критерії стійкості. До основних критеріїв стійкості належать: висота розташування загального центра мас тіла над опорою; місце проходження лінії тяжіння відносно опори; величина його площі опори; кути стійкості тіла у різних площинах простору, котрий воно займає; відповідні цим площинам моменти стійкості та перекидні моменти, а також його коефіцієнт стійкості. Визначення усіх

цих критеріїв обов'язкове й при біомеханічному аналізі положень тіла людини, яка перебуває у рівновазі. До всіх названих критеріїв слід додати критерії, що важко піддаються кількісному аналізу, такі, як ступінь відносної рухомості біолонок тіла людини; особливості функціонування життєво важливих систем організму, що обслуговують рухову систему та забезпечують відповідні силові можливості м'язової системи, а також деякі інші чинники.

Під площею опори розуміють площу, обмежену крайніми точками опори тіла. Чим більша площа опори, тим тіло є більш стійким. Вона, однак, рідко набуває правильної форми. Лінія тяжіння (перпендикуляр, опущений з центра тяжіння тіла на площу опори) рідко перетинає площу опори через центр. Тому стійкість тіла не в усіх напрямках однакова. Так, у важкоатлета, який зафіксував штангу на прямих руках над головою, у передньозадньому напрямку ступінь стійкості буде меншою, у фронтальному – більшою. Для точного оцінювання цього положення тіла визначають кути стійкості. Кутом стійкості називається кут між лінією тяжіння та похилою лінією, проведеною із ЗЦМ до будь-якої точки межі площі опори тіла. Чим більший кут стійкості, тим більшу стійкість має тіло у даному конкретному напрямку.

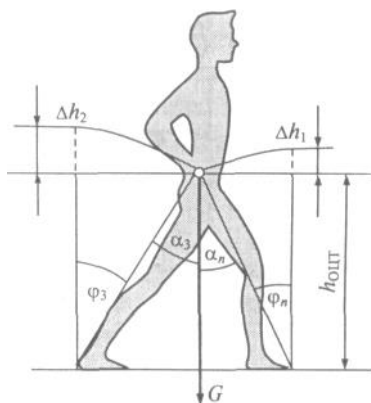


Рис. 2. Визначення кута стійкості

Момент стійкості тіла визначається добутком ваги тіла на

плече його прикладання (величину перпендикуляра, проведеного від межі площі опори до лінії тяжіння – радіуса стійкості). Чисельно він залежить від двох величин: ваги тіла (P) та радіуса стійкості (r) у даному напрямку. Чим більшими є ці величини, тим більшим буде момент стійкості, а відповідно і ступінь стійкості усього тіла:

$$M_{\text{стійк}} = Pr.$$

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

$$M_{\text{неп}} = F_{\text{неп}}h.$$

За таких умов спряжений з ним момент стійкості можна розглядати як стримуючий момент.

Для збереження рівноваги тіла людини необхідно, щоб момент стійкості був більшим, ніж перекидний момент. Відношення моменту стійкості до перекидного моменту називається *коефіцієнтом стійкості*:

$$K_{\text{стійк}} = \frac{M_{\text{стійк}}}{M_{\text{неп}}}.$$

Якщо коефіцієнт стійкості більший за одиницю, то рівнодійна (R) двох сил $F_{\text{неп}}$ та P проходить у межах площі опори. Коли коефіцієнт стійкості дорівнює одиниці, то тіло людини набуває крайнього положення рівноваги. При коефіцієнті стійкості, меншому за одиницю, лінія дії рівнодіючої (R) двох сил – $F_{\text{неп}}$ та P проходить за межами площі опори і тіло втрачає рівновагу.

$$K_{cmiik} = \frac{M_{cmiik}}{M_{nep}} = \frac{Gd}{F_{nep} h}$$

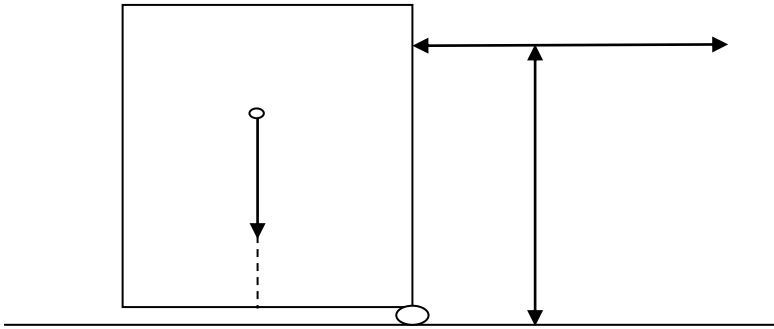


Рис. 3. Визначення коефіцієнта стійкості

У підсумку можна зазначити, що тіло людини набуває тим більш стійкого положення, чим нижче розташований його ЗЦМ, чим більша його площа опори, чим ближче до центра перетинає площу опори лінія тяжіння, чим більшим кутом та моментом стійкості воно володіє у даному напрямку, чим більший за одиницю його коефіцієнт стійкості.

Аналізуючи рухи на місці, необхідно використовувати закони не тільки статички, але й динаміки. При цьому аналізуються проблеми збереження рівноваги тіла та розв'язання основного рухового завдання. Необхідно відмітити, що в активних рухах на місці може брати участь як одна ланка тіла, так і системи з багатьох ланок та біокінематичних ланцюгів. Усі рухи даного типу можна класифікувати як рухи, що змінюють тільки позу, і рухи, що змінюють і позу і положення тіла людини.

Змінюючи тільки позу, людина звичайно здійснює багато робочих рухів. У випадку, коли положення її тіла стійке, ці рухи виконуються легко, з високою точністю. Найбільш наочним прикладом є рухи художника, ювеліра, годинникаря тощо. Для того, щоб здійснити рухи зі зміною пози і положення тіла, людина має виконати попередню перебудову своєї пози – так звану підготовчу фазу. Прикладом таких рухів може слугувати перехід із положення сидячи у положення стоячи і навпаки.

Підготовча фаза необхідна для того, щоб створити для тіла необхідний ступінь стійкості. У другій, основній, фазі, власне, реалізується основна частина рухового завдання – зміна положення тіла.

При виконанні рухів без зміни місця відбувається зміна умов рівноваги тіла людини. Спостерігається два процеси: 1) переміщення ЗЦМ по вертикалі; 2) переміщення ЗЦМ по горизонталі. І в тому і в іншому випадках помітна тенденція до втрати рівноваги тіла. При переміщенні ЗЦМ по вертикалі відбувається зміна тиску (D) тіла на опору. У спокої він дорівнює вазі тіла (P). У ході руху тіла з прискоренням по вертикалі до ваги тіла додається або від нього віднімається (залежно від напрямку вектора прискорення) сила інерції F_{in} частини тіла:

$$D = P \pm F_{in}.$$

При переміщенні ЗЦМ по горизонталі лінія тяжіння може переміщуватися до краю межі площі опори. Результатом цього є зміни усіх інших характеристик ступеня стійкості тіла людини. Для збереження рівноваги у такому положенні рекомендується виконувати так звані компенсаторні рухи. Ці рухи дають змогу компенсувати переміщення певних мас ланок тіла у протилежному напрямку, внаслідок чого ЗЦМ системи суттєво не змінює свого положення відносно опори. При нижній опорі компенсаторні рухи рекомендується виконувати, починаючи з тих суглобів і ланок тіла, котрі розташовуються ближче до опори.

Питання та завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте системи відліку (відстані).
2. Опишіть часові характеристики руху.
3. Розкрийте момент часу.
4. Охарактеризуйте тривалість руху.
5. Опишіть темп рухів.
6. Охарактеризуйте ритм рухів.
7. Опишіть швидкість точки та прискорення точки.
8. Розкрийте момент інерції тіла.
9. Біостатичні характеристики тіла людини.
10. Розкрийте положення рівноваги.

ТЕМА 4. АПАРАТУРНІ КОМПЛЕКСИ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В БІОМЕХАНЦІ

У практиці вивчення рухових дій людини використовуються візуальні та інструментальні методи контролю. У першому випадку фахівці, науковці, тренери, спортсмени, спостерігачі за переміщеннями тіла людини отримують переважно якісне уявлення про її рухи. Результат візуального оцінювання здебільшого є суб'єктивним, що не базується на чітких критеріях, його важко використати для порівняльного аналізу.

Інструментальні методи контролю більш об'єктивні. За їх допомогою отримують кількісну оцінку характеристик та показників рухових дій людини, а також можливих змін, що відбуваються в її організмі під час тієї чи іншої рухової діяльності. Нині у біомеханіці для цього використовуються методики, прийоми, котрі запозичені з багатьох галузей знань. Для підвищення точності інструментальних методів вимірювання біомеханічних характеристик рухів залучаються всі останні досягнення інженерної думки – радіотелеметрія, лазерна техніка, радіоізотопи, інфрачервона техніка, ультразвук, ЕОМ, телебачення, відеотехніка тощо. Інструментальні методи контролю переміщень тіла людини методично зручно поділити на дві групи – контактні та безконтактні, хоча на практиці вони часто застосовуються у комплексі, доповнюючи один одного.

В оптичних та оптико-електронних методах контролю інформація передається на реєструючий пристрій променем світла або тепловим випромінюванням. У механоелектричних методах вона передається електричними сигналами по проводах або радіохвилями. Ці методи базуються на перетворенні вимірюваної якимось чином фізичної величини, що об'єктивно відбиває певні якості рухів людини, в електричний сигнал (оскільки електрика є універсальним засобом передачі енергії та інформації) з наступним вимірюванням та реєстрацією.

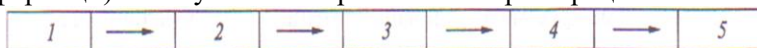


Рис. 4. Блок-схема вимірювальної системи

Основою інструментальних методів контролю є вимірювальні системи. На рис. 4 зображено типову схему вимірювальної системи, що застосовується у біомеханіці, на рис. 5 – класифікацію інструментальних методів.

Блок-схема (див. рис. 4) складається з блоків. Блок 1 – об'єкт вимірювання (звичайно це організм людини або окремі точки, системи точок, біоланки), котрий виконує будь-які рухові дії. Блок 2 – пристрій, що сприймає вимірювану величину. Для цього використовується чутливий елемент засобу вимірювання – датчик. Він сприймає інформацію та передає її в наступний блок. Блок 3 – перетворювач. У ньому вимірювана величина перетворюється на електричну (гідравлічну, пневматичну) величину на основі фізичного закону про зв'язок між ними. Тут же відбувається посилення сигналу. Блок 4 призначений для передачі електричного сигналу на відстань (по проводах або радіотелеметричним зв'язком). Блок 5 призначений для обчислювальних операцій.



Рис. 5. Класифікація інструментальних вимірювань кількісних характеристик руху

Датчики можуть мати найрізноманітніші конструктивні особливості. При вивченні рухів та інших змін в організмі людини найчастіше застосовуються датчики контролю біоелектричних процесів та датчики біомеханічних величин. До датчиків біомеханічних процесів належать датчики відведення біопотенціалів серцевого м'яза та датчики відведення біопотенціалів скелетних м'язів. Для реєстрації біоелектричної активності м'язів застосовуються спеціальні датчики або

відвідні електроди, котрі дозволяють уловлювати зміни електричної напруги, виникнення, поширення та припинення процесів збудження у працюючому м'язі. Розрізняють електроди, що застосовуються для локальної (окремі рухові одиниці – РО), стимуляційної та глобальної електроміографії (ЕМГ). Для локальної та стимуляційної ЕМГ застосовуються електроди з малою відвідною поверхнею (діаметр – 0,65 мм і менше) та найбільшою міжелектродною відстанню. Такий електрод вводиться у м'язову тканину і відводить коливання біопотенціалів від окремих волокон або РО. Для дослідження інтенсивних природних рухів, особливо спортивних, застосовуються нашкірні електроди з великою поверхнею відведення (50 мм²). Ці електроди уловлюють сумарну різницю напруг на поверхні м'яза, що виникає при збудженні численних міоневральних закінчень.

Датчики біомеханічних процесів – тензорезистори – це вимірювальні перетворювачі малих деформацій на електричні сигнали, що дозволяють виміряти зусилля, котрі людина докладає до опори або, наприклад, до спортивного снаряда. Величина механічної деформації проводових елементів цих датчиків є пропорційною величині електричного сигналу та силі впливу, що докладається до них. Таким чином, визначивши механічну деформацію цих датчиків, можна розрахувати докладену силу. Тензодатчики придатні для вимірювання як статичних, так і динамічних навантажень. Їхня вхідна величина – переміщення малих деформацій, вихідна – зміна опору. Реостатні датчики (гоніометри) використовуються для вимірювання кутів (амплітуд) руху у різних суглобах. Принцип дії реостатного датчика: його вхідна величина – кутове (лінійне) переміщення, вихідна величина – зміни електричного опору. Акселерометри – це датчики для вимірювання прискорень. В основі роботи такого датчика – зміна сили інерції, що виникає під час руху. Сила інерції, котра впливає на певну масу акселерометра, пропорційна прискоренню, що виникає. Ця величина вимірюється тензодатчиком, наклеєним на пружний силівимірювальний елемент, що здатний сприймати деформацію тільки в одній площині. Для реєстрації повного вектора прискорення (у трьох площинах) в одній конструкції

монтують три однакових датчики та орієнтують їх перпендикулярно один до одного подібно до осей координат тривимірного простору. Основною перевагою електричних методів вимірювання біомеханічних величин є оперативність отримання вимірюваних характеристик та можливість автоматизації розрахунку характеристик, що безпосередньо не вимірюються з використанням АОМ.

Електротензодинамографія

Метод електротензодинамографії дозволяє реєструвати та вимірювати зусилля, що розвиває людина під час взаємодії з опорою та іншими об'єктами навколишнього середовища, котрі мають певну масу.

Усі тіла під дією прикладених до них сил деформуються, а величина деформації кожного такого пружного тіла, як уже згадувалося, є пропорційною прикладеному зусиллю. Внаслідок виконання руху людина здійснює механічний вплив на ту поверхню опори, відносно котрої вона переміщується, наприклад бігові доріжки та різні використовувані нею спортивні снаряди, які під час цієї взаємодії деформуються. Щоб виміряти величини зусиль, що розвиває людина, застосовують спеціальні тензодатчики, що перетворюють величини механічної деформації на електричний сигнал. В основі роботи кожного такого тензодатчика лежить явище тензоефекту – властивість деяких матеріалів змінювати електричний опір під впливом деформації. Такий датчик – електричний провідник – наклеюється на пружний силівимірювальний елемент, що сприймає зусилля. При деформації пружного силівимірювального елемента відбувається деформація і наклеєного на нього тензодатчика, внаслідок цього на якусь величину і змінюється електричний опір Δ тензодатчика.

Таким чином, зміна сили струму I в електричному ланцюзі буде відображати зміни докладуваних до тензодатчика зусиль, тобто відбувається перетворення вимірюваної неелектричної величини (сила F) на електричний сигнал (сила струму). Це дозволяє виміряти електричними методами механічну величину.

Для вимірювання зусиль у спортивній практиці

використовуються провові, фольгові, п'єзоелектричні, напівпровідникові тензодатчики опору. Найбільш поширеними є провові та фольгові тензодатчики. Проводовий тензодатчик складається з декількох плоских петель тонкого дроту діаметром 0,01–0,05 мм, укладеного зигзагоподібно і заклеєного між полосками полімерної плівки. До його кінців припаюють вивідні провідники. Такий перетворювач, приклеєний до деталі, що досліджується, сприймає деформацію її поверхневого шару. Таким чином, вхідною величиною наклеєного тензодатчика є деформація об'єкта (мікропереміщення), на котрий його наклеєно, а вихідною – зміни опору тензодатчика, пропорційні деформації.

Виготовляються тензодатчики з константану, ніхрому, елінвару та інших матеріалів, що мають високий коефіцієнт тензочутливості. Фольговий тензодатчик виготовляється з металевого листа (фольги) завтовшки 4–12 мкм, на котрому методом фотохімічного травлення частина металу вибрана таким чином, що решта його утворює ґратку (плоску петлю з виводами). Фольговий тензодатчик також заклеюється між полосками полімерної плівки. Тензодатчики придатні для вимірювання як статичних, так і динамічних навантажень. Вхідна величина – малі деформації (мкм), вихідна величина – зміна опору (1–2 % номінального значення). Їхньою перевагою є мала похибка вимірювань, стійкість до вібрацій, невисока ціна, а недоліком – низька чутливість, необхідність ретельного приклеювання до силовимірювального елемента. Для прикріплення тензодатчика на тілі людини бажано зменшити його габарити. Тензодатчик наклеюється клеєм (БФ-2, БФ-4, целулоїдний) на ретельно знежирений силовимірювальний елемент, що сприймає механічну деформацію при докладанні вимірюваних зусиль. Силівимірювальний елемент має відповідати таким вимогам:

- відповідати величині вимірюваного навантаження;
- не мати остаточної деформації;
- мати мінімальну жорсткість у площині вимірювання.

Силівимірювальний елемент виготовляється з пружної ресорної сталі у вигляді пластини, стрижня або консольної балки та має мінімальну жорсткість у робочому напрямку і

максимальну – у напрямку дії невимірюваних складових сили, тобто деформація силовимірювального елемента відбувається тільки у напрямку дії вимірюваного компонента зусилля. Наприклад, силовимірювальним елементом у спорті може бути спортивний снаряд (спорядження) – лижа, жердина, весло тощо.

Тензодинамометрична апаратура застосовується для визначення силових характеристик рухів і вивчення на їх основі динамічної структури рухових дій та ефективність рухів у цілому. При цьому залежно від завдань розрізняють універсальні та окремі методики електротензодинамографії (ЕТДГ).

Універсальні методики ЕТДГ. Сьогодні дуже поширеними є тензо- платформи. Найбільш відомі з них – електротензодинамометричний комплекс “Модуль” площею 0,56 м² виробництва ВІСТІ (Росія) та тензоплатформа фірми KISTLER (Німеччина), що має площу 0,48 м². Такі платформи можуть розташовуватися на доріжках стадіонів, під важкоатлетичними помостами, у місцях відштовхування людини від опори при виконанні різних рухових дій. За допомогою динамографічних платформ, наприклад, вимірюються біомеханічні параметри опорних взаємодій людини у процесі ходьби, бігу, стрибків у довжину та висоту, стрибків на лижах з трампліна, стрибків у воду, а також у гімнастиці, акробатиці тощо.

Застосування платформ у процесі досліджень та біомеханічного контролю різних рухів людини потребує використання додаткових методологічних прийомів та пристроїв. Так, при контролі техніки метань (молот, диск, ядро) на платформу доцільно покласти спеціальний круглої форми настил (сектор) з обмежувальними елементами; при дослідженні старту у спринті на робочій поверхні платформи встановлюють стартові колодки тощо.

Доцільним є одночасне використання разом із динамографічною платформою інших методів реєстрації, наприклад вимірювання кінематичних характеристик рухів методами гоніометрії, телекіноциклографії та відеоаналізу.

Окремі методики ЕТДГ. Для різноманітних рухів людини передбачається використовувати різні вимірювальні пристрої

для запису зусиль, що розвиваються при взаємодії його тіла з опорою. Основною умовою при проектуванні силовимірювальних пристроїв є чітке передавання усього зусилля на балку, до котрої приклеєно тензодатчики. Наприклад, для таких видів спорту, як велосипедний, ковзанярський, лижний, силовимірювач встановлюються на педалі велосипеда, грузову площинку лижі (під усю підошву черевика). Для вимірювання взаємодії у плаванні можна сконструювати рукавички з тонким силовимірювачем на долоні й за допомогою такого пристрою фіксувати силу, частоту та інтенсивність гребка. У веслуванні датчики найчастіше наклеюють на весло. Для вивчення ударів у видах спорту, наприклад, таких, як теніс, датчики можна наклеювати на ракетку (у шийці). Те саме можна робити і у стрибках у воду, наклеюючи датчики на дошку перед середньою опорою. У гімнастиці датчики наклеюють також на кільця, бруси, перекладину, опорний місток. У важкій атлетиці датчик краще розташовувати безпосередньо на штанзі. Тензодатчики укріплюють у підметку бігового взуття легкоатлетів або розташовують їх на біговій доріжці, у стартових колодках. Часто чутливий тензоелемент роблять зйомним, що дає змогу використовувати його на різних спортивних снарядах. Інформативність отриманих результатів набагато зростає у разі синхронного запису тензодинамограми, гоніограми та кіно- і відеозйомки досліджуваного руху.

Конструкція універсального електротензометричного комплексу. Комплекс “Модуль” має платформу, встановлену на жорстку масивну раму, на основі котрої прикріплено чутливі силовимірювальні елементи. Взаємно перпендикулярне розташування силовимірювальних елементів з тензодатчиками під металеву поверхню платформи дозволяє реєструвати не тільки величину, але й вектор прикладених зусиль у трьох площинах: P_x , P_y – горизонтальні складові, T – вертикальна складова зусилля. Для цього використовують три роздільні канали вимірювання. Електричні сигнали, що знімаються з мостової схеми, дуже малі (порядку 15 мкА) і не можуть бути безпосередньо зареєстровані. Для їх підсилення застосовують спеціальний тензопідсилювач БВП-2, що дозволяє підсилювати

сигнали до рівня, достатнього для використання реєструючого пристрою. Як аналоговий реєструючий пристрій застосовується світлопроменевий осцилограф типу “Нева МТ-01” із записом вимірюваного процесу на чутливий до ультрафіолетових променів папір УФ, що не потребує подальшого проявлення. Швидкість запису (протягування паперу) може бути різною – від 0,25 до 2000 мм·с⁻¹ і визначається характеристиками процесу, котрий реєструється.

Як цифровий реєструючий пристрій застосовується персональний комп’ютер (ПК) з процесором.

Таким чином, до блок-схеми електротензодинамометричного комплексу входять: комплекс “Модуль”, що складається з тензоплатформи ПД-ЗА та блока вторинного перетворення БВП-2; реєструючий пристрій – світлопроменевий (шлейфний) осцилограф “Нева МТ-01” у комплексі з ПК.

Стабілографія

Трудова та спортивна рухова діяльність у багатьох випадках вимагає від людини здатності досить економічно і з високим робочим ефектом утримувати певні робочі пози, видозмінювати їх, зберігаючи рівновагу свого тіла у просторі. Біомеханічні раціональні рухи та пози часто визначають кінцевий результат тієї чи іншої діяльності людини й тому є предметом детального дослідження фахівців. Ще у минулому столітті угорський лікар Ромберг ввів у клінічну практику спостереження за вертикальним положенням тіла та розробив методики оцінювання ступеня коливання тіла і тремора кінцівок. Ним було доведено, що оцінювання вертикального положення тіла є важливим індикатором функціонального стану організму людини, її здоров’я.

У практиці спорту часто зустрічаються різні статичні положення та пози. До таких статичних положень відносять різні стійки, виси, упори у спортивній гімнастиці, стартові положення у легкій атлетиці, плаванні та інших видах спорту, пози важкоатлетів, стрільців тощо. Роль цих положень та поз як елементів спортивної техніки може бути зовсім різною, якщо розглядати їх основні три фази – початкову, проміжну та кінцеву. Залежно від того, до якої з цих фаз належить досліджувана статична поза, можна конкретно оцінити її роль в

ефективному розв'язанні рухового завдання. Про значну роль статичних положень та поз у спорті свідчить і той факт, що у змаганнях за суддівськими правилами регламентується фіксація статичних поз.

Процес збереження положення та пози тіла – це складний процес управління та регуляції. Тіло людини з біомеханічної точки зору у біостатиці можна уявити як багатоланкову механічну систему, що складається з ряду ланок, котрі не деформуються. Ці ланки з'єднані за допомогою шарнірів, у котрих діють суглобні моменти, що забезпечують жорсткість статичного положення усєї рухомої системи. Для оцінювання умов рівноваги тіла людини нині досить широко застосовується методика стабілографії. Останнім часом ця методика, окрім дослідження власне біомеханічних основ стійкості, застосовується також для вивчення функціонального стану організму людини, здатність витримувати навантаження статичного характеру, оцінювання координаційних можливостей людини з погляду професійного відбору. За всієї складності електронного комплексу апаратури, що використовується у методиці стабілографії, людина за час вимірювань не обтяжується прикріпленням датчиків до біоланок її тіла: їй лише необхідно стати на стабілографічну платформу та виконати відповідний контрольний тест.

Здатність зберігати рівновагу є однією з найважливіших умов забезпечення життєдіяльності організму людини. Методика, що забезпечує можливість кількісного та якісного аналізу стійкості стояння, власне й називається стабілографією. Крива зміни координат ЗЦМ тіла при збереженні стійкості стояння називається *стабілограмою*. Метод стабілографії дає змогу вивчати біомеханічні характеристики рухів людини, а також дозволяє

- кількісно оцінювати стійкість тіла людини та системи тіл;
- контролювати хід навчання різних видів рівноваг у спортивній та художній гімнастиці;
- проводити тестування стану спортсменів перед змаганням;
- визначати здатність витримувати тренувальні навантаження;

- здійснювати професійний відбір найбільш здібних індивідуумів за показниками стабілографії;
- фіксувати факт вживання людиною деяких фармакологічних препаратів та алкоголю.

Міотонографія

Міотонографія – це реєстрація та аналіз біомеханічних якостей скелетних м'язів людини. Як приклад наведено апаратно-програмний комплекс для реєстрації та аналізу біомеханічних якостей скелетних м'язів людини (Табл. 1).

Таблиця 1

Біомеханічні характеристики досліджуваних м'язів

Біомеханічна характеристика м'язів	Формула для вимірювання	Одиниця вимірювання
Амплітуда коливань в ізотонічному напруженні	$A = KV(K=1/1000)$	мм
Амплітуда коливань в ізометричному напруженні	$A = KV(K=1/1000)$	мм
Амплітуда коливань в ізотонічному напруженні після дозованого механічного впливу	$A = KV(K=1/1000)$	мм
Амплітуда коливань в ізометричному напруженні після дозованого механічного впливу	$A = KV(K=1/1000)$	мм
Частота коливань в ізотонічному напруженні ($F_{\text{ізотон}}$)	$1/T$	Гц
Частота коливань в ізометричному напруженні ($F_{\text{ізометр}}$)	$1/T$	Гц
Енергетика коливань в ізотонічному напруженні ($Q_{\text{ізотон}}$)	$\frac{mA^2}{2T^2}$	Дж
Енергетика коливань в ізометричному напруженні ($Q_{\text{ізометр}}$)	$\frac{mA^2}{2T^2}$	Дж
IV (індекс жорсткості)	$\frac{F_{\text{ізометр}} - F_{\text{ізотон}}}{F_{\text{ізотон}}}$	відн. од.
IQ (індекс демпферності)	$\frac{1 + (Q_{\text{ізотон}} - Q_{\text{ізометр}} Q_{\text{ізометр}})}{Q_{\text{ізометр}} (1 + Q_{\text{ізотон}})}$	відн. од.

Примітка: T – період, Гц; m – маса біоланки, кг; A – амплітуда коливань м'язів, мм.

Комплекс призначений для якісної та кількісної діагностики біомеханічних якостей скелетних м'язів людини. Його можливості дозволяють отримати термінову інформацію про стан усіх досліджуваних м'язів у графічній та цифровій формах.

Під час діагностики на тілі людини закріплюється спеціальний датчик типу СМВ-ЗОБ (Росія), що дозволяє реєструвати біомеханічні якості м'язів.

Сигнали датчика вводяться через блок введення інформації у ПК та обробляються за спеціальною програмою.

Спільна робота датчика, блока введення інформації та ПК дозволяє у реальному масштабі часу обчислювати та візуалізувати біомеханічні характеристики досліджуваних м'язів – визначити *індекс жорсткості* та *індекс демпферності*.

Вихідна інформація, котра виробляється за спеціальним програмним забезпеченням, виводиться на принтер та записується у пам'ять ПК, що дозволяє документувати її у друкованому вигляді та зберігати повні кількісні дані щодо проведених вимірювань. Це дає змогу створювати банки даних про багатьох досліджуваних, обробляти великий обсяг інформації про функціональний стан м'язів людини, що виконують різноманітну роботу, порівнювати їх один з одним тощо.

Зауважимо, що амплітудні характеристики, котрі отримують при реєстрації у мілівольтах (мВ), перераховуються у метричні міри — міліметри (мм), а енергетика виражається у джоулях (Дж) за допомогою спеціальних програм.

Електроміографія (ЕМГ)

У процесі життєдіяльності організму в його органах та тканинах виникають біоелектричні сигнали, котрі являють собою складні коливання несиметричної форми, що називаються біопотенціалами. Певною мірою, об'єктивно відображаючи фізико-хімічні результати обміну речовин, вони є досить інформативними показниками стану фізіологічних процесів в організмі. Внутрішнє середовище організму має низький електричний опір, що дозволяє біопотенціалам поширюватися по всьому тілу людини. Внаслідок цього біопотенціали скелетних м'язів, серця та мозку можуть бути зафіксовані на поверхні тіла спеціальними датчиками

біопотенціалів. Як відомо, тіло людини має три основних взаємозв'язаних електромагнітних поля з відповідними біопотенціалами серця (ЕКГ – електрокардіографія), рухового апарату (ЕМГ), кори головного мозку (ЕЕГ – електроенцефалографія).

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

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

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

Електроміографія – це спосіб реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів. Він дозволяє “зазирнути” начебто всередину процесів, котрі відбуваються у м'язах, отримати цінну інформацію про роботу м'язів при виконанні рухових завдань, широко застосовується при вивченні спортивних рухів. Він дозволяє одночасно вимірювати біомеханічні та фізіологічні параметри рухової функції. Електроміограмою називається крива зміни біопотенціалів скелетних м'язів. Використовується ЕМГ для визначення ступеня участі різних м'язів у русі, для вивчення координації та рівня активності м'язів. Окрім того, ЕМГ дає змогу дослідити внутрішню структуру рухового акту й

тим самим допомагає виявити найбільш раціональні та ефективні варіанти побудови рухів, розв'язання рухових завдань.

Коли у 1920–1930 рр. почалися перші електроміографічні дослідження, то виявилось, що реєстрація ЕМГ відкрила внутрішню структуру рухів і внаслідок цього виникла можливість оцінювати участь окремих м'язів у руховому акті (як відомо, в електроміографах реєструється активність усіх м'язів, що беруть участь у даному русі). Саме ЕМГ дозволила вивчити деякі деталі координаційної структури природних рухових актів людини, наприклад ходьби, підтримання вертикальної пози, ряду трудових та спортивних рухів.

Дослідження механізмів управління рухами та позою (поєднання ЕМГ з реєстрацією зовнішніх механічних параметрів м'язової діяльності) дозволяють обчислювати багато чинників, котрі впливають на кількісні характеристики рухів. Нині можна виділити чотири основні напрями використання ЕМГ для вивчення активної рухової діяльності людини:

- вивчення електричної активності окремих функціональних рухових одиниць (РО);
- вивчення електричної активності окремих м'язів;
- вивчення узгодженості електричної активності багатьох м'язів, що беруть участь в одному русі (синергісти та антагоністи);
- використання ЕМГ у як електростимуляторів.

У спорті використовують в основному другий та третій напрями як для дослідження механізму управління в окремих видах спорту, так і для вивчення фізіологічних закономірностей, притаманних спортивній діяльності (наприклад стомлюваності, ступеня напруження та розслаблення м'язів). Метод ЕМГ дозволяє проводити дослідження, не створюючи перепон для виконання багатьох трудових та спортивних рухів.

У лікувальній та спортивній практиці ЕМГ може використовуватися і як електростимулятор. Стимуляційна ЕМГ – це електричний вплив низькочастотним імпульсним струмом на органи та тканини людини для лікувального впливу на процеси патології у нервово-м'язових структурах,

знеболювання при травмах опорно-рухового апарату тощо.

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

Для реєстрації біоелектричної активності м'язів застосовуються спеціальні датчики, що в електроміографії називаються відвідними електродами, котрі дозволяють вловити зміни електричних напружень, виникнення, поширення та припинення процесів збудження у працюючому м'язі. Розрізняють електроди: *голчасті* – для локальної реєстрації біопотенціалів окремих РО та для міостимуляції; *плоскі* та *коаксіальні* (чашкові) – для глобальної ЕМГ, як правило, з малою відвідною поверхнею (діаметр 0,65 мм і менше) та найбільшими міжелектродними відстанями. Такий електрод вводиться у м'язову тканину й відводить коливання біопотенціалів від окремих волокон або РО. Його перевага полягає у тому, що він дозволяє виміряти електричну активність окремого волокна або РО м'яза.

Для дослідження інтенсивних природних рухів, особливо спортивних, найчастіше застосовують нашкірні (плоскі та коаксіальні) електроди з великою поверхнею відведення (50 мм²). Ці електроди фіксують сумарну різницю напруження при збудженні численних міоневральних закінчень.

Для реєстрації біопотенціалів м'язів використовують як монополярне (один активний електрод), так і біполярне (два активних електроди) відведення. При монополярному відведенні на шкірі над м'язами розміщують по одному електроду, а другий електрод (заземлення) кріплять до електронейтральної поверхні тіла досліджуваного, наприклад до мочки вуха або в іншому місці, що не має м'язів (наприклад, зап'ясток). Амплітуда біопотенціалів у монополярній ЕМГ становить приблизно 5 мВ, що у кілька разів більше, ніж у біполярній, тому необхідне менше зусилля.

Недоліком цього способу є те, що ЕМГ може відображати електричну активність не тільки м'язів, на котрих розміщено

електроди, але й тих м'язів, котрі знаходяться між активними та нейтральними електродами, тобто електричну активність усього регіону прилеглих м'язів.

У спортивній практиці використовується переважно біполярна ЕМГ, при котрій на черевці м'яза розташовуються два активних електроди. Цей спосіб відведення дозволяє реєструвати локальну різницю потенціалів, що виникають між двома ділянками м'яза. При біполярному відведенні (відстань між електродами становить приблизно 20 мм, а діаметр електрода – приблизно 5 мм) буде потрібно більше зусилля порівняно з монополярним, але м'язові потенціали відводяться локально, що зменшує вірогідність реєстрації активності інших м'язів, котрі одночасно беруть участь у русі. Величина ЕМГ-сигналу залежить від

- розмірів та форми електродів;
- відстані між електродами;
- розташування електродів відносно рухомої точки (РТ);
- розташування електродів відносно напрямків м'язових волокон.

Внутрішній опір м'язів як електричного генератора характеризується міжелектродним опором, котрий складається з опору шкіри (з опору ороговілих клітин епітелію – епідермісу та власне шкіри), опору міжтканинної рідини та підшкірних жирових відкладень.

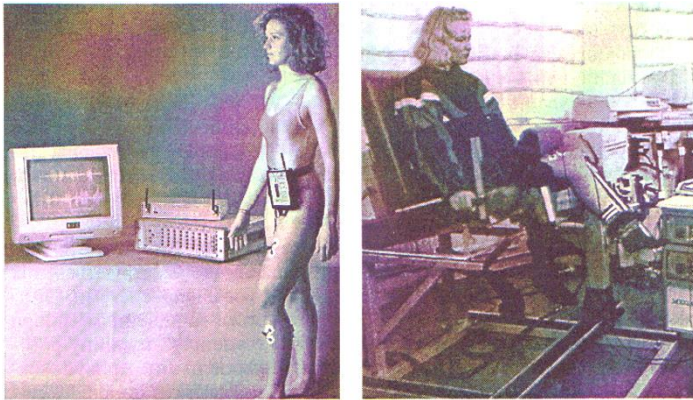
Міжелектродний опір має бути низьким. Зменшення його необхідне як для збільшення амплітуди біопотенціалів, що реєструються, так і для підвищення перешкодостійкості вимірювальної системи. Зменшення міжелектродного опору забезпечується очищенням шкіри спиртом у місцях накладання електродів. Це зменшує товщину рогового шару шкіри, підсилює кровообіг і завдяки цьому знижує міжелектродний опір до 10 кОм. Для кращого контакту зі шкірою внутрішні порожнини (чашки) електродів заповнюються спеціальною електродною пастою. Окрім того, величина потенціалу, що відводиться, залежить від розташування електродів відносно рухомої точки (РТ) – місця входження нерва у м'яз. Найбільша електрична активність при збудженні м'яза реєструється у ділянці РТ. Монополярний електрод кріпиться над РТ, а біпо-

лярні електроди – по обидва боки від неї на однаковій відстані.

Величина біопотенціалу, що реєструється, також залежить від збігу або розбіжності розміщення біполярних електродів з ходом м'язових волокон. Збільшення міжелектродної відстані призводить до збільшення величини електричної активності, котра реєструється. При однаковій відстані між електродами найбільша величина електричної активності реєструється, якщо електроди розташовуються по ходу м'язових волокон.

Найпростіший стандартний набір ЕМГ-комплексу для досліджень у лабораторних або клінічних умовах складається з таких основних частин: відвідних електродів; підсилювача (наприклад MG-42, фірма MEDICOR, Угорщина); реєстратора (наприклад шлейфний осцилограф або комп'ютер); індикатора візуального контролю – ІВК (наприклад, MG-40).

Сучасні ЕМГ-комплекси для дослідження у природних умовах та реальному часі (on-line) обов'язково комп'ютеризовані, радіотелеметричні та, як правило, багатоканальні (рис. 6).



а)

б)

а) Загальний вигляд ЕМГ-досліджень на комплексі TELEMГ (корпорації BTS Італія)

б) Стационарний ЕМГ-комплекс MEGA EMG Work Station (корпорація PEAK PERFORMANCE TECHNOLOGIES, Німеччина)

Рис. 6. ЕМГ-комплекси для дослідження у природних умовах та

Акселерометрія

Результатом дії сили на будь-яке тіло може бути деформація тіла та його прискорення (зміна кількості руху). Відповідно до цього усі силовимірювальні прилади поділяються на два типи:

- ті, що вимірюють деформацію тіла, до котрого прикладено силу (знайомий нам динамометричний метод);
- ті, що вимірюють прискорення рухомого тіла (акселерометрія).

Акселерометрія (від лат. *acselero* – прискорюю) – це методика, котра дозволяє вимірювати прискорення ЗЦМ тіла людини та окремих його біоланок при виконанні рухів.

Акселерометр призначений для вимірювання прискорень. Робота такого датчика базується на вимірюванні сили інерції, котра виникає під час руху. Вимірювання прискорення відбувається у два етапи: 1) механічне вимірювання прискорення; 2) перетворення механічного переміщення маси датчика на електричний сигнал.

Механічне вимірювання прискорення. До досліджуваного об'єкта прикріплюється датчик, що складається з малої маси m на пружному тивісі певгіої жорсткості c . Рух об'єкта з прискоренням a зумовлює виникнення в акселерометрі сили інерції $AF = ma$, котра зрівноважується пружною силою підвіса. Оскільки маса датчика m та жорсткість c є постійними величинами, то переміщення маси датчика буде пропорційним лінійному прискоренню об'єкта. Водночас відносно переміщення маси датчика дорівнює деформації пружного зв'язку, а це означає, що, вимірюючи цю деформацію, можна визначити шукане прискорення об'єкта. Коефіцієнт пропорційності k між виміряною деформацією пружного елемента та виміряним прискоренням визначається при таруванні: $AL = kta$, де AL – величина деформації; AF – величина вимірюваного зусилля, що визначається за таруванням залежно від реєструючого комплексу, що використовується.

Перетворення механічного переміщення маси датчика на електричний сигнал здійснюється за допомогою так званих

вторинних вимірювальних перетворювачів. Це можуть бути реостатні, індукційні, п'єзоелектричні та тензорезистивні перетворювачі. Найбільш поширеними у спорті є датчики прискорення, що використовують тензо- та п'єзоефект. П'єзорезистивні або п'єзокристалічні пластинки наклеюються на пружний елемент. Під дією прискорення сила інерції маси датчика вигинає балку (пружний підвіс) у площині найменшої жорсткості й тензодатчик перетворює деформацію балки на електричний сигнал.

Пружний (чутливий) елемент у вигляді консольної балки з вантажем на кінці дозволяє дуже просто виготовити трикомпонентний датчик прискорення, за допомогою котрого можна виміряти три складових вектора прискорення. Пружні елементи балки орієнтовані так, що осі чутливості акселерометрів спрямовані по трьох взаємоперпендикулярних площинах.

Конструкція трикомпонентного тензоакселерометра. Конструктивно трикомпонентний тензоакселерометр – куб зі стороною 10 мм, у котрому три однакові циліндричні камери висвердлені поздовжньо по трьох взаємно перпендикулярних осях (абсцис, ординат та аплікват) відносно загальної соматичної системи координат людини.

Камери заповнені демпфірувальною рідиною. В отвори занурені сталеві балки однакового опору зі свинцевою напайкою на вільному кінці. На сталеві балки з двох боків наклеєно по тензодатчику, котрі є суміжними плечами вимірювального моста. Консольні балки розташовуються в отворах у взаємно перпендикулярних площинах. Виходи з усіх трьох отворів щільно закриті спеціальною пробкою з вивідними проводами. Кожний акселерометр через тензопідсилювач має вихід на три канали осцилографа і реєстрація вимірювань відбувається одночасно на одній стрічці.

Датчик має спеціальні кріплення, розраховані на його фіксацію на тілі людини. Таким чином, він являє собою нібито відносно нерухому, жорстко зв'язану з центром мас тієї чи іншої біоланки просторову координатну систему.

Для об'єктивного аналізу складних рухів обов'язковою умовою є отримання повного результуючого вектора

прискорення:

$$a_{\text{рез}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Саме для цього необхідне використання трикомпонентного акселерометра. Для підвищення точності вимірювання важливо знайти проекцію сумарного вектора прискорення соматичної (рухомої) системи координат на нерухому систему координат (при дослідженні безударних процесів – локомоцій). Акселерометри закріплюють у ЗЦМ при локомоторних переміщеннях та у ЦТ біоланки при вивченні рухів окремих біоланок.

Для досліджень ударних (високочастотних) процесів при переміщеннях людини нині використовуються п'єзоакселерометри. Як приклад розглянемо трикомпонентний п'єзоакселерометр 4321 (фірма “Брюль і К’єр”, Данія).

Цей трикомпонентний п'єзоакселерометр містить у загальному ущільненому корпусі три акселерометри з нормалізованою чутливістю, головні осі котрих спрямовані перпендикулярно одна до одної. Отож цей акселерометр одночасно вимірює механічні коливання у трьох взаємно перпендикулярних напрямках і знаходить застосування там, де потрібні вимірювання з урахуванням просторової системи координат.

Легкий корпус з титану сприяє досягненню малої власної маси та широкого робочого частотного діапазону трикомпонентного акселерометра 4321 (верхня межа – 12 кГц). Конструкція усіх його елементів, що базується на застосуванні працюючих під впливом зрізаного зусилля трьох вирізів з п'єзокераміки, гарантує малу чутливість до деформації основи, змін температури та поперечних коливань у напрямках, що не збігаються з головними осями основних елементів. Нормалізована чутливість суттєво полегшує калібрування вібровимірювальних систем та спрощує обробку результатів вимірювань, зокрема при застосуванні підсилювачів заряду з фіксованим коефіцієнтом підсилення.

Для надійного кріплення акселерометра 4321 можна використовувати гвинт М4 довжиною 15 мм, що проходить через передбачений для нього в корпусі отвір або шпильку 10–32NF, для котрої передбачено відповідний отвір в основі

корпусу.

Трикомпонентний п'єзоелемент, що працює під впливом зрізувального зусилля (фабрична марка "Delta Shear"), використовуваний у нових акселерометрах типу 4321 фірми "Брюль і К'єр" (рис. 7), відрізняється унікальною конструкцією та високою якістю. Ці акселерометри складаються з трьох плоских прямокутних вирізів з п'єзокераміки, закріплених між розташованою у центрі опорою трикутного перерізу та трьома інерційними масами, притиснутими стяжним кільцем. Стяжне кільце впливає на трикомпонентний п'єзоелемент великою радіальною силою. Поверхні опори п'єзоелектричних елементів та інерційних мас оброблено з малими допусками і ретельно доведено так, що у цих нових акселерометрах не використовуються проміжні клейкі шари (наприклад в акселерометрах з плоским п'єзоелементом, що працює під впливом зрізувального зусилля). Унікальна конструкція та ретельна обробка усіх деталей акселерометрів, що відносяться до варіанта, описаного вище, гарантує лінійність та довгочасну стабільність параметрів і, загалом, добру стійкість до впливу зовнішнього середовища.

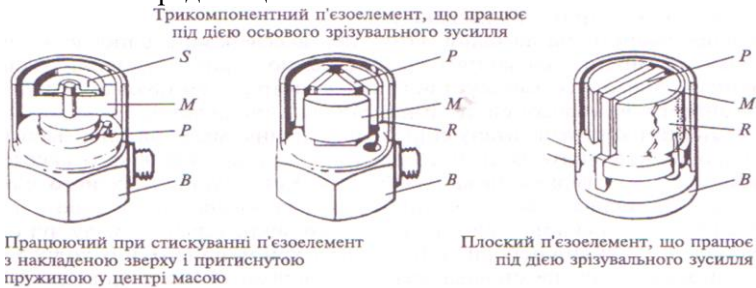


Рис. 7. Конфігурація та механічна конструкція акселерометрів фірми "Брюль і К'єр": S – пружина, M – маса, P – п'єзоелемент, B – основа, R – стяжне кільце.

Акселерометри 4321, 4366, 4368, 4369, 4370, 4371, 4375 фірми "Брюль і К'єр" є кращими вібродатчиками конструкції, що описана вище.

Гоніометрія

Гоніометрія (від грецьк. *γωνία* – кут) – це метод реєстрації

кутових переміщень у суглобах. Величини суглобових кутів є важливими просторовими характеристиками рухів. Безперервний контроль за величинами кутових переміщень є корисним

- при вивченні спортивної техніки;
- при навчанні спортсменів раціональної техніки рухів;
- для біомеханічного аналізу спортивних рухів;
- дія визначення рухомості сполучень ланок тіла, їх положень при різних позах, між позами руху;
- для оцінювання гнучкості.

Рухоме з'єднання ланок тіла зумовлює їх кутове переміщення. Залежно від форми суглобів рухи можуть здійснюватися в одній або кількох площинах. Зі зміною кута у суглобі змінюються

- довжина м'яза (при цьому сила тяги м'яза зменшується пропорційно квадрату зменшення його довжини, тобто максимальну величину тягового зусилля м'яз виявляє при своєму найбільшому розтягненні у межах анатомічної рухомості);
- плече тяги м'яза відносно осі обертання;
- кут тяги м'яза за кістку.

Для вимірювання кутових переміщень ланок тіла людини, оцінювання рівня розвитку гнучкості (амплітуди рухів) використовуються такі методи: 1) рентгенографія; 2) оптико-електронні – фото-, кіно-, стробозйомка, стереоциклографія, стереостробозйомка; відеометрія; 3) механічний; 4) механоелектричний.

Рентгенографічний метод дозволяє визначити теоретично припустиму амплітуду руху, розрахувавши її на основі рентгенологічного аналізу будови суглоба.

Оптичні методи вимірювання гнучкості базуються на застосуванні фото-, кіно-, стробозйомки. На суглобових точках тіла спортсмена укріплюють датчики-маркери, зміна їх взаєморозташування фіксується реєструючою апаратурою. Подальша обробка фотознімків або фотоплівки дозволяє визначити рівень розвитку гнучкості. Точність оптичних методів невисока. Найбільш точними сучасними та ефективними з оптико-електронних методів для вимірювання

кутових переміщень є стереоциклографія, стереостробозйомка, відеометрія, котрі будуть докладно описані у наступному розділі. Точність оптико-електронних методів залежить від

- похибок реєструючої апаратури;
- способу кріплення маркерів на суглобових точках та величини їх зміщення при виконанні руху;
- похибок аналізу кіно-, фотоматеріалів (при масштабі фотографії – 1:10 і більше).

Для безпосереднього вимірювання значень суглобових кутів застосовують прилади-гоніометри. Вони бувають двох типів – механічні та електромеханічні. Суглобовий кут у статичному положенні можна виміряти механічним гоніометром. Він складається з двох шарнірно з'єднаних планок, котрі закріплюються на сполучених ланках тіла (плече–передпліччя, стегно–гомілка), а вісь шарніра суміщають з віссю суглоба. Таким чином, кут, утворений двома планками, характеризує суглобовий кут. Щоб його виміряти, на одній із планок кріплять транспортир зі шкалою, а на другій – покажчик. Недоліком цього методу є те, що за його допомогою можна виміряти кути лише у статиці (визначається максимальна рухомість у суглобі).

Для реєстрації змін кутів у суглобах під час руху використовують електрогоніометри, котрі дозволяють простежити за зміною суглобових кутів у різних фазах руху з великою точністю.

Система для реєстрації суглобових переміщень складається з електрогоніометра (датчика), джерела живлення та реєстратора гоніограм. При цьому величини кутових переміщень перетворюються на пропорціональні величини електричної напруги. Серед датчиків найбільш поширеними є потенціометричні з лінійними характеристиками. Вони забезпечують пропорціональність змін величини, що реєструється (кутове переміщення), та вихідного електричного сигналу.

У потенціометричному датчику вісь потенціометра з'єднана з однією з кріпильних планок датчика, а корпус – з іншою. Конструкція кріпильних елементів може бути різною, але у будь-якому випадку при проведенні вимірювань планки закріплюються паралельно кісткам досліджуваної кінематичної

пари, а вісь потенціометра має бути суміщеною з віссю досліджуваного суглоба.

Кріплення гоніометрів здійснюється відповідно до анатомічних та біомеханічних особливостей досліджуваного біокінематичного ланцюга і має у кожному конкретному випадку різну конструкцію. У загальному вигляді універсальне кріплення складається з легких, гнучких (пластмасових) планок постійного перерізу, гумових поясів для їх утримання та посадочного гнізда. Посадочні гнізда та датчики, як правило, однотипні, а довжина планок та поясів регулюється залежно від особливостей досліджуваної кінематичної, біокінематичної пари або ланцюга.

У 1970 р. А.М. Лапутіним були запропоновані оригінальні електромеханічні гоніометри, виготовлені у вигляді металевого екзоскелетона і зовнішнього скелета тіла людини. Вони дозволяють реєструвати динаміку суглобових екскурсій одночасно усіх груп сполучень тіла людини та візуалізувати її в аналоговій формі на екрані осцилографа. Таким чином, ним було запропоновано екзоскелетонні гоніометри хребта, верхніх та нижніх кінцівок. Потенціометр, виготовлений з графіту або дроту, вмикається у найпростіший електричний ланцюг-міст. Отримуваний безперервний електричний сигнал зручно реєструвати на самописі або шлейфному осцилографі. Перед початком роботи гоніометричну установку необхідно відтарувати, тобто визначити, наскільки зміщується перо самописа при відомих значеннях (0° , 90° , 135° , 180° суглобного кута). Тарування дозволяє відраховувати отримувані на стрічці самописа значення суглобового кута безпосередньо в градусах (Рис.8).

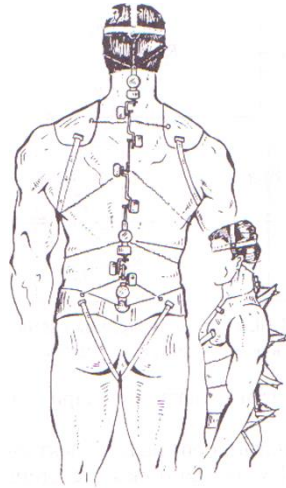


Рис.8. Зовнішній вигляд механічного екзоскелетона.

Значну кількість методів та способів вивчення кутових характеристик суглобів та взаємного розташування різних частин тіла було запропоновано Гамбурцевим (1973). Так, зокрема, він розробив ряд порівняно простих пристосувань гоніометричного типу. Наприклад, запропонований ним штангенциркуль складається зі штанги з прикріпленою перпендикулярно до її кінця ніжкою; друга ніжка кріпиться до рамки, котра ковзає по штанзі. На штангу нанесено міліметрові поділки, на рамці є риска, що слугує початком відліку.

З боку, протилежного ніжкам штангенциркуля, за допомогою шарнірного з'єднання прикріплюється гоніометр, котрий може бути розташований у різних площинах (сагітальній та фронтальній) відносно штанги (рис. 9). Гоніометр складається з основи, круглого корпусу зі шкалою та стрілки-віска, що вільно обертається на осі. Нульова поділка шкали знаходиться зверху. Праворуч та ліворуч від нульової поділки нанесено поділки від 1 до 180°. Усього на шкалі гоніометра нанесено 360 поділок. Завдяки своїй більш важкій нижній частині стрілка гоніометра завжди встановлюється у вертикальному положенні та показує за шкалою кут нахилу вимірюваного об'єкта до вертикалі (або горизонталі) у градусах. Для вимірювань у сагітальній площині

(сагітальних кривин хребта – кіфозів та лордозів, амплітуд згинання та розгинання хребта тощо) гоніометр встановлюється на шарнірі в одній площині з ніжками циркуля.

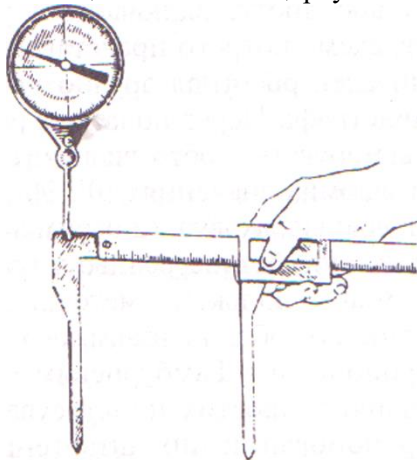


Рис.9. Ковзний циркуль-гоніометр Гамбурцева

Для вимірювань у фронтальній площині (сколіозу, амплітуд фронтальних рухів хребта та ін.) гоніометр встановлюють на шарнірі площини, що перпендикулярна до основних ніжок циркуля.

У сучасних дослідженнях для диференційованого оцінювання динаміки м'язово-суглобових з'єднань опорно-рухового апарату може використовуватися технічний комплекс "ДЕУ-9000" (2000 р.) італійської фірми "ТесІпофут" (рис. 10).



Рис. 10. Загальний вигляд технічного комплексу

Цей апарат являє собою механічний пристрій екзоскелетного типу, котрий дає змогу виміряти та візуалізувати на екрані комп'ютера деякі динамічні характеристики рухів у великих суглобах, зокрема швидкість зміни амплітуди суглобних рухів, силу, що прикладає людина до механічних важелів пристрою, та роботу і потужність, котрі витрачаються при цьому певними ланками її тіла. Прилад може працювати в ізокінетичному, ізотонічному та пасивному режимах руху ряду великих біокінематичних пар опорно-рухового апарату. Ізокінетичний режим передбачає рухи у суглобових з'єднаннях людини з постійною швидкістю сполучених ланок та з опором, що змінюється. Ізотонічний режим передбачає рух тих самих ланок з постійним опором та швидкістю, котрі змінюються. Ізометричний режим вимагає від людини генерування відповідної сили скорочення м'язів, що приводять у рух сполучені у певному суглобі ланки тіла без реального вимірювання амплітуди руху у цьому суглобі. З метою створення для того чи іншого м'язово-суглобового з'єднання відповідних умов, котрі необхідні для виконання людиною певної програми рухової реабілітації, у цьому апараті передбачений також режим примусових (пасивних для людини) рухів ланок її тіла і тим самим стимуляції м'язів, що приводять їх до руху. Усі перераховані види рухів ланок у великих м'язово-суглобових з'єднаннях можуть однаково аналізуватися з комп'ютерною візуалізацією результатів вимірювання згаданих вище динамічних характеристик як у концентричному (рух по колу), так і у ексцентричному (пересування по складній траєкторії) режимах роботи біоланок людини.

Безконтактні методи контролю

Відповідно до блок-схеми інструментальних методів контролю (на рис. 5), розглянемо безконтактні методи – оптичні та оптико-електронні.

Будова фотоапарата та кінокамери. Серед сотень сучасних моделей фотоапаратів є громіздкі й мініатюрні, більш і менш точні, складні й прості. Усі вони складаються зі світлонепроникної камери (корпусу), об'єктива, видошукача та світлочутливого матеріалу. Звичайно це фотоплівка завширшки

36 або 60 мм, а у спеціальній вимірювальній апаратурі — фотопластинка розміром 130 x 80 мм. Чим більший формат матеріалу, тим вища роздільна здатність фотографування. У корпусі знаходиться також затвор об'єктива та механізм пересування плівки на один кадр. Затвор призначений для того, щоб за короткий, точно визначений проміжок часу пропустити світловий потік на світлочутливий матеріал. Цей проміжок часу (або витримка) позначається цифрами 30, 60, 125, 250, 500 (наприклад, витримка 125 означає, що затвор об'єктива відкритий протягом 1/125 частка секунди).

Об'єктив фотоапарата складається з оправи, лінз та діафрагми. За допомогою діафрагми можна регулювати розміри діючого отвору об'єктива. Для величини діафрагми прийнято такі позначки: 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22. Переходячи від меншої цифри до наступної – більшої, ми вдвічі зменшуємо отвір, через котрий світло попадає на фотоплівку. Одночасно збільшується “глибина різкості”, тобто зона простору, в якій усі предмети зображуються різко.

Таким чином, змінювати освітленість фотоматеріалу можна двома способами: витримкою та діафрагмою. Наприклад, сполучення витримки 60 та діафрагми 11 є еквівалентним сполученню витримки 125 з діафрагмою 8.

Видошукач потрібний для визначення меж кадра. Він дає можливість встановити, які предмети входять у кадр, а які лишаються за його межами. Якісний видошукач, окрім того, дозволяє наводити на різкість та контролювати її у момент зйомки.

Сучасний фотоапарат стає все більш автоматизованим. Він має вмонтований експозиметр, основною частиною котрого є фотоелемент, що дає струм, пропорційний освітленості. Завдяки цьому автоматично встановлюється витримка та діафрагма. Окрім того, можливе автоматичне регулювання різкості.

Останнім досягненням фототехніки є використання повних фотоапаратів-автоматів з системою чип-карт: зображення кодується на магнітну картку, котра розпізнається за допомогою персонального комп'ютера або цифрових фотокамер “on-line”, котрі кодують зображення одразу в цифровому вигляді і з'єднані з персональним комп'ютером (ПК), що дає можливість

миттєво побачити відзнятий кадр на екрані монітора ПК.

Конструкція кінокамери відрізняється тим, що у ній кадри змінюються автоматично за допомогою пружинного механізму або електричного двигуна, котрий працює від батарейки. Кіноплівка пересувається переривчасто (кадр за кадром) зі швидкістю не нижче за 16 кадрів за секунду. Така або більш висока швидкість руху плівки потрібна для того, щоб реалізувався “кінематографічний ефект”, що полягає у швидкому “бігу” кадрів і сприймається глядачем як безперервне зображення.

Кінокамера складається з тих самих основних частин, що й фотоапарат. Окрім того, у неї є стрічкопротяжний механізм та фільмовий канал. Фільмовий канал забезпечує суворо перпендикулярне положення плівки щодо оптичної осі об'єктива.

На відміну від фотоапаратів більшість кінокамер наводиться на різкість “на око”. Кінооператор оцінює відстань об'єкта зйомки та встановлює його на дистанційній шкалі об'єктива.

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

Кінопроекційна апаратура використовується для показу зображення на екрані 1 x 1,37 м. Застосовуються і широкоформатні системи кінопроекції з великими кутівими розмірами зображення з екранами 1 x 2,35 м або 1 x 1,85 м. Широкоформатна система проекції передбачає застосування екранів завширшки 14–22 м.

У спортивній практиці, наприклад, для кінопроекції найчастіше використовуються пересувні кіноустановки типу “Русь”, “Волна”, “Україна-5”, “Україна-7”. Всі вони розраховані на живлення від однофазної мережі змінного струму напругою

127 і 220 В із частотою 50 Гц (для автономного електроживлення можуть застосовуватися бензино-електричні установки АБ1-0/230).

Кінопроектор “Русь” використовується для демонстрації 8-мілі-метрових навчальних фільмів без звукового супроводження (можливе застосування магнітофона і синхронізатора). Апарат випускається у двох варіантах (об’єктив із постійною фокусною відстанню 18 мм; відносна фокусна відстань – 18–30 мм, відносний отвір – 1/12). Апарат оснащений кварцево-галогенною проєкційною лампою КГМ 12–100 112 В. 100 Вт. Проектор дозволяє плавно регулювати швидкість проєкції, збільшувати швидкість, здійснювати покадрову проєкцію, перемикає механізм на зворотний хід, що особливо важливо при детальному вивченні техніки спортивних рухів.

Кінопроектор “Волна” також дозволяє демонструвати 8-міліметрові фільми (3,25 x 4,4 мм – для звичайної плівки та 4,01 x 5,36 мм – для плівки “Супер-8”). Джерелом світла є кварцево-галогенна лампа КГМ 12-75 з інтерференційним відбивачем.

Пересувна установка “Україна-5” дозволяє демонструвати 16-мілі-метрові звукові фільми. Вона включає проєктор П16П1, універсальний звуковідтворювальний пристрій КЗВП-10, автотрансформатор, кіноекран. Проектор складається з проєкційної лампи розжарювання КЗО–400, відбивача, конденсатора та об’єктива. Як привід у проєкторі використовується асинхронний одноразовий двигун, що забезпечує частоту руху 24 кадри за секунду. Ємність бобин – 120 та 600 м. Розмір кадра – 7,2 x 9,6 мм. Звуковідтворювальна частина проєктора має лампу К4-3 (4 В, 3 Вт) та безщілинну циліндричну оптику для відтворення звуку з фотографічної фонограми (лампа живиться постійним струмом від випрямляча підсилювального пристрою). Перетворювачем світлових коливань слугує фотодіод ФД-9к. Звуковий блок має магнітну головку для відтворення магнітних фонограм та 16-міліметрових фільмокопій.

Пересувна кіноустановка “Україна-7” відрізняється від “України-5” світлооптичною системою та пристроями для відтворення фотографічних фонограм.

Фотографічний комплекс стробофотозйомки включає фотографічні камери та стереокомпаратор типу “Стекометр”, що складається із пристрою зчитування координат, пульта управління та друкуючого автомата. Отримана в результаті стереозйомки пара знімків фіксується на вимірювальному столі стереокомпаратора. Потім на центр кожного маркера за допомогою трьох ручних штурвалів наводиться “вимірювальна марка”. Перший штурвал переміщує “вимірювальну” марку вперед-назад, другий – ліворуч-праворуч, третій – вгору-вниз. Після кожного наведення друкуючий пристрій реєструє координати точки. Реєстрація координат однієї точки триває 6–10 с, а на повну обробку стереознімка (наприклад одного кроку) витрачається 1–2 год. Це у десятки разів менше, ніж при ручній обробці знімків.

Після того як визначено координати маркерів, на папері будується схематичне зображення (“промір”) поз людини, яка рухається. Раніше “промір” будували вручну. Останнім часом цю операцію вдалося автоматизувати. Для цього координати маркерів вводять у пам’ять ЕОМ, котра управляє графопобудовником.

Відеомагнітофони та їх застосування. У фотографії та кінозйомці є великий недолік: обробка фотоматеріалів (проявлення плівки, фотодрук тощо) дуже трудомістка й забирає багато часу. Більш оперативним є запис і відтворення рухів за допомогою відеомагнітофонів. Система відеозапису складається з відеокамери (пристрій запису відео- сигналу на магнітну стрічку), відеомагнітофона (пристрій відтворення) та відеомонітора (спеціальний телевізор для перегляду відеозапису). Сучасні відеомагнітофони дозволяють виконувати “стоп-кадр” та уповільнене відтворення зображень. Такі можливості мають вітчизняні відеомагнітофони “Електроніка ВМ-32” та ін. Останні моделі відеомагнітофонів важать менше 3 кг і призначені для запису та відтворення кольорового зображення, що робить відеозапис більш привабливим у навчальному процесі.

Магнітна стрічка, на котру записується зображення, схожа на стрічку для звукозапису, але вона ширша (13, а не 6 мм) і міститься у касеті розміром із невелику книжку (188 x 104 x 25

мм). У нашій країні випускаються відеокасети п'яти типів: ВК-30, ВК-60, ВК-90, ВК-120, ВК-180 (цифра означає тривалість запису або відтворення у хвилинах).

Одночасно із зображенням відеомагнітофон записує звук. Наприклад, коли відтворюється запис веслувальної гонки, чуто сплески весел, дихання веслярів, а при відтворенні футбольного матчу – звук ударів по м'ячу, шум трибун тощо. Окрім того, оператор має можливість робити “мовні вставки”, коментуючи події, що відбуваються.

Дуже зручним є таймер – зображення на екрані монітора супроводжується цифрами поточного часу.

Зйомка відеокамерою мало чим відрізняється від кінозйомки. Суттєва різниця полягає у тому, що під час відеозйомки є можливість одразу ж перевірити якість запису. Для цього плівку перекручують назад, вмикують відеомагнітофон на відтворення та розглядають зображення на екрані відеокамери (цей невеликий екран розташований з протилежного до об'єктива боку і під час запису використовується для контролю записуваного зображення).

Користь, що приносить відеомагнітофон при навчанні рухів, є безсумнівною. Він, як дзеркало, дає можливість подивитися на себе збоку і побачити усі помилки й неточності своїх рухів та швидко їх виправити.

Не менш корисно застосовувати відеотехніку при опануванні теоретичних знань, і тут відеомагнітофон дає змогу практично реалізувати принцип наочності у навчанні. Відеофільм, що є у розпорядженні педагога, – це дуже ефективний засіб. У деякий момент можна зупинити перегляд або почати його з будь-якого місця запису. Можна пропустити нецікаві моменти (фрагменти) або, якщо якийсь епізод особливо сподобався чи зацікавив, не засвоївся з першого разу, його можна переглянути ще кілька разів.

У 1995 р. у світі відео відбулася революція, котру здійснила невелика, але вельми впливова група, до якої увійшли 55 міжнародних виробників електроніки, у тому числі SONY, PHILIPS, HITACHI, PANASONIC та JVC. Було прийнято цифровий формат відеозапису на магнітну плівку DVC (Digital Video Cassette) або DV (Digital Video). І вже наприкінці 1995 р.

SONY представила першу DV-відеокамеру DCR-VX1000, що забезпечує дивовижно високу вихідну якість (за деякими оцінками, вона наближається до якості формату Betacam SP), відрізняється невеликими розмірами та досить доступною ціною, що майже у три рази нижче ціни найдешевшої відеокамери, що працює у форматі Betacam. Також, відповідно до стандартів IEEE 1994 (Fire Wire), цифрове відео може переноситися з відеокамери на жорсткий диск комп'ютера і в зворотному напрямку без оцифрування та інших перетворень. Завдяки цьому стають непотрібними складні системи оцифрування відео, ціна яких сягає кількох тисяч доларів.

DV – це формат запису на магнітну стрічку завширшки 6,35 мм зі швидкістю пересування $18,831 \text{ ммс}^{-1}$. Для порівняння нагадаємо, що VHS, S-VHS, навіть професіональні Betacam-касети мають ширину 12,65 мм, а швидкість пересування стрічки для VHS та S-VHS становить $23,39 \text{ мм с}^{-1}$, для Betacam – $101,5 \text{ мм с}^{-1}$. Це означає, що щільність запису DV-інформації є надзвичайно високою – понад 0,4 Мбайт на 2 мм^2 , і тому касета міні-DV, розрахована на 60 хв відео, має розміри $66 \times 48 \times 12,2 \text{ мм}$. Ємність стандартної (великої) DV-касети ($125 \times 78 \times 14,6 \text{ мм}$) може становити 120 і навіть 180 хв (було оголошено і про касету на 240 хв), а ємність Betacam-касети — 30 хв. Окрім того, SONY запропонувала DV-касети з інтегрованою мікросхемою пам'яті для збереження списку записаних відеосюжетів: часові коди початку й кінця кожного відеосюжету, монтажні помітки, номери сцен та дублів.

Кадрові на стрічці відповідають 12 похилих рядків-доріжок (для NTSC-10) завширшки 10 мкм, на кожній з яких поряд із записом власне аудіо- та відеоданих, тайм-коду кадру (time-code – година, хвилина, секунда і порядковий номер кадру) та службових даних (IT1 – Insert and Track Information) передбачено можливість запису розширеної інформації про відеозйомку.

DV — це компонентний (YUV) формат зображення сигналу, котрий забезпечує пропускну здатність по горизонталі 500 ліній (для S-VHS – 400, а для Betacam SP – 650 ліній), відношення сигнал/шум – 54 дБ (для Betacam SP – 51 дБ), а також ширину частотного діапазону кольоропередачі – 1,5 МГц (для Betacam

SP – 1,5 МГц, для S-VHS – 0,5 МГц). Отже, він забезпечує професійну якість запису відеосигналу.

DV – це цифровий формат запису, що само по собі гарантує ідентичність кожної копії оригіналу і можливість цифрового редагування відео (до окремих кадрів) без втрати якості. Оцифровування здійснюється з пропускнуою здатністю 720 x 576 відповідно до схеми 4:2:0 (для NTSC – 720x480; 4:1:1). Це означає, що кожний кадр містить 720 x 576 значень яскравості Y і по 360 x 288 значень U та V.

Однак максимальна швидкість відеозйомки (за найкращої якості) навіть у спеціальних професійних відеокамерах, про котрі йтиметься далі, лишається 1000 кадрів за секунду. Саме тому високошвидкісні явища (наприклад виліт кулі, вибухова хвиля, різноманітні ударні взаємодії тощо) досліджуються за допомогою так званої *rapidної зйомки* (швидкість зйомки – 5000 –10 000 кадрів за секунду). Не викликає сумніву, що цей недолік відеозйомки найближчим часом буде усунутий. Наприклад, вже у 1998 р. фірма DEDO WEIGERT FILM (Німеччина) подала на світовий ринок цифрові відеокамери “GEDLAKE Motion Scope”, що мають швидкість зйомки до 8000 кадрів за секунду.

Автоматизовані відеокомп'ютерні системи. Розвиток персональних ЕОМ та відеотехніки у світі у 1990-ті роки надав нового імпульсу удосконаленню засобів автоматизації управління процесом рухів людини. До цього часу у біомеханіці вже був накопичений багатий досвід аналізу рухів людини. Однак його широкомасштабне використання, що базувалося переважно на традиційних кіно- та фотометодах реєстрації рухів, на практиці гальмувалося через складність та об'ємність обчислювальних операцій з обробки кінограм. Тому вдаль поєднання відеометодів реєстрації рухів з високоефективними методами обробки їх результатів, що базуються вже на перевірених численними дослідженнями алгоритмах біомеханічного аналізу, сприяло позитивним результатам.

Найбільшого розвитку цей напрям набув у розвинених країнах заходу, де вже з початку 80-х років відбувається переоснащення матеріальної бази в галузі вимірювань рухових дій людини у режимі “online” (реального часу). Нові

біомеханічні центри відкрилися в Австрії, Греції, Швеції, Чехії, Словаччині, Великій Британії, Південній Кореї. Збільшилася кількість колективів фахівців-біомеханіків, які працюють у країнах, котрим належить науковий пріоритет у цій галузі, – США, Канаді, Японії, Німеччині.

Впровадження у практику передових досягнень біомеханіки викликало зміни методології досліджень, що виявилось у все більшій їх комп'ютеризації на всіх рівнях, розробки та втілення високопродуктивних та недорогих мікрокомп'ютерів. Саме тому важливою відмінністю цих змін стала поява більш ефективних методів вимірювання, складної високоточної вимірювальної апаратури, здатної зафіксувати всі необхідні параметри. На перший план виступають дистанційні та безконтактні методи дослідження. Ці положення визначають на сьогодні у біомеханіці три основні напрями розвитку вимірювальних систем, що базуються на застосуванні

- високошвидкісних відеокамер у комплексі з дешифраторами відеофільмів для персональних комп'ютерів (ПК);
- стаціонарно встановлених динамографічних платформ, що функціонують у природних умовах, з виведенням даних через аналого-цифрові перетворювачі на ПК;
- автоматизованих систем обробки відеограм на базі ПК.

У всіх трьох випадках технологія фіксування та обробки інформації із застосуванням ПК у режимі реального часу дає можливість оперувати великим обсягом даних, причому акцент у дослідженнях спрямований в основному на вивчення моделей техніки спортсменів високого класу. Це послужило основою появи пересувних лабораторій з компактними вимірювальними системами, що дозволяють контролювати рухові дії спортсменів у ході тренувального процесу у природних умовах і щільно підійти до розв'язання проблеми моделювання спортивної техніки. До числа найсучасніших високопродуктивних систем, на наш погляд, сьогодні можна віднести такі:

1. Система аналізу рухів у двох і трьох площинах "ТАКЕ" (Японія), котра може аналізувати рухи тіла людини при зчитуванні з точністю до хвилини, коли кольорові маркери кріпляться на суглоби. Спеціальна кольорова камера має

високошвидкісний затвор, який можна використовувати як сенсор, а камеру сконструйовано таким чином, щоб розпізнавати та визначати кольори кожного маркера, прикріпленого до людини. Ця система вимірює локальні координати маркера зі швидкістю до 60 кадрів за секунду у реальному часі та запам'ятовує результати вимірювання на гнучкому диску. Потім дані вимірювання можуть бути проаналізовані безпосередньо після вимірювання. Зовнішнє роз'яснення системи дозволяє легко приєднувати інші пристрої, включаючи тензоплатформи з синхронізованою базою таким чином, щоб можна було швидко й легко зібрати необхідні додаткові дані. Можлива конфігурація основних блоків у двох варіантах: для аналізу рухів тіла у двох площинах і для аналізу рухів у трьох площинах. Її можливості включають такі операції:

- вимірювання проводяться незалежно від розміру простору, внаслідок чого отримують високоточні та об'єктивні дані (кількість каналів – 4, 8 або 12);

- механізм визначення кольорового маркера виключає необхідність у задньому фоні, тому вимірювання при зчитуванні їхніх координат проводяться у реальних умовах;

- під час вимірювання місцезнаходження рухомих частин тіла висвітлюється на моніторі, тому рухи можна попередньо переглянути:

- дані координат запам'ятовуються на гнучкому диску безпосередньо наприкінці вимірювання, тим самим підвищується ефективність вимірювання;

- дані координат, переміщень, швидкостей, прискорень, кутів, кутових швидкостей графічно відображаються на дисплеї у кольорі; числові дані можуть бути одразу надруковані;

- вимірювання та аналіз можуть проводитися після запису на відеострічку.

1) Система “WCOM-370” (Велика Британія) складається зі станції-сервера бази даних, з'єднаних високошвидкісною мережею з однієї або більше робочих станцій. У системі встановлюється від 4 до 7 відеокамер. Станція даних синхронізує відеокамери та оцифровує у реальному часі зображення пасивних ретрорефлективних (обернено відбиваючих) маркерів, прикріплених на суглоби спортсмена.

Кількість необхідних камер залежить від природи та складності руху, що вивчається. Звичайно використовується не менше 5 камер для трасування білатерального руху у трьох координатах. Конструкція системи дозволяє розміщувати камери у будь-якій конфігурації, що ефективно фіксують об'єкт. Камери обладнані інфрачервоними стробоскопічними джерелами світла. Вони не відволікають уваги досліджуваного та дозволяють використовувати систему у нормальних умовах флюоресцентного освітлення всередині приміщення. До "WCOM-370" за допомогою додаткового аналогового блока можуть бути приєднані динамоплатформи, електроміографи та інші аналогові пристрої. Велика кількість рухів людини успішно вимірюється камерами, котрі працюють зі швидкістю від 50 до 60 кадрів за секунду, що відповідає більшості європейських або американських відеостандартів. Однак для вимірювання високошвидкісних рухів або ударних взаємодій "WCOM-370" пропонує використовувати камери з діапазоном швидкостей до 240 кадрів за секунду.

2) Модульні аналізатори рухів "PEAK-30" та "ОиАІЛЗУЗ" (Канада–США–Німеччина) дозволяють виконати безконтактні вимірювання у сагітальній, поперечній та похилій площинах на базі використання трьох професіональних відеокамер та відеокомп'ютерного інтерфейса, що фіксують траєкторії переміщення біологів за допомогою спеціальних світловідбивачів-маркерів, закріплених на суглобах тіла людини (усього 24 канали; рис. 11). Системи працюють у комплексі з тензоплатформами, електроміографами, електрокардіографами, електроенцефалографами, акселерометрами, лічильниками деформації, електрогоніометрами, датчиками тиску. Швидкість зйомки – до 1000 кадрів за секунду.

3) Автоматизована система обробки відеогам "АСОВ" (Україна, НУФВСУ, кафедра кінезіології) дозволяє не тільки відстежувати та оцифровувати переміщення біологів тіла людини в одноплосинній дії, як у зарубіжних аналогах 1–3, але й виконувати на базі спеціальних програмних продуктів широкий спектр математично-статистичних процедур.



Рис.11. Загальний вигляд досліджуваного зі спеціальними світловідбивачами-маркерами, закріпленими на суглобах тіла

Для кількісного біомеханічного аналізу сьогодні використовується відеокomp'ютерний комплекс “KINEX” (Р. Хальянд, 1989), у котрому стандартний відеотелевізійний блок, що дозволяє відтворювати відеозображення з частотою 50 напівкадрів за секунду, сполучений із системою аналого-цифрового перетворення у комп'ютері (рис. 12).

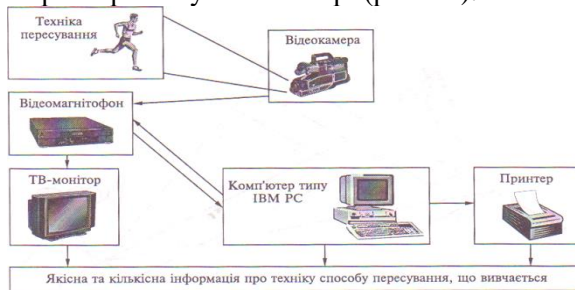


Рис. 12. Блок-схема відеокomp'ютерного комплексу “KINEX”

Зчитування координат точок об'єкта, котрий викликав інтерес, здійснюється зі стоп-кадру відеофільму, відтворюваного на відеомоніторі, за допомогою аналогового перетворювача типу “миша”. Як модель опорно-рухового апарату людини використовується розгалужений кінематичний ланцюг, ланки котрого за геометричними характеристиками відповідають великим сегментам тіла людини, а точки відліку координат — основним суглобам (усього 18 точок). Програмне

забезпечення комп'ютера-відеоаналізатора дозволяє розраховувати кінематичні параметри руху будь-якої оцифрованої (занесеної до пам'яті) точки як у соматичній, так і в інерціальній системі координат.

Реєстрація положень тіла у русі (рис. 13) здійснюється відеокамерами типу JVC GF-500 зі стандартною швидкістю відеозйомки для системи VHS.

Враховуються всі метрологічні вимоги, що дозволяють звести до мінімуму систематичні та випадкові похибки, котрі виникають внаслідок специфічних якостей оптики, правильного масштабування площини зйомки для наступного визначення реальних координат необхідних точок, відповідним орієнтуванням камери у просторі відносно площини руху. Для зменшення похибок вимірювань просторових характеристик під час руху людини при зйомці використовується високошвидкісний електронний режим, що дозволяє знімати з витримкою 0,001 с. Зменшення похибки обчислень часових та просторово-часових характеристик, пов'язаних зі швидкістю протягування плівки та випадковими помилками оператора при покадровому "гортанні" зображення на відеокомп'ютерному комплексі, здійснюється за рахунок кодування відеосигналу під час відеозапису, котрий згодом при скануванні розпізнається та зчитується відео-комп'ютером.

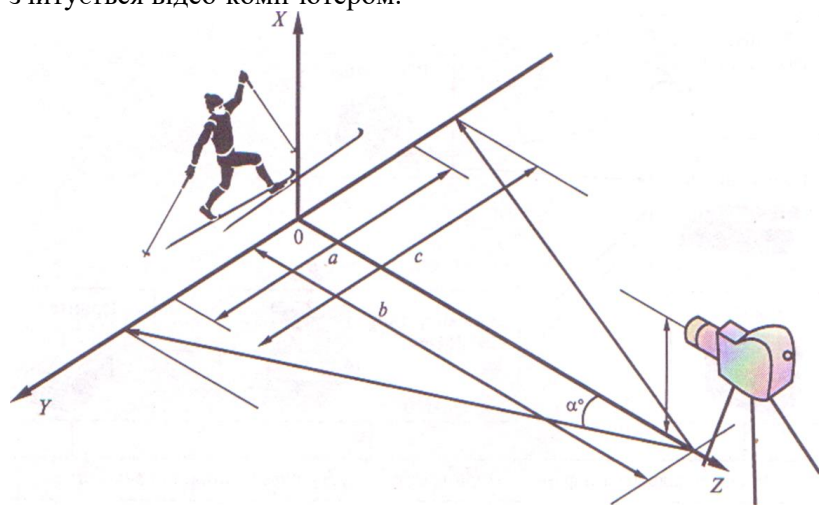


Рис. 13. Умови відеозйомки

Аналіз існуючих розробок у даній галузі дозволяє зробити висновок, що безконтактні оптико-електронні методи відеокомп'ютерного аналізу мають найбільші перспективи щодо

- втілення у теорію та практику біомеханіки рухів людини;
- отримання об'єктивної кількісної інформації про рухову діяльність;
- ефективного управління руховою структурою складнокоординатних вправ у спортсменів вищих розрядів;
- визначення нових педагогічних засобів в управлінні рухами.

Питання та завдання для самоконтролю

1. Розкрити основні елементи блок-схеми вимірювальної системи.
2. Навести класифікацію інструментальних методів вимірювання кількісних параметрів рухів.
3. Дати характеристику контактних (механоелектричних) методів вимірювання.
4. Дати характеристику безконтактних (оптичних, оптико-електронних) методів вимірювання.
5. Розповісти про теоретичні основи електротензодинамометрії; охарактеризувати основні елементи блок-схеми універсального електротензодинамометричного комплексу.
 - Розповісти про універсальні та окремі методи електротензодинамометрії.
 - Назвати умови стійкості тіла людини, види та управління збереженням положення рівноваги.
 - Що таке стабілографія, стабілограма? З чого складається стабілографічний вимірювальний комплекс?
 - Яке має значення і як діє апаратурно-програмний комплекс для реєстрації та аналізу біомеханічних якостей скелетних м'язів людини за методом міотонографії?
 - Що таке електроміографія? З чого складається вимірювальний комплекс?

- Назвати типи ЕМГ-електродів. Розказати про монополярне та біполярне відведення.
 - Назвати основні напрями використання електроміографії.
 - Назвати види прискорень та особливості застосування акселерометрів.
 - Розповісти про п'єзоелектричний акселерометр.
 - Розповісти про конструкцію та принципи дії трикомпонентного акселерометра.
 - Які є методи реєстрації суглобних переміщень?
 - Яка будова та принцип роботи гоніометричного датчика?
 - Розповісти про схему підключення та тарування електрогоніометричних пристроїв.
 - Як вимірюються кривини хребта за допомогою електрогоніометричних пристроїв?
 - Навести класифікацію безконтактних методів контролю (оптичних та оптико-електронних).
 - Який принцип роботи сучасних цифрових фотоапаратів?
 - Як отримати фотограму, кінограму, стробофотограму?
 - Які переваги швидкісної кінозйомки у вимірюваннях рухів людини?
 - Розповісти про принцип роботи фотоелектронних методів дослідження.
 - Яка різниця у методах телебачення та під час відеозапису?
 - Який принцип дії сучасних відеокomp'ютерних систем у вимірюваннях рухів людини?
 - Як отримати відеограму?
- Питання з альтернативною відповіддю*
- Датчик — це реєструючий прилад.
Правильно Неправильно
 - Блок-схема реєструючого комплексу складається з підсилювача та реєстратора.
Правильно Неправильно
 - Є реостатні тензодатчики.
Правильно Неправильно
 - Електротензодинамометрія – метод реєстрації сили при взаємодії людини з опорою.
Правильно Неправильно

- Стабілограма характеризує стійкість тіла людини.
Правильно Неправильно
- Жорсткість та демпферність м'язів вимірюються міотонометрами.
Правильно Неправильно
- В електроміографії використовуються п'єзодатчики.
Правильно Неправильно
- Для вимірювання прискорень біоланок тіла людини найкраще використовувати три площинні акселерометри.
Правильно Неправильно
- Гоніометрія – метод реєстрації електричної активності скелетних м'язів.
Правильно Неправильно
- Кривину хребта можна виміряти механічним гоніометром.
Правильно Неправильно
- В усіх оптичних методах використовується фотографічний процес.
Правильно Неправильно
- Кінограму можна отримати за допомогою фотозйомки.
Правильно Неправильно
- Кінозйомку можна використовувати у режимі "on-line" (реального часу) при вимірюваннях кількісних характеристик руху.
Правильно Неправильно
- Маркер – це спеціальний кристал, що відбиває світло.
Правильно Неправильно
- Відеограма – це модель тіла людини.
Правильно Неправильно
- До складу сучасної відеокомп'ютерної системи входить спеціальна відеокамера, персональний комп'ютер з відеоінтерфейсом, пакет прикладних програм для обробки зображень та побудови відеограм.
Правильно Неправильно
- Тільки за допомогою відеометрії можна вивчати змагальну діяльність спортсмена.
Правильно Неправильно
- У відеометрії можна проводити зйомку зі швидкістю 20

000 кадрів за секунду.

Правильно *Неправильно*

• Найбільші переваги у вимірюваннях кількісних характеристик рухів тіла людини мають безконтактні методи.

Правильно *Неправильно*

• Оцифровування зображень виконується за допомогою цифрових реєструючих приладів.

Правильно *Неправильно*

Тема 5. БІОМЕХАНІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ

Для об'єктивного аналізу рухів та рухових дій людини необхідно використовувати відомі біомеханічні дані про її руховий апарат як про матеріальну систему процесу рухів її тіла. Пропоновані теоретичні матеріали (зокрема класифікація рухової системи, використовувані в ній термінологічні та графічні позначення, рівняння, методи розрахунків та аналізу пар, ланцюгів рухових механізмів) дозволяють розв'язати багато завдань із визначення біокінематичної структури практично будь-якого рухового акту.

Опорно-руховий апарат (ОРА) – це система кісткових важелів, що приводиться у дію м'язами. Руховий апарат людини, з погляду біомеханіки, являє собою систему біокінематичних ланцюгів, усі ланки котрого об'єднані у біокінематичні пари і мають між собою зв'язки, що визначають їх зовнішню свободу рухів.

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

незв'язаного тіла ($1 < s < 5$). Кількість ступенів свободи у будь-якій біокінематичній парі рухового апарату (Н) визначають виходячи із залежності між числом умов зв'язку у парі та загальними можливостями руху у тривимірному просторі:

$$H=6-S.$$

Якщо враховувати, що кількість умов зворотного зв'язку біоланок теоретично можлива тільки у межах від 1 до 5, то слід було б виділити біокінематичні пари п'яти класів. Тоді з попереднього рівняння можна було б визначити число зв'язків практично будь-якої біокінематичної пари рухового апарату людини.

Таким чином, біокінематична пара I класу мала б п'ять ступенів свободи рухів ланок, II класу – чотири, III класу – три, IV класу – два, пара V класу мала б тільки один ступінь свободи рухів. У руховому апараті немає жодної біокінематичної пари I та II класу. Таким чином, можна констатувати, що жодна з ланок не має чотирьох, а тим більше п'яти ступенів свободи руху щодо своєї пари. Ланки біокінематичних пар мають максимум три ступеня свободи щодо своєї пари, тому при класифікації їх можна віднести до пар III класу. Такими парами є плече й лопатка, зчленовані у плечовому суглобі, та деякі інші. Біокінематичними парами IV класу слід, зокрема, вважати передпліччя та кисть, зчленовані у променевоzap'ястковому суглобі. Класифікація біокінематичних пар за класами передбачає також урахування усіх рухів тіла, що спричинює необхідність більш дрібного поділу в кожній парі. Зважаючи на те, що пар I та II класів в руховому апараті людини не виявлено, розглянемо можливі відмінності біокінематичних пар III, IV та V класів.

Усі можливі рухомі пари III класу теоретично можна поділити на чотири види: перший дозволяє виконати тільки три обертальні рухи ланок, другий – два обертальні і один поступальний, третій – один обертальний та два поступальні, четвертий – три поступальні рухи. За даними біомеханічних досліджень, серед біокінематичних пар III класу у людини є пари тільки першого виду, оскільки в усіх зчленуваннях з парами цього класу за звичайних умов можливі тільки три обертальні рухи.

Пари IV класу також можна поділити на три види. У парах першого виду цього класу можливі тільки два обертальні рухи, другого виду – один обертальний та один поступальний і третього – два поступальні рухи ланок. У руховому апараті людини за звичайних умов серед пар четвертого класу зустрічаються пари тільки першого виду.

Рухомі пари V класу теоретично можуть бути усього двох видів. Перший вид має один обертальний рух, другий – один поступальний рух ланок.

У біокінематичних парах V класу у людини зустрічаються переважно пари першого виду, хоча за певних умов можна припустити наявність пари і другого виду. Щодо пар VI класу можна припустити відсутність можливих рухів у них.

Згідно з наведеними даними, біокінематичні пари опорно-рухового апарату структурно і функціонально об'єднані у біокінематичні ланцюги. Цей принцип організації у руховому відношенні видається надзвичайно вигідним та раціональним.

Біокінематичним ланцюгом слід вважати зв'язані між собою біокінематичні пари з урахуванням їх природного місця в опорно-руховому апараті та біологічної ролі, що філогенетично склалася, в організмі людини. Морфологічно ці ланцюги визначаються як прості або складні залежно від того, кільком парам належать їх ланки. У простому біокінематичному ланцюгу кожна ланка є елементом не більше двох пар; складний ланцюг може включати біоланки, що входять у три і більше кінематичні пари.

Прості та складні рухомі ланцюги можуть бути також замкненими й незамкненими. До замкнених біокінематичних ланцюгів належать біоланки, котрі входять не менше ніж у дві біокінематичні пари. Незамкнені біокінематичні ланцюги містять біоланки, що входять тільки в одну рухому пару.

Кількість ступенів свободи руху біокінематичних ланцюгів опорно-рухового апарату людини (H) відповідно до урахування числа пар I класу (B_1), II класу (B_2), III класу (B_3), IV класу (B_4), V класу (B_5) та VI класу (B_6). З усіх можливих ступенів свободи ланок біокінематичного ланцюга, що розглядається, виключаються ступені свободи, що зумовлені наявністю відповідного числа умов зв'язку.

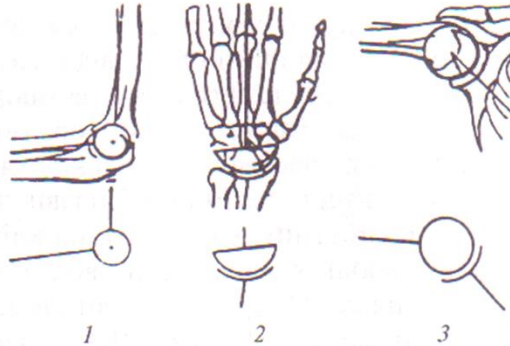


Рис. 14. Графічне зображення біокеніматичних пар: 1 – ліктьовий суглоб; 2 – суглоб кисті; 3 – плечовий суглоб.

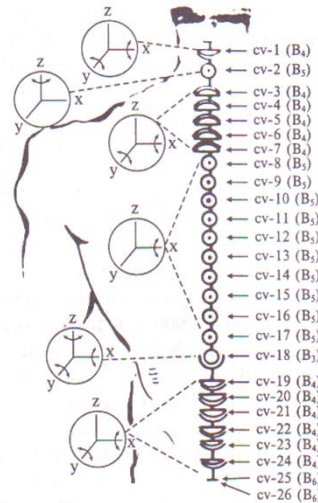


Рис. 15. Біокеніматичні пари хребтового стовпа

Таким чином, враховуючи парність нижніх кінцівок, у системі їхніх біокінематичних ланцюгів можна встановити 82 пари, котрі, як і у верхніх кінцівках, можуть брати участь у найрізноманітніших механізмах та утворювати численні ланцюги.

Загальне число пар у верхніх та нижніх кінцівках не дуже

відрізняється (відповідно 86 та 82), а в усьому єдиному біокінетичному ланцюгу ВКС їх 246 (може бути виділено ще кілька пар, котрі, однак, не відіграють суттєвої ролі у рухах людини й тому не включені до даної біокінематичної класифікації).

Для здійснення більшості довільних ізольованих рухів організм не використовує повністю свої рухові можливості. Більше того, для виконання висококоординованих фізичних вправ спортсмену необхідно подолати так звані надмірні ступені свободи руху тих або інших біоланок тіла.

З цих позицій будь-який біокінематичний ланцюг опорно-рухового апарату за певних кінематичних умов (коли початковий рух однієї або кількох біоланок викликає рухи інших, що однозначно визначаються) слід розглядати як специфічний локомоторний біомеханізм. Це відбувається кожний раз, коли аналітико-синтетична діяльність нервової системи спрямована на розв'язання певних рухових завдань (ходьба, біг, стрибки, удар по м'ячу у футболі, удар у боксі, складні гімнастичні комбінації тощо). На відміну від технічних, постійних механізмів, в опорно-руховому апараті можуть виникати найрізноманітніші рухові механізми з переміщеннями біоланок, що однозначно визначаються. Так, біомеханічні ланцюги верхніх кінцівок можуть бути використані людиною у локомоторних механізмах, спортивній, трудовій та військовій практиці.

Будова апарату рухів та висока рухова активність людини сприяли тому, що вона навчилася “створювати” зі своїх біокінематичних пар та ланцюгів величезну кількість локомоторних біомеханізмів, необхідних для життєдіяльності, праці, спорту тощо.

Для ефективного розв'язання рухового завдання, зокрема при виконанні фізичної вправи, спортсмен має реалізувати певну конкретну кінематичну структуру власних локомоторних механізмів. Аналізуючи ті чи інші рухові дії людини за біомеханічною схемою, необхідно у викладеній послідовності розглянути усі можливі якості біоланок, пар, ланцюгів та цілих рухових біомеханізмів.

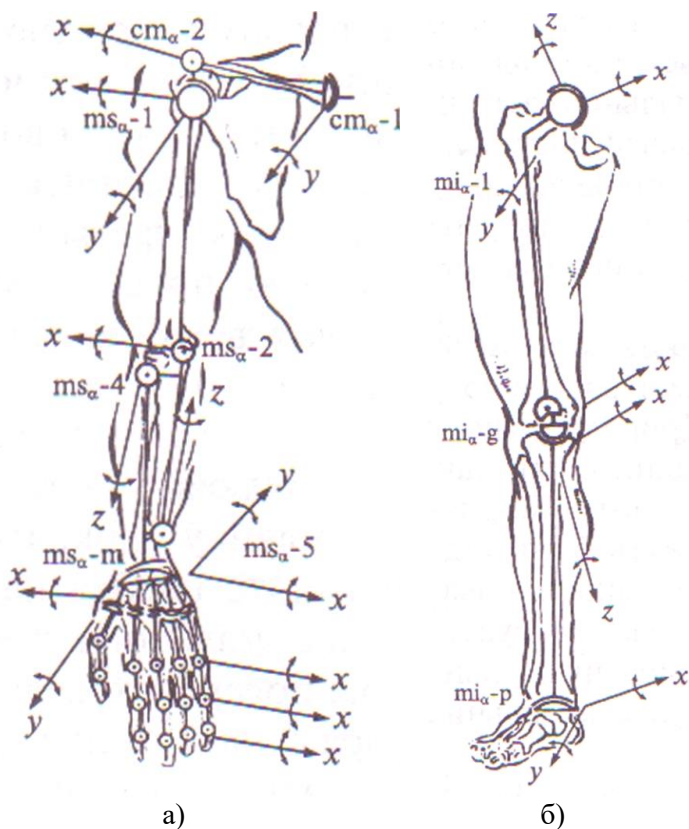


Рис. 16. Біокінематичний ланцюг: а) верхньої кінцівки; б) нижньої кінцівки.

Питання та завдання для самоконтролю

1. Що таке ОРА людини?
2. Що обмежує рухомість кожної біоланки у парі?
3. Як визначити кількість ступенів свободи у будь-якій біокінематичній парі?
4. Чим відрізняються одна від одної біокінематичні пари III, IV, V класів?
5. Що таке біокінематична пара і скільки біокінематичних пар в ОРА людини?
6. Що таке біокінематичний ланцюг?

7. Чим відрізняються один від одного прості й складні біокінематичні ланцюги?

8. Чим відрізняються один від одного замкнені й незамкнені біокінематичні ланцюги?

9. Як визначається число ступенів свободи руху біокінематичних ланцюгів ОРА людини?

10. Визначіть кількість біокінематичних пар хребетного стовпа.

11. Визначіть кількість біокінематичних пар верхніх та нижніх кінцівок.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Вивчення загальних закономірностей будови рухових систем біологічних об'єктів, їхніх органів та рухів є предметом:

- a) Анатомії та фізіології
- b) Конкретних завдань біомеханіки
- c) Загальної біомеханіки
- d) Теорії та методики фізичного виховання

2. Представниками “фізіологічного” напрямку розвитку біомеханіки є:

- a) І.М. Сеченов, І.П. Павлов, А.А. Ухтомський, Н.А. Бернштейн
- b) Ф.П. Лесгафт, Т.Г. Темерівський, І.П. Павлов
- c) А.М. Лапутін, Б.М. Шиян, І.М. Сеченов, П.К. Анохін
- d) Усі вищеперераховані вчені

3. “Фізіологічний” напрямок розвитку біомеханіки за основу використовує ідеї:

- a) Оптичного методу вимірювання застосованих сил, фото-, кіно- та стробозйомки
- b) Способу реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів
- c) Рефлекторної природи рухових дії і механізмів нервової регуляції при взаємодії організму і середовища, нервізму, результати розвитку вчення про вищу нервову діяльність та нейрофізіологію
- d) Усі відповіді правильні

4. Українськими вченими під керівництвом А.М. Лапутіна було розроблено:

- a) Автоматизовану систему управління спортивно-технічним навчанням та руховим удосконаленням
- b) Перші біометричні вимірювання важелів опорно-рухового апарату
- c) Способи моделювання рухового апарату у реальних умовах функціонування організму, вивчення кінематичних зв'язків, які обмежують свободу рухів
- d) Усі відповіді правильні

5. Процедура аналізу рухової діяльності в біомеханіці

складається з:

- a) Вивчення зовнішньої картини рухової діяльності та причин, що викликають і змінюють рухи
- b) Вивчення кінематики, просторової форми і характеру рухів, отримуючи їхній зовнішній опис
- c) Вимірювання прискорення загального центра маси тіла людини та окремих його біоланок при виконанні рухів
- d) Вивчення руху умовної лінії, котру описує точка, що рухається у просторі

6. До інструментальних методів дослідження у біомеханіці відносяться:

- a) Лекційні, семінарські та практичні заняття
- b) Кінематичний та динамічний аналіз рухової діяльності
- c) Теорія імовірності та статистика
- d) Контактні та безконтактні (оптичні та оптико-електронні) методи реєстрації рухової діяльності

7. В біомеханіці соматична система координат визначається як:

- a) Система координат, що визначає положення тіла людини у просторі та є географічною координатною системою відліку
- b) Пов'язана з тілом людини, визначає положення біокінематичних ланок відносно всього тіла людини, місцем розміщення її центру є антропометрична поперекова точка, розташована на вершині остистого відростка 5-го поперекового хребця
- c) Система координат, яка визначає зміну положень тіла людини у просторі щодо інших тіл з плином часу
- d) Система біокінематичних ланок хребетного стовпа місцем розміщення її центру є антропометрична поперекова точка, розташована на вершині остистого відростка 5-го шийного хребця

8. До просторово-часових характеристик руху належать:

- a) Швидкість, прискорення, шлях руху та форма руху
- b) Швидкість, прискорення, сила, момент сили, робота, потужність, енергія
- c) Темп, тривалість, ритм руху та момент часу
- d) Траєкторія, форма та шлях руху

9. Часова міра співвідношення частин руху – це:

- a) Ритм руху
- b) Темп руху
- c) Тривалість руху
- d) Момент руху

10. Часова міра, котра вимірюється різницею моментів часу завершення і початку руху, – це:

- a) Ритм руху
- b) Темп руху
- c) Тривалість руху
- d) Момент руху

11. Часова міра, яка вимірюється кількістю рухів, що повторюються, за одиницю часу (частота рухів), – це:

- a) Ритм руху
- b) Темп руху
- c) Тривалість руху
- d) Момент руху

12.3 погляду біомеханіки, положення тіла визначається:

a) Фіксацією окремих відносно рухомих ланок тіла людини, яка пов'язана з соматичною системою координат

b) Фіксацією усієї його біомеханічної системи відносно системи відліку, яка пов'язана з тілами навколишнього середовища

c) Збереженням такого положення тіла, коли сили, що діють на нього, зрівноважені

d) Силою, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс

13. Біокінематичний ланцюг – це:

a) Система кісткових важелів, що приводиться у дію м'язами

b) Рухливе (кінематичне) з'єднання двох кісткових ланок, в якому можливості рухів визначаються будовою з'єднання та керуючим впливом м'язів

c) Послідовне або розгалужене з'єднання ряду біокінематичних пар

d) Спрощена модель тіла людини, яку відображають у біомеханічних дослідженнях

14. Біокінематичний ланцюг буває:

- a) Простий та складний
- b) Відкритий та закритий

- c) Розщеплений та зацеплений
- d) Усі відповіді правильні

15. Біокінематичні пари V класу у людському організмі можуть виконувати наступні типи рухів:

- a) Один обертальний чи один поступальний рух
- b) Три обертальні рухи ланок
- c) Два обертальні і один поступальний рух
- d) Усі відповіді правильні

16. В єдиному біокінематичному ланцюгу людського тіла існує:

- a) 246 біокінематичних пар, які беруть участь у рухах людини
- b) 206 кісткових ланок
- c) 200 суглобів
- d) Усі відповіді правильні

17. Властивість м'яза при збудженні скорочуватися, тобто при тому ж навантаженні і напрузі коротшати, у результаті чого виникає сила тяги – це:

- a) Скороченість м'яза
- b) Повзучість м'яза
- c) Релаксація м'яза
- d) Усі відповіді правильні

18. Властивість м'яза розтягуватись під дією навантаження – це:

- a) Скороченість м'яза
- b) Повзучість м'яза
- c) Релаксація м'яза
- d) Усі відповіді правильні

19. Властивість м'яза, що проявляється у поступовому зменшенні сили тяги при постійній довжині м'яза, – це:

- a) Скороченість м'яза
- b) Повзучість м'яза
- c) Релаксація м'яза
- d) Усі відповіді правильні

20. Гранична поза в біомеханіці – це:

a) Найменший елемент системи руху, який за змістом розв'язує визначене завдання і володіє відносно самостійним значенням

b) Найменший часовий елемент, який включає всі рухи від початку до кінця і вирішує певне завдання

c) Найбільш сформовані і визначальні закономірності взаємодії підсистем рухів

d) Поза тіла в момент зміни двох фаз

21.Об'єктом пізнання в біомеханіці є:

a) Будова опорно-рухового апарату

b) Визначення топології працюючих м'язів

c) Активні рухи та збереження положень тіла

d) Визначення ступеня вільності

22.Представниками “функціонально-анатомічного” напрямку розвитку біомеханіки є:

a) П.Ф. Лесгафт, М.Ф. Іваницький, А.А. Гладишев

b) І.П. Павлов, П.К. Анохін, Д. Бореллі

c) А.М. Лапутін, В.О. Кашуба, В.П. Чабаненко

d) Усі вище перераховані вчені

23.“Функціонально-анатомічний” напрям розвитку біомеханіки характеризується:

a) Відношенням моменту стійкості до перекидного моменту при стійкому положенні рівноваги

b) Описовим аналізом рухів у суглобах, визначенням участі м'язів при збереженні положення тіла та в рухах, реєстрацією електричної активності м'язів, визначенням часу і ступеня участі м'язів у рухах, узгодження активності окремих м'язів та груп м'язів

c) Способом реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів

d) Методом реєстрації кутових переміщень у суглобах

24.Видатний російський вчений П.Ф. Лесгафт займався вивченням:

a) Способу реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів

b) Теорії тілесних рухів, визначення участі м'язів у рухах

c) Інструментальних методів вимірювання рухів, використання інерційних акселерометрів, гоніометричних вимірювальних систем, інших пристроїв та технічних засобів

d) Усі відповіді правильні

25.Дослідження в біомеханіці поділяються на наступні

етапи:

a) Реєстрація даних, обробка результатів реєстрації та їхній біомеханічний аналіз

b) Вивчення форми та характеру рухів, визначення їхньої кінематичної структури, пов'язаної з динамікою та механізмом рухів

c) Визначення елементів суглобних рухів ланок і систем ланок, елементів та фаз рухів

d) Вивчення кінематики, просторової форми і характеру рухів, отримуючи їхній зовнішній опис

26.Спосіб реєстрації біоелектричної активності скелетних м'язів називається:

a) Електроміографія

b) Стабілографія

c) Гоніометрія

d) Усі відповіді правильні

27.При визначенні біомеханічного положенні у соматичній системі координат, вісь X:

a) Проходить через хребетний стовп людини та відповідає напрямку істинної просторової вертикалі

b) Проходить у фронтальній площині тіла та перетинає хребетний стовп у ділянці 5-го поперекового хребця

c) Є будь-якою лінією у просторі та визначається, відповідно, двома числовими координатами

d) Проходить у сагітальній площині тіла та перетинає хребетний стовп у ділянці 5-го поперекового хребця

28.У біомеханіці до просторових характеристик руху належать:

a) Швидкість, прискорення, шлях руху та форма руху

b) Траєкторія, форма та шлях руху

c) Темп, тривалість, ритм руху та момент часу

d) Швидкість, прискорення, сила, момент сили, робота, потужність, енергія

29.Кутова швидкість руху тіла – це:

a) Міра швидкості зміни кутового положення тіла, яка за величиною дорівнює першій похідній за часом від кутового переміщення

b) Криволінійний рух, що безперервно змінює свій напрямок

відповідно до траєкторії

с) Просторово-часова міра руху, яка визначається як перша похідна за часом від рівняння руху у системі відліку, що розглядається

д) Часова міра положення тіла щодо початку відліку

30. У біомеханіці поза тіла визначається:

а) Фіксацією усієї його біомеханічної системи відносно системи відліку, яка пов'язана з тілами навколишнього середовища

б) Фіксацією окремих відносно рухомих ланок тіла людини, яка пов'язана з соматичною системою координат

с) Збереженням такого положення тіла, коли сили, що діють на нього зрівноважені

д) Силою, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс

31. Біокінематична пара – це:

а) Система кісткових важелів, що приводиться у дію м'язами

б) Система біокінематичних ланцюгів, які утворюють біокінематичні пари і мають між собою зв'язки, що визначають зовнішню свободу рухів

с) Рухливе (кінематичне) з'єднання двох кісткових ланок, в якому можливості рухів визначаються будовою з'єднання та керуючим впливом м'язів

д) Спрощена модель тіла людини, яку відображають у біомеханічних дослідженнях

32. Біокінематичні пари IV класу у людському організмі можуть виконувати наступні типи рухів:

а) Два обертальні рухи та один поступальний типи рухів

б) Два обертальні рухи

с) Один обертальний та два поступальні рухи

д) Три обертальні рухи

33. В єдиному біокінематичному ланцюгу людського тіла існує:

а) 246 біокінематичних пар, які беруть участь у рухах людини

б) 206 кісткових ланок

с) 200 суглобів

д) Усі відповіді правильні

34. питанням вивчення біомеханіки є:

- a) Гігієнічні умови життєдіяльності людини
- b) Зміни, що відбуваються в організмі під впливом систематичних занять фізичними вправами
- c) Механічні та біологічні причини виникнення рухів в їхній єдності та особливості їхнього виконання
- d) Педагогічні впливи, спрямовані на особу під час тренувально-змагальної діяльності

35. Представниками "механічного" напрямку розвитку біомеханіки є:

- a) Д. Бореллі, В. Браун, О. Фішер, Ж. Марей, Ж. Демені
- b) А.М. Лапутін, В.І Боровник, І.М. Сеченов
- c) І.П. Павлов, А.А. Ухтомський, Ф.П. Лесгафт
- d) Всі вищеперечислені вчені

36. Основним предметом вивчення "механічного" напрямку розвитку біомеханіки були:

- a) Особливості будови опорно-рухового апарату та функції організму як біомеханічної системи
- b) Визначення кількісних характеристик рухової діяльності з позицій механіки
- c) Функціональна діяльність руху людини
- d) Усі відповіді правильні

37. Внесок М.О. Бернштейна у розвиток біомеханіки полягає в:

- a) Об'єднанні у єдину систему анатомічні, фізіологічні, психологічні, фізичні та інші знання і на цій основі синтезував нову сучасну біомеханіку
- b) Вивченні розподілу мас у тілі людини та моментів інерції під час рухів щодо обраної площини
- c) Розробці методики, котра дозволяє вимірювати прискорення загального центра маси тіла людини та окремих його біоланок при виконанні рухів
- d) Розробка методу реєстрації кутових переміщень у суглобах

38. Постановка завдання біомеханічного дослідження визначає:

- a) Що вивчати, на якому об'єкті, у яких умовах збирати, реєструвати та обробляти дані

б) Вивчати кінематику, просторову форму і характер рухів, отримуючи їхній зовнішній опис

с) Системно-структурний підхід до розгляду явищ і процесів як конкретизацію діалектико-матеріалістичного розуміння

д) Кількісні характеристики рухової діяльності, власне процесів рухової дії та їхнього розвитку

39. Біомеханічні оптичні та оптико-електронні методи реєстрації ґрунтуються на принципах:

а) Перетворення вимірюваної в певний спосіб фізичної величини в електричний сигнал

б) Вимірювання прискорення тіла людини та окремих його біоланок при виконанні рухів

с) Визначенні просторово-часової міри рухової діяльності опорно-рухового апарату

д) Передачі інформації на реєструючий пристрій квантами випромінювання

40. Вісь У соматичної системи координат у біомеханіці:

а) Проходить через хребетний стовп людини та відповідає напрямку істинної просторової вертикалі

б) Проходить у сагітальній площині тіла та перетинає хребетний стовп у ділянці 5-го поперекового хребця

с) Є будь-якою лінією у просторі та визначається, відповідно, двома числовими координатами

д) Проходить у фронтальній площині тіла та перетинає хребетний стовп у ділянці 5-го поперекового хребця

41. До часових характеристик руху біомеханіки належать:

а) Швидкість, прискорення, шлях руху та форма руху

б) Темп, тривалість, ритм руху та момент часу

с) Траєкторія, форма та шлях руху

д) Швидкість, прискорення, сила, момент сили, робота, потужність, енергія

42. У біомеханіці швидкість руху тіла – це:

а) Просторово-часова міра руху, яка визначається як перша похідна за часом від рівняння руху у системі відліку, що розглядається

б) Криволінійний рух, що безперервно змінює свій напрямок відповідно до траєкторії

с) Міра швидкості зміни кутового положення тіла, яка за

величиною дорівнює першій похідній за часом від кутового переміщення

d) Часова міра положення тіла щодо початку відліку

43. Під рівновагою у статиці розуміють:

a) Фіксацію усієї його біомеханічної системи відносно системи відліку, яка пов'язана з тілами навколишнього середовища

b) Збереження такого положення тіла, коли сили, що діють на нього, зрівноважені

c) Фіксацію окремих відносно рухомих ланок тіла людини, яка пов'язана з соматичною системою координат

d) Силу, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс

44. Опорно-руховий апарат з погляду біомеханіки – це:

a) Система біокінематичних ланцюгів, які утворюють біокінематичні пари і мають між собою зв'язки, що визначають зовнішню свободу рухів

b) Умовно обране тверде тіло, відносно якого визначають положення інших тіл у різні моменти часу

c) Рухоме з'єднання двох ланок

d) Це об'єднання живих об'єктів (органів, тканин і т.п.), що характеризуються загальними особливостями в прояві законів механічного руху, а також загальними особливостями способів керування ними, участі в цих рухах або в їхньому використанні.

45. Незамкнений біокінематичний ланцюг – це:

a) Система кісткових важелів, що приводиться у дію м'язами

b) Спрощена модель тіла людини, яку вирисовують у біомеханічних дослідженнях

c) Послідовне або розгалужене з'єднання ряду біокінематичних пар

d) Такий ланцюг, в якому є остання ланка, що входить лише в одну пару

46. Біокінематичні пари III класу у людському організмі можуть виконувати наступні типи рухів:

a) Два обертальні рухи та один поступальний типи рухів

b) Три обертальні рухи

c) Один обертальний та два поступальні рухи

d) Усі відповіді правильні

47. В єдиному біокінематичному ланцюгу людського тіла існує:

- a) 246 біокінематичних пар, які приймають участь у рухах людини
- b) 1002 біокінематичних пари, які беруть участь у рухах людини
- c) 25 біокінематичних пар, які беруть участь у рухах людини
- d) 525 біокінематичних пар, які беруть участь у рухах людини

48. Пози тіла в момент зміни фаз (на межі двох фаз) називають:

- a) Позами відносної рухової дії
- b) Елементарними позами
- c) Граничними позами
- d) Немає правильної відповіді

49. У біомеханічному дослідженні реєстрація даних, обробка результатів дослідження та біомеханічний аналіз – це:

- a) Етапи дослідження
- b) Завдання дослідження
- c) Методи дослідження
- d) Усі відповіді правильні

КЛЮЧІ ДО ТЕСТІВ:

1.	С	11.	В	21.	С	31.	С	41.	В
2.	А	12.	В	22.	А	32.	В	42.	А
3.	А	13.	С	23.	В	33.	D	43.	В
4.	А	14.	А	24.	В	34.	С	44.	А
5.	В	15.	А	25.	А	35.	А	45.	D
6.	D	16.	D	26.	А	36.	В	46.	D
7.	В	17.	А	27.	В	37.	А	47.	А
8.	В	18.	В	28.	В	38.	А	48.	С
9.	А	19.	С	29.	А	39.	D	49.	А
10.	С	20.	D	30.	В	40.	В		

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ахметов Р.Ф. Біомеханіка фізичних вправ: навчальний посібник. Житомир: Житомирський державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2004. 124 с.
2. Ашанин В. С. Биомеханика : [учеб. пособие] / Ашанин В.С. – Харьков : ХаГИФК, 2000. Ч. 1. Общая биомеханика (курс лекций и методические указания к решению задач). 64 с.
3. Біомеханіка спорту : навч. посіб. / за заг. ред. А.М. Лапутіна. – Київ : Олімп. література, 2001. 318 с.
4. Біомеханіка фізичного виховання і спорту : навч. посіб. / Носко М. О., Бріжатиї О. В., Гаркуша С. В., Бріжата І. А. Київ : [МП Леся], 2012. 286 с.
5. Біомеханіка: навчально-методичний посібник / укл. Мединський С.В. Чернівецький нац. ун-т, 2004. 138 с.
6. Біомеханічні аспекти руховий якостей : вибрані лекції з кінезіології : метод. посіб. для студ. ЛДУФК / О. Ю. Рибак, Л.І. Рибак. Львів : ЛДУФК, 2012. Ч. 1. 72 с.
7. Вибрані лекції з кінезіології : метод. посіб. / розроб.: Олег Юрійович Рибак, Людмила Іванівна Рибак. Львів : ЛДУФК, 2009. Ч. 1 : Біомеханічні аспекти рухових якостей. 109 с.
8. Кашуба В. Biological preconditions for the development of the formation concept of spatial organization of body of the children with vision deprivation / Віталій Кашуба, Світлана Савлюк // Journal of Education, Health and Sport formerly Journal of Health Sciences. Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz. Poland, 2017. Vol. 7. N 7. S. 1095–1112.
9. Кашуба В. А. Биомеханика осанки : монографія / В.А. Кашуба. Киев : Наук. світ, 2002. 278 с.
10. Кашуба В. А., Адель Бенжедду Профилактика и коррекция нарушений пространственной организации тела человека в процессе физического воспитания. К.: Знання України, 2005. 158 с.
11. Кашуба В. А., Бондарь Е. М., Гончарова Н.Н., Носова Л.Н. Формирование моторики человека в процессе онтогенеза: монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 232 с.

12. Кашуба В. О., Голованова Н. Л. Інноваційні технології в процесі професійноприкладної фізичної підготовки учнівської молоді : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 208 с.

13. Кашуба В. О., Попадюха Ю. А. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень: монографія. К.: Центр учбової літератури, 2018. 768 с.

14. Кашуба В. Структура та зміст технології профілактики й корекції порушень просторової організації тіла дітей 6–10 років із депривацією сенсорних систем : Structure and content of the technology of prevention and correction of disturbances of spatial organization of the body of children 6-10 years old with sensory systems deprivation / Віталій Кашуба, Світлана Савлюк // Journal of Education, Health and Sport formerly Journal of Health Sciences. Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz. Poland, 2017. Vol. 7. № 8. S. 1387–1407.

15. Кашуба В., Бибик Р., Носова Н. Контроль состояния пространственной организации тела человека в процессе физического воспитания: история вопроса, состояние, пути решения / Молодіжний наук. вісник Волинського нац. ун-ту ім. Л. Українки. Фізичне виховання і спорт. Луцьк : Волин.нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. Вип. 7. С. 10-19.

16. Кашуба В.А. Биомеханика осанки. Киев: Олимпийская литература, 2003. 260 с.

17. Клінічна біомеханіка / під ред. В. І. Філатова. Л.: Медицина, 1980.

18. Лапутин А. Н. Гравитационная тренировка. Київ: Знання, 1999. 315 с.

19. Лапутин А. Н., Кашуба В. А. Формирование массы и динамика гравитационных взаимодействий тела человека в онтогенезе. Київ: Знання, 1999. 202 с.

20. Лапутин А. Н., Кашуба В. А., Сергиенко К. Н. Технология контроля двигательной функции стопы школьников в процессе физического воспитания Київ: Дія, 2003. 68 с.

21. Лапутін А. М., Кашуба В. О. Динамічна анатомія: навчальна програма для вузів фізичного виховання та спорту. Київ, Науковий світ, 2000. 12 с.

22. Лапутін А. М., Кашуба В. О. Кінетика тіла людини:

навчальна програма для ВНЗ фізичного виховання та спорту. Київ: Науковий світ, 2003. 13 с.

23. Лапутін А. М., Кашуба В. О., Хабінець Т. О. Кінетика як система знань про рухову функцію тіла людини. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. К.: 2004, №2. С. 96–102.

24. Методичний посібник до виконання контрольної роботи № 1 з кінезіології / розроб.: Рибак Олег Юрійович, Рибак Людмила Іванівна. Львів : ЛДУФК, 2008. 20 с.

25. Носко М. О. Біометрія рухових дій людини : монографія / М.О. Носко, О. А. Архипов. Київ : Слово, 2011. 215 с.

26. Попадюха Ю. А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації: навч. посіб. / Ю.А. Попадюха. К.: Центр учбової літератури, 2017. 300 с.

27. Попадюха Ю. А. Сучасні комплекси, системи та пристрої реабілітаційних технологій: навч. посіб. Ю. А. Попадюха. К.: Центр учбової літератури, 2018. 656 с.

28. Рибак О. Ю. Кінезіологія рухових якостей : метод. посіб. до виконання контрольних робіт з кінезіології : у 2 ч. / О. Ю. Рибак, Л. І. Рибак. – Львів : ЛДУФК, 2013. – 44 с.

29. Рибак О. Ю. Конспект лекцій з кінезіології : метод. посіб. / О.Ю. Рибак. Львів : ЛДІФК, 2002. 49 с.

30. Рибак О. Ю. Сучасні методики біомеханічного аналізу рухових дій : метод. вказівки / О. Ю. Рибак, І. Я. Сапужак. Львів : ЛДІФК, 1997. 25 с.

31. Язловецький В. С. Біомеханіка фізичних вправ : навч. посіб. / В.С. Язловецький. Вид. 3-є, допов., переробл. Кіровоград, 2003. 138 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
ТЕМА 1. ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ БІОМЕХАНІКИ. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ БІОМЕХАНІКИ	5
1) Завдання біомеханіки. Предмет і методи біомеханіки. Об'єкт пізнання біомеханіки.	5
2) Галузь застосування біомеханіки.	8
3) Завдання біомеханіки.	9
4) Теорія і метод біомеханіки.....	12
Питання та завдання для самоконтролю	14
ТЕМА 2. БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ	15
1. Визначення завдання і методика дослідження	15
2. Реєстрація характеристик руху.....	18
3. Системи координат, соматична система координат	32
Питання та завдання для самоконтролю	39
ТЕМА 3. БІОСТАТИЧНІ ТА БІОКІНЕМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХУ.....	40
1. Біокінематичні (часові, просторові та просторово- часові) характеристики руху тіла	40
2. Біостатичні характеристики тіла людини. Положення рівноваги.....	59
Питання та завдання для самоконтролю	65
ТЕМА 4. АПАРАТУРНІ КОМПЛЕКСИ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИБАДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В БІОМЕХАНІЦІ.....	66
Питання та завдання для самоконтролю	103
Тема 5. БІОМЕХАНІЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОПОРНО- РУХОВОГО АПАРАТУ	107
Питання та завдання для самоконтролю	112
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ.....	114
Список рекомендованої літератури	125