

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОГО
ВИХОВАННЯ І СПОРТУ УКРАЇНИ

БІОМЕХАНІКА

(методичний посібник для студентів ФЗН)



Київ – 2018

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОГО
ВИХОВАННЯ І СПОРТУ УКРАЇНИ

Затверджено
комісією з фізичного виховання та
спорту науково-методичної ради
Міністерства освіти і науки України
протокол № _____ від " ____ " _____ 2018 р.

БИОМЕХАНИКА

(методичний посібник для студентів, що навчаються
за індивідуальним графіком і ФЗН)

Київ – 2018 р.

Методичний посібник підготували:

доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор Кашуба В.О.,
кандидат педагогічних наук, професор Гамалій В.В.,
кандидат педагогічних наук, доцент Хабінець Т.О.

Рецензенти:

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України та Державним комітетом України молодіжної політики, спорту і туризму

ЗМІСТ

	стор.
1. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧІ І МЕТОДИ БІОМЕХАНІКИ.....	
2. ТІЛО ЛЮДИНИ ЯК БІОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА	
3. БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХІВ ТІЛА ЛЮДИНИ	
4. СПОТИВНО-ТЕХНІЧНА МАЙСТЕРНІСТЬ	
5. ВИМІР БІОКІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	
6. ВИМІР БІОСТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	
7. ВИМІР БІОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	

I. ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧІ І МЕТОДИ БІОМЕХАНІКИ

1.1. Предмет біомеханіки

Предмет науки розкриває, що і з якою метою вивчається.

БІОМЕХАНІКА - це наука про закони механічного руху в живих системах.

До живих систем (біосистем) відносяться:

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

Біомеханіка спорту - як навчальна дисципліна вивчає рухи людини у процесі виконання фізичних вправ. Вона розглядає рухові дії спортсмена як систему взаємопов'язаних активних рухів (об'єкт пізнання). При цьому досліджують механічні та біологічні причини рухів та залежні від них особливості рухових дій в різних умовах (галузь вивчення).

Рухові дії людини, які вивчає біомеханіка спорту, включає в себе механічний рух. Саме він являє собою безпосередньо мету рухової дії людини (переміщуватись самому, переміщувати снаряд, супротивника, партнера та інше). Але механічний рух здійснюється при зумовлюваній участі у руховій дії більш вищих форм руху. Тому біологічна механіка (біомеханіка) ширша та набагато складніша, ніж механіка неживих тіл, вона якісно відрізняється від механіки останніх.

1.2. Механічний рух в живих системах

Механічний рух в живих системах проявляється як:

- а) пересування усієї системи відносно її оточення (середовища, опори, фізичних тіл), та
- б) деформація самої біосистеми - переміщення одних її частин відносно інших.

Основні закони динаміки Ньютона описують рух абстрактних абсолютно твердих тіл, котрі не деформуються. Таких тіл в природі не існує. Але в так званих твердих тілах деформації бувають такі малі, що їх можна і не враховувати. В живих системах суттєво змінюється відносне розташування їхніх частин. Ці зміни і є рухами людини. Самі ж частини живих систем (наприклад, хребет, грудна клітка), також часом суттєво деформуються. Тому, вивчаючи рух живої системи, мають на увазі, що робота сил витрачається і на переміщення тіла в цілому і на деформацію.

Треба знати, що не існує особливих законів механіки для живого світу (природи). Але наскільки живі системи відрізняються від абстрактних абсолютно твердих тіл, настільки ж механічний рух живого складніший руху абсолютно твердого тіла. От же застосовуючи загальні закони механіки до

живих об'єктів, необхідно враховувати не тільки їх механічні особливості, але й біологічні (наприклад, причини пристосування рухів людини до умов, шляхів удосконалювання рухів, впливу стомлення).

1.3. Особливості механічного руху людини

Рухова діяльність людини здійснюється у вигляді рухових дій, які створені із багатьох взаємопов'язаних між собою рухів (системи рухів). Вона складна не тільки тому, що дуже не прості функції органів руху, але й тому, що в ній приймає участь свідомість як продукт найбільш високоорганізованої матерії – мозку. Ось чому рухова діяльність людини суттєво відрізняється від діяльності тварин.

Хоча причини рухів у біомеханіці й розглядаються з точки зору механіки й біології, проте їх закономірності треба брати у взаємозв'язку, враховуючи роль людської свідомості у цілеспрямованому керуванні рухами. Саме взаємозв'язок механічних та біологічних закономірностей дозволяє розкрити специфіку біомеханіки. Свідоме керування рухами з використанням цієї специфіки забезпечує їх (високу) велику ефективність у різних умовах виконання.

1.2. Задачі біомеханіки спорту

1.2.1 Загальна задача вивчення рухів

Загальна задача вивчення рухів людини у біомеханіці спорту – оцінка ефективності докладання сил для більш досконалого досягнення поставної мети.

1.2.2. Приватні задачі біомеханіки спорту

Приватні задачі біомеханіки спорту складаються з вивчення наступних основних питань:

- а) будова, властивості та рухові функції тіла спортсмена;
- б) раціоналізація спортивної техніки;
- в) технічне удосконалення майстерності спортсмена.

Біомеханічне обґрунтування технічної підготовки спортсменів має на меті визначення особливостей та рівня підготовки тренуваних; планування раціональної спортивної техніки, підбір допоміжних вправ та створення тренажерів для спеціальної фізичної та психологічної підготовки, оцінка застосовуваних методів тренувань та контроль за їх ефективністю.

1.3. Зміст біомеханіки спорту

1.3.1. Теорія біомеханіки спорту

В основу сучасного розуміння рухових дій закладено системно-структурний підхід, який дозволяє розглядати тіло людини як рухливу систему, а самі процеси руху – як системи рухів, що розвиваються.

Системно-структурний підхід до вивчення рухів людини реалізується у теорії структурності рухів, котра закладена ідеями М.О. Бернштейна. "Рух – це не ланцюжок деталей, а структура (у даному випадку – система),

диференційована на деталі, - структура цілостна, при наявності у той же час високої диференційованості елементів й різноманітних окремих форм взаємовідносин між ними".

До основи теорії біомеханіки відносяться передумови механічної зумовленості та рефлекторної природи рухів. Усі рухи здійснюються під впливом механічних сил різного походження у повній відповідності до законів механіки. Для усіх рухів в цілому є характерною рефлекторна природа керування руховими діями на основі принципу нервізму.

1.3.2. Метод біомеханіки спорту

Метод біомеханіки спорту – це основний засіб дослідження, шлях до пізнання закономірностей явищ. Теорія біомеханіки для обґрунтування її методу. Метод визначає можливості отримання нових даних, розкриття нових закономірностей.

Метод біомеханіки у найбільш загальному вигляді має у своїй основі системний аналіз та системний синтез дій з використанням кількісних характеристик, зокрема моделювання рухів.

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

Треба відрізнити метод біомеханіки як загальний принциповий шлях пізнання складних систем рухів від окремих методик біомеханічного дослідження (методик реєстрації характеристик та обробки отриманих даних). Далеко не кожне біомеханічне дослідження використовує повністю метод біомеханіки. Більш того, значна частина досліджень спрямована на вивчення окремих механізмів, або загальних положень рухових актів. Дуже важливою є також розробка нових удосконалених методик досліджень.

Закономірності, які встановлюються під час вивчення рухів, мають переважно статистичний (імовірний) характер. Він обумовлений залежністю наслідків від багатьох невизначених повністю причин. Такі закономірності властиві, зокрема, живим організмам.

2. ТІЛО ЛЮДИНИ ЯК БІОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА

Загальна задача вивчення рухів людини в біомеханіці спорту - оцінка ефективності прикладання сил більш досконалого досягнення поставленої мети. Одне із окремих завдань біомеханіки спорту є вивчення питань, пов'язаних з будовою, властивостями і руховими функціями тіла спортсмена.

Біомеханіка вивчає в тілі людини, в його опорно-руховому апараті переважно ті особливості будови і функції, які мають значення для удосконалення рухів. Відхиляючись від деталей анатомічної будови і фізіологічних механізмів рухового апарату, розглядають спрощену модель тіла людини – біомеханічну систему.

Система – єдине ціле, що складається із окремих частин.

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

Система властивостей (цілісна, розчленована); система процесів (дихання, травлення, виділення; система відносин (підпорядкування, анатомія)
 Біомеханічна система характеризується процесами рухової діяльності, її енергозабезпеченням і управлінням руховими діями.

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

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

Таким чином, біомеханічна система – це спрощена копія, модель тіла людини, за допомогою якої можна вивчати закономірність рухів.

Класифікація опорно-рухового апарату людини

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

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

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

Ступені свободи і зв'язки рухів

Якщо у фізичного тіла немає ніяких обмежень (зв'язків), воно може рухатись в просторі в усіх трьох вимірах, тобто відносно 3-х взаємно перпендикулярних осей (поступально), а також навколо них (обертально). Отже у такого тіла 6 ступенів свободи руху.

$$H = 6 - S$$

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

Ланки тіла як важелі і маятники

Кістки, як тверді (негнучкі) ланки, з'єднуючись рухомо, створюють основу біокінематичних ланцюгів. Прикладені сили діють на ланки як на важелі або маятники. В багатьох випадках ланки зберігають рух під дією прикладених сил як маятники.

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

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

Кожен важіль має наступні елементи:

- А) точку опори;
- Б) точку прикладення сил;
- В) плечі важеля;
- Г) плечі сил.

Мірою дій сил на важіль є її момент відносно точки опори (добуток сили на її плече).

3. БІОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУХІВ ТІЛА ЛЮДИНИ

Для того, щоб вивчити рухи тіла людини в практиці педагогічної діяльності і мати можливість порівнювати, співставляти їх між собою, використовують такі методичні поняття як біомеханічні характеристики.

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

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

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

Кількісні характеристики дозволяють розрізняти і співставляти рухи в середині кожного їх тип, виду і т.і., вони вимірюються або розраховуються.

Кількісні характеристики рухів тіла людини методично зручно розділити на два основні види:

- 1) біокінематичні і 2) біодинамічні.

3.1. Біокінематичні характеристики

Розділ біомеханічного аналізу біокінематика (від лат. біос - життя, кінема - рух) вивчає рух живих тіл і біологічних систем. *Кінематика* – це розділ механіки, що вивчає механічні рухи всіх матеріальних тіл у природі. Рухи тіл у кінематиці вивчаються без урахування їх інертності і діючих сил.

Тому кінематику інколи називають геометрією рухів. В основу поняття кінематики рухів включають засоби опису зміни положення тіла в просторі у відношенні до інших тіл на протязі часу. Кінематика ставить своєю ціллю аналізувати різні види руху й встановлювати закони, що відображаються між величинами, які характеризують ці рухи.

Основним фактором кінематики і біокінематики є поняття про рух. Біокінематика вивчає все про рух тіла людини, крім механічних причин, що його викликають.

Зміна руху проходить у просторі, а простір описується у тих чи інших системах підрахунку. Наприклад, спортсмен переміщається по дистанції від старту до фінішу. Для того, щоб упорядкувати уявлення про оточуючий простір вводяться безпосередні системи просторових координат. Умовний простір ділиться на частини, квадранти.

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

Координати розрізняють плоскі та просторові. Плоскі дозволяють фіксувати положення точки на площині, просторові – в просторі. Для визначення точки в плоских координатах достатньо двох цифр (довгота і висота). Для визначення її в просторі - трьох.

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

Щоб визначити просторове розташування матеріальних точок тіла людини, необхідно певну систему відліку для вимірювання кінематичних характеристик складних рухів. Така система відліку повинна базуватися на цілком визначеній системі координат, об'єктивно відображати кінематику як окремих біоланок так і всього тіла людини.

Закони механіки об'єктивно і зручно застосовуються для біомеханіки тоді, коли переміщення тіла людини розглядається у так званій *інерціальній (нерухомій) системі координат*.

Декартова система координат на площині складається із двох взаємоперпендикулярних осей – абсциси (X) і ординати (Y). Декартовою системою координат у просторі вважається упорядкована трійка попарно перпендикулярних осей координат з одним загальним початком координат 0 на кожній із них із одним і тим же масштабним відношенням у всіх осях. Для визначення координат будь якої точки досліджуваних просторових фігур біоланок необхідно використовувати три числові осі: X (абсциса), Y (ордината), Z (апліката). При цьому додаткова піввісь X повинна співпадати з додатковою піввіссю Y обертом на 90^0 проти годинникової стрілки, якщо дивитися з додаткової півосі Z.

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

Найбільш зручним місцем розміщення центру соматичного координатного трикутника є антропометрична точка, розташована на вершині остистого відростку п'ятого поперекового хребця. У цьому випадку числова координата ось Z відповідає напрямку істинної вертикалі осі X та Y розташовуються під прямим кутом в горизонтальній площині і відповідають сагітальному (Y) і фронтальному (X) напрямкам.

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

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

Система відліку (відстані) - умовно вибране тверде тіло, по відношенню до якого визначають положення інших тіл в різні моменти часу.

Траєкторією називають умовну лінію, яку описує рухома точка тіла у просторі.

У систему відліку часу входить визначений початок та одиниці відліку.

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

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

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

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

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

$$\Delta t = t_{\text{кінець}} - t_{\text{початок}}, [\Delta t] = T \quad (3.1.1.)$$

Тривалість руху є проміжок між двома обмежувачими його моментами часу. Знаючи відстань, пройдену точкою, і тривалість її руху, можна визначити її швидкість. Знаючи тривалість рухів, визначають також їх темп і ритм.

Темп рухів – це часова міра їх повторення. Він вимірюється кількістю рухів, які повторюються за одиницю часу (частота рухів).

$$N = \frac{1}{\Delta t}; [N] = T^{-1} \quad (3.1.2.)$$

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

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

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

$$\Delta t_{12} : \Delta t_{23} : \Delta t_{34} \dots \quad (3.1.3.)$$

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

Ритм відображає прикладені зусилля, залежить від їх величини, часу прикладення та інших особливостей рухів. За ритмом рухів можна в певній мірі судити про їх досконалість. У ритмі особливо важливі акценти – більше зусилля і прискорення – їх розміщення в часі. В оволодінні вправами краще спочатку задати ритм, ніж докладно описувати деталі рухів; це допомагає швидше зрозуміти особливості вправи, що вивчається, її побудову в часі.

За просторово-часовими характеристиками визначають, як міняється положення руху людини в часі, як швидко людина міняє свої положення і рухи.

Швидкість точки – це просторова-часова міра руху точки (швидкості і вимірювання її положення).

Швидкість рівна першій похідній в часі від відстані в системі підрахунку, що розглядається:

$$\vec{V} = \frac{ds}{dt}; [\vec{V}] = [T^{-1}] \quad (3.1.4.)$$

Швидкість точки визначається за заміною її координат в часі. Швидкість – величина векторна, вона характеризує швидкість руху та його напрямки.

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

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

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}; [\vec{a}] = LT^{-2} \quad (3.1.5.)$$

Прискорення точки визначається за зміною її швидкості в часі.

Рух будь якої рухомої системи відносно Землі в механіці розглядають як переносний рух (наприклад, рух човна на дистанції, рух точки тіла людини, яке

знаходиться в човні, відносно до човна, тоді буде відносним рухом. Рух цієї ж точки тіла відносно Землі (нерухомих об'єктів на березі) треба вважати абсолютним (або складним).

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

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

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

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

Зберігання незмінної швидкості (рух немовби по інерції) у реальних умовах можливе лише тоді, коли всі зовнішні сили, прикладені до тіл, взаємно урівноважені. У інших випадках неуврівноважені зовнішні сили змінюють швидкість тіла відповідно до міри його інертності.

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

$$m = \frac{F}{a}; [m] = M, \quad (3.1.6.)$$

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

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

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

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2; [I] = ML^2 \quad (3.1.7)$$

У системі тіл, що деформується, наприклад, коли її частини віддаляються від осі обертання, момент інерції системи збільшується. Інерційний опір збільшується з віддаленням частин тіла від осі обертання пропорційно квадрату

відстані. Оскільки матеріальні точки в тілі розташовані на різних відстанях від осі обертання, але рішення ряду задач зручно вводити поняття радіуса інерції.

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

$$R_{\text{іт}} = \sqrt{\frac{I}{m}}; \quad [R_{\text{ін}}] = L \quad (3.1.8)$$

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

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

$$F = m \cdot a; \quad [F] = MLT^{-2} \quad (3.1.9)$$

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

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

Рушійні сили визначаються по прискоренню тіла, що виникли в результаті дії цієї сили. Рушійна сила, як правило збігається з напрямком руху тіла або ж утворює з ним гострий кут (при цьому вона може чинити позитивну роботу і збільшувати енергію тіла).

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

Момент сили - це міра обертаючої дії сили на тіло, він визначається добутком модуля сили на її плече.

$$M_z = Fd; \quad [M_z] = ML^2T^{-2} \quad (3.1.10)$$

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

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

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

$$S = \int_{t_0}^t F dt; [S] = MLT^{-1} \quad (3.1.11)$$

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

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

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

$$S_z = \int_{t_0}^t M_z(F) dt; [S_z] = ML^2T^{-1} \quad (3.1.12)$$

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

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

$$K = mv; [K] = MLT^{-1} \quad (3.1.13)$$

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

$$\int_{t_0}^t Ft = \Delta mv \quad (3.1.14)$$

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

$$K_z = I\omega; [K_z] = ML^2T^{-1} \quad (3.1.15)$$

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

$$\int_{t_0}^t M_z(F) dt = \Delta(I)\omega \text{ формула } (3.1.16)$$

Таким чином, до раніше розглянутих кінематичних мір зміни руху (швидкості) і прискоренню добавляються і динамічні міри зміни руху (кількість руху, кінетичний момент).

Разом із мірами дії сили вони відображають взаємозв'язок сил і руху. Вивчення їх допомагає усвідомити фізичний зміст рухів, що у свою чергу

необхідно для правильного розуміння специфічних особливостей рухових дій людини.

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

Енергетичні характеристики показують, як змінюються види енергії при русі і протікає самий процес зміни енергії.

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

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

$$A = \int_0^s F_v ds; [A] = ML^2T \quad (3.1.17)$$

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

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

$$A_{\text{тяг}} = Ph \quad (3.1.18)$$

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

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

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

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

$$N = \frac{dA}{dt} = A^1 = Fv; [N] = ML^2T^{-3} \quad (3.1.19)$$

Ефективність дії сил у механіці визначають по коефіцієнту корисної дії (к.к.д.) – відношенню корисної роботи ($A_{\text{кор}}$) до усієї затраченої роботи (A) сил:

$$n = \frac{N_{\text{еід}}}{N} = \frac{A_{\text{еід}}}{A} \quad (3.1.20)$$

Чим більший к.к.д., тим ефективніший рух.

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

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

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

$$E_{(ін)}^k = \frac{mv^2}{2}; [E^k] = ML^2T^{-2} \quad (3.1.21)$$

При обертальному русі кінетична енергія тіла людини може бути виражена:

$$E_{(об)}^k = \frac{I\omega^2}{2}; [E^k] = ML^2T^{-2} \quad (3.1.22)$$

Потенціальна енергія тіла – це енергія його положення, обумовлена взаємним відносним розташуванням тіл або частин того самого тіла і характером їхньої взаємодії. Потенціальна енергія у полі сил тяжіння дорівнює:

$$E^i = mgh = Gh, \quad (3.1.23)$$

де G - сила тяжіння, h - різниця рівнів початкового і кінцевого положення над землею (відносно якого визначається енергія).

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

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

$$E^k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \dots \quad (3.1.24)$$

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

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

$$\Delta E_k = A_e + A_i \quad (3.1.25)$$

У рухах людини одні види рухів переходять в інші. При цьому енергія, як міра його руху також переходить з одного виду в інший. Так хімічна енергія в м'язах перетворюється в механічну (внутрішню потенційну пружно деформованих м'язів). Породження останньої сили тяги м'язів чинить роботу і

перетворює потенціальну енергію в кінетичну енергію ланок тіла, що рухаються, і зовнішніх тіл. Механічна енергія зовнішніх тіл (кінетична) передається при їхній дії на тіло людини, перетворюється в потенційну енергію м'язів, що розтягуються і в теплову енергію, що розсіюється.

4. СПОРТИВНО-ТЕХНІЧНА МАЙСТЕРНІСТЬ

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

Спортивно-технічна майстерність спортсменів формується у процесі технічної підготовки. Вона характеризується тим, що вміє робити спортсмен і як він володіє освоєними діями.

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

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

4.1. Об'єм технічної підготовленості

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

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

4.2. Різнобічність технічної підготовленості

Різнобічність характеризується ступенем різноманітності рухових дій, якими володіє спортсмен або які він застосовує на змаганнях. Відповідно і тут виділяють загальну чи змагальну різнобічність. Технічні дії, засвоєні спортсменом можуть належати до однієї групи (наприклад, у вільній боротьбі – кидки с захватом руками за руки та тулуб супротивника) або до різних груп (кидки с захватом руками за ноги супротивника з діями ногами за ноги

супротивника та ін.). В останньому випадку різнобічність технічної підготовки спортсмена вища. У більш різносторонніх у технічному відношенні спортсменів більш гармонійна і фізична підготовленість, зокрема, топографія сили.

Об'єм та різнобічність технічної підготовленості є важливими показниками майстерності спортсменів, особливо у тих видах спорт, де є великий арсенал технічних дій (ігри, гімнастика, фігурне катання на ковзанах та ін.).

4.3. Раціональність техніки

Раціональність технічних дій визначається можливістю досягнути на їх основи вищих спортивних результатів. Раціональність техніки - це характеристика не спортсмена, а самого способу виконання руху, різновидності техніки, яку використовуємо. Та чи інша техніка може бути більш чи менш раціональною (наприклад, при плаванні вільним стилем найбільш раціональним вважається кріль, хоча плавцю не забороняється будь-який інший спосіб). В історії майже кожного виду спорту були періоди зміни одних способів виконання рухів іншими, більш раціональними. Ніхто з кваліфікованих спортсменів не використовує зараз брас на спині та батерфляй - у плаванні, чотирьох кроковий поперемінний хід – в лижних гонках, поворот плугом і напівплугом – в гірськолижному спорт, спосіб «ножиці» - у стрибках в висоту та «зігнувши ноги» - у стрибках в довжину, великий оберт на перекладині зі зберіганням прогнутого положення тіла на протязі всього оберту – у гімнастиці. Ці способи чи зовсім зникли, чи застосовуються тільки при навчанні початківців. Розглянуті три показники технічної підготовленості спортсмена (об'єм, різнобічність та раціональність технічних дій) говорять лише про те, що вміє виконувати спортсмен. Але вони не відображають якості виконання - як спортсмен виконує рухи, наскільки добре він володіє ними.

Тому при оцінці технічної підготовленості необхідно враховувати якісну сторону володіння рухами - ефективність та освоєнність його виконання.

4.4. Ефективність володіння спортивною технікою

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

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

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

В основі раціональної техніки можуть лежати різні критерії: а) біомеханічні (наприклад, висота підйому ЗЦТ при ходьбі); б) фізіологічні; при нераціональній техніці у тих, хто спеціалізується в спортивній ходьбі нерідко виникають різкі больові відчуття в передньому велико-берцовому м'язі із-за погіршення кровообігу внаслідок того, що час її розслаблення в одному кроці виявляється недостатнім; в) психологічні; техніка спортивних ігор та єдиноборств у вирішальній мірі визначається прагненням виконати рух таким чином, щоб він був більш незручним для супротивника (хоча він може бути незручним для самого спортсмена чи привести до зниження сили та швидкості руху). Наприклад, бажано, щоб технічні дії були несподівані для супротивника, тому їх доцільно проводити раптово (без підготовки чи після обманних рухів ("фінтів"). З точки зору механіки рухів такі дії нераціональні (сила, швидкість, а інколи і точність рухів при цьому знижуються), однак саме вони дозволяють переграти супротивника. Тому подібні способи виконання технічних дій є в іграх та єдиноборствах найбільш раціональними; г) естетичні; критерії цієї групи є визначаючими у тих видах спорту, де краса рухів – основа майстерності (гімнастика, фігурне катання на ковзанах та ін.).

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

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

Для визначення дискримінативних ознак використовують один з двох дослідницьких підходів:

а) порівнюють показники техніки спортсменів високої та низької кваліфікації, або:

б) розраховують коефіцієнти кореляції та рівняння регресії поміж спортивним результатом, з одного боку, та показником техніки – з іншого.

Не завжди дискримінативні ознаки легко побачити. Наприклад, у штовхачів ядра, у фінальному зусиллі обидві ноги, звичайно, відриваються від опори раніше, ніж рука виштовхує ядро. В більшості випадків період від відриву ніг до випуску ядра – період безопорного виштовхування - настільки короткий (10-20 мс), що навіть досвідчений тренер його не помічає. Період безопорного виштовхування зменшується з ростом спортивної кваліфікації. Ця

дискримінативна ознака показує доволі високу кореляцію з результатом в штовханні ядра ($r=0,55$).

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

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

Практично це використовується шляхом порівняння результату спортсмена:

а) у технічно складній дії (як правило це той рух, у якому спеціалізується спортсмен);

б) в технічно більш простих завданнях, які потребують розвитку тих же рухових якостей, що і основні.

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

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

Варіант “Б”. В цьому випадку ефективність техніки оцінюють шляхом визначення енергозатрат чи виявляючи під час руху силу при виконанні одного й того ж завдання, іншими словами – визначають функціональну економізацію. Наприклад, величина споживання кисню у ковзанярів під час бігу з однією і тією ж швидкістю буде різною. Схожа картина буде спостерігатися, якщо реєструвати, наприклад силу відштовхування в бігу з заданою швидкістю: спортсмени низької кваліфікації частину зусиль витрачають

Непродуктивно (скажімо, на зайвий підйом ЦТ тіла вгору), і тому при тій же швидкості бігу імпульс сил опорних реакцій у них більший.

Економічність спортсмена (тобто вміння виконувати роботу з як можливо найменшими витратами енергії) залежить як від його технічної майстерності, так і від таких функціональних показників, як МСК та поріг анаеробного обміну (ПАНО). Із біохімії спорту відомо, що к.к.д. анаеробних реакцій енергоутворювання значно нижче, ніж у аеробних процесів. Потому, якщо у спортсменів рівні МСК та ПАНО низькі (а ці дві величини взаємозв'язані), він вже при відносно низькій потужності вправи починає використовувати

енергетично невігідні анаеробні постачальники енергії. Це підвищує енергозатрати організму.

Тому показники економічності неможливо розглядати тільки як показники технічної майстерності. Ці комплексні показники залежать як від ефективності техніки, так і від функціональних можливостей (МСК, ПАНО) спортсмена.

У практиці можливо користуватися як критеріями із усіх трьох груп, так і вибірково окремими з них.

4.5. Освоєнність техніки

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

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

Для добре засвоєних рухів типові:

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

5. ВИМІРЮВАННЯ БІОКІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

5.1. Побудова біокінематичної схеми руху, рухової дії по кінограмі (відеограмі)

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

розумінні фізичної сутності рухів людини і правильного використання як самих кінематичних термінів, так і одиниць їхнього виміру.

Рухи тіла людини можна виміряти, тільки порівнюючи положення його матеріальних точок із положенням обраного для порівняння тіла (тіло відліку). У якості зручної системи відліку при вивченні біокінематичних характеристик рухової дії по кінограмі придатна декартова інерціальна система координат на площині. У процесі біокінематичного дослідження нерухома координатна система відліку може бути співвіднесена з будь-яким відносно нерухомим на кінограмі орієнтиром (лінія старту, фінішу при бігу спортсмена, нерухомі орієнтири навколишнього середовища, видимі деталі будинків і т.д.).

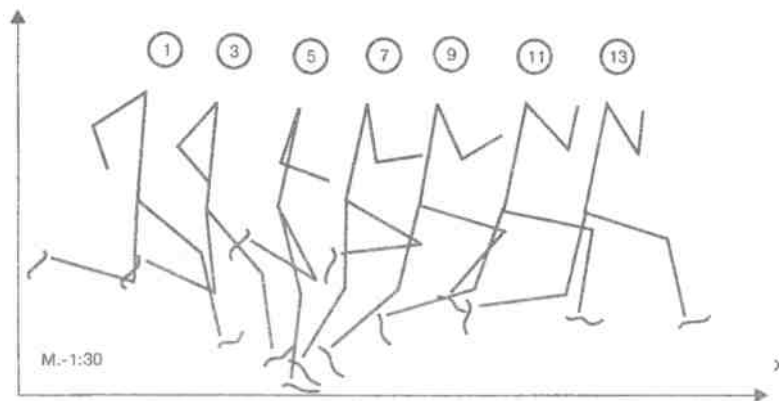
При вивченні рухів із складною координаційною структурою, а також при оцінці рухливості в суглобах при руховій реабілітації після перенесення травм або хірургічних втручань при протезуванні кінцівок, перед дослідниками часто виникають складні задачі по визначенню не стільки положення всього тіла в якійсь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

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

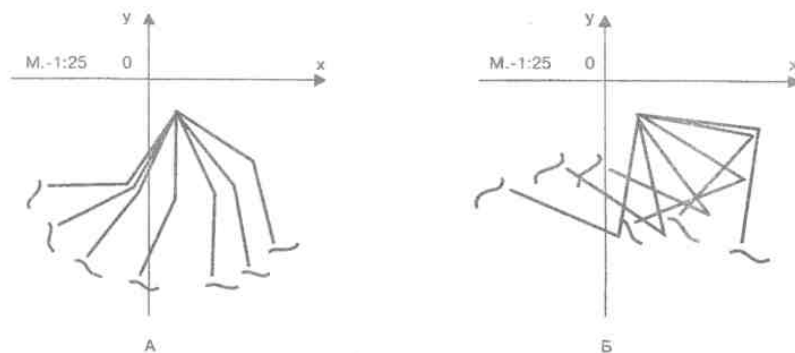
Біокінематична схема, як будь-який інший (малюнок-схема тіла людини, що рухається) що служить підставою для вивчення біокінематичних характеристик, може виготовлятися безпосередньо за матеріалами кінознімання (кіноплівки), що переглядається через збільшувач). Для цього після вибору масштабу зображення поз людини яким-небудь способом переноситься на міліметровий папір. Для цього можуть використовуватися різні проектори і фотозбільшувачі. Дослідник по проєктованому зображенню поз досліджуваного руху замальовує його на папір. Такий прийом менше точний, ніж робота з кінограмою.

Для вивчення руху всього тіла людини або його сегментів у кожному кадрі обов'язково повинен бути орієнтир, із яких зв'язана побудова зовнішньої системи координат і визначення масштабу зображення. У якості орієнтира може бути обраний будь-який предмет, що нерухомо зв'язаний із землею і є присутнім на всіх досліджуваних кадрах. У лабораторних дослідженнях, як

правило для цих цілей використовується масштабна лінійка. Якщо необхідно досліджувати відносний взаємний рух біоланок, то на кінограмі позначається ще і соматична система координат. Після цього вимірюють координати основних точок тіла спортсмена по кінограмі в зовнішній і соматичній системах координат. За отриманими координатами в обраному масштабі на міліметровому папері будують біокінематичні схему щодо зовнішньої (мал. 5.1.1) і соматичної (мал. 5.1.2) систем відліку. Для навчальних цілей припустимі біокінематичні схеми в масштабі 1:5, 1:10. Більш дрібний масштаб біокінематичної схеми не придатний для розрахунку по ній кількісних характеристик руху з метою їхнього кількісного аналізу.



Мал. 5.1.1 Біокінематична модель рухів спринтера щодо зовнішньої (нерухомої системи відліку)



Мал. 5.1.2 Біокінематична схема рухів опорної (А) і махової (Б) ніг спринтера в соматичній системі.

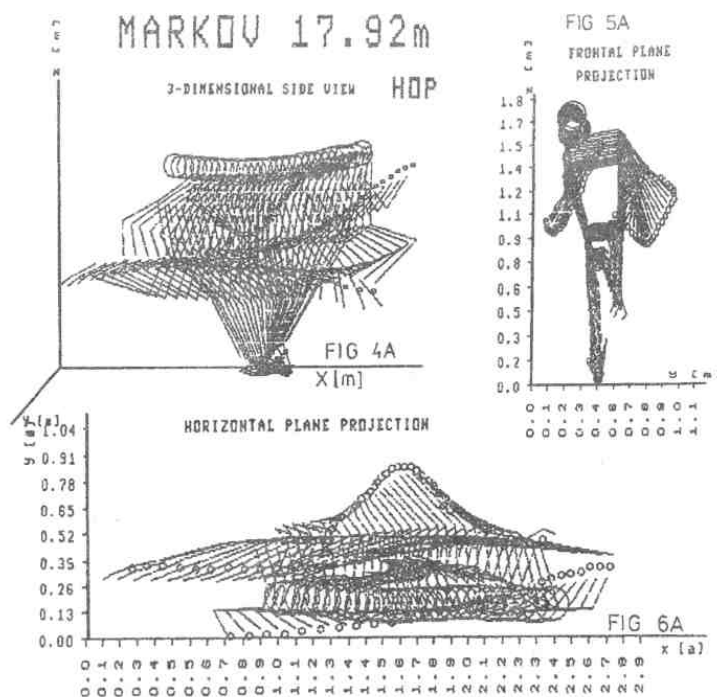
Вибір площини для побудови біокінематичної схеми залежить від того, у якій площині робилася кіно або відеозйомка. Якщо предметом вивчення є рухи, найбільше значні амплітуди яких реалізуються в одній площині (біг у легкій атлетиці, стрибки в довжину, біг на лижах і т.п.), застосовується одно площинна кінозйомка.

Для вивчення рухів із складними просторовими переміщеннями біоланок і всього тіла людини (метання молота, диска, вправи на коні в гімнастиці і т.д.) використовують трьох площинну кінозйомку. Три кіноапарати розташовуються на визначеній відстані один від одного так, щоб їхні оптичні осі були взаємно перпендикулярні. Зйомка робиться збоку (у сагітальній площині), спереду або позаду (у фронтальній площині) і зверху – у горизонтальній площині (зенітна кінозйомка).

При використанні трьох площинної кінозйомки будуються три біокінематичні схеми, що представляють рух у кожній окремій площині, на якій зображуються застосовані системи координат, необхідні біоланки тіла і т.п. (мал. 5.1.3).

При побудові біокінематичної схеми руху або рухової дії по кіноплівці, рекомендується такий хід роботи:

- переглянути кіноплівку для визначення подальших прийомів дослідження, спроектувати перший кадр на лист паперу, установити масштаб зображення; викреслити по зображенню орієнтири (предмети нерухомо зв'язані з Землею);



Мал. 5.1.3. Біокінематичні схеми рухів стрибуна, тримані в результаті використання трьох площинної відеозйомки

- центри суглобів і центри голови відзначити точками і відповідно промаркувати;

- при вивченні відносних взаємних переміщень біоланок визначити центр соматичної координатної системи;

- позначити порядковий номер кадру (відповідно до порядкового номера цього кадру на кіноплівці); нанести досліджувані точки і замалювати контури першої фігури; плівку пересунути на наступний кадр до суміщення орієнтирів

на кіноплівці і на папері, відзначити досліджувані точки і замалювати контури другої фігури.

Таким чином, на міліметровому папері щодо орієнтирів розташовується схематичне зображення всіх положень тіла людини в різні моменти часу. У залежності від цілей дослідження на схему проєктують необхідну кількість поз людини. Кожна поза відзначається порядковим номером кадру на кіноплівці. Таким чином будується біокінематична схема руху або рухової дії.

Таблиця 5.1.1

Таблиця координат точок тіла в зовнішній і соматичній системах відліку.

№ кадрів	Центр тяжіння голови C _г		Плечовий суглоб, h				Ліктьовий суглоб, с				Суглоб кісті				Тазостегновий суглоб, C _{оx}				Колінний суглоб, q				Суглоб стопи, p				Центр соматичної системи координат, C _у	
			п		л		п		л		п		л		п		л		п		л							
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y		

5.2. Визначення часових характеристик рухів і побудова хронограм рухових дій по кінограмі, відеограмі і біокінематичній схемі

Кожна рухова дія являє собою складну багатоструктурну систему цілеспрямованих і взаємозалежних рухових підсистем і елементів. Одним із найважливіших чинників, що об'єднують окрему рухові елементи в цілісну дію, є чинник часу. Структура часу значною мірою визначає не тільки зовнішню кінематичну картину рухової дії, але і загальний його кінцевий ефект.

Розрахунок часових характеристик проводиться за результатами реєстрації рухів за допомогою кінознімання або відеозйомки. Аналіз кінограм і відеограм проводиться з урахуванням частоти зйомки. Тривалість одного часового інтервалу між сусідніми кадрами при обраній частоті (1) буде дорівнювати:

$$\Delta t = t_1 - t_0 = \frac{1-0}{f} = \frac{1}{f}(c) \quad (5.2.1)$$

Рух починається з визначеного положення, яке приймається за початкове. Кадри, що обмежують частини руху, є межами його фаз. При цьому тривалість фази знаходять по різниці проміжків часу початку і закінчення фази. Фаза – це окремий фрагмент рухової дії, взаємозалежний із її цілісною структурою, протягом якого вирішується певна рухова задача. Наприклад, починається фаза

на 22–у кадрі, а закінчується на 40–у кадрі. Тривалість фази визначається таким способом:

$$\Delta t = t_{\text{з\acute{a}т}} - t_{\text{п\acute{o}ч}} = \frac{40 - 22}{f} = \frac{18}{f} (c) \quad (5.2.2)$$

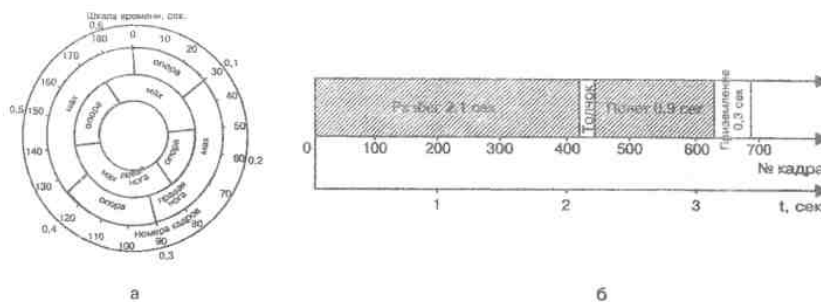
Час усього руху відповідно знаходять як різницю моментів часу початку і закінчення руху, або як добуток числа часових інтервалів (n) на тривалість одного часового інтервалу ($\frac{1}{f}$):

$$\Delta t = t_{\text{з\acute{a}т}} - t_0 = n \frac{1}{f} = \frac{n}{f} (c) \quad (5.2.3)$$

Вивчення взаємозв'язку часових характеристик у кінематичній структурі фізичної вправи становить інтерес для рішення багатьох теоретичних проблем біомеханіки і для обґрунтування методики навчання.

Для наочності уявлення про отримані дані креслять діаграму фаз руху. По горизонтальній осі (або осі у виді кола) у зручному масштабі відкладають тривалість окремих фаз в одиницях часу. На шкалі часу відзначають у виді довільних по ширині смуг (або секторів на круговій хронограмі) фази руху. Подібні діаграми прийнято називати хронограмами (мал. 5.2.1). Хронограма в наочній формі представляє співвідношення фаз (тобто ритм рухів) і дає дослідникам об'єктивний матеріал для аналізу координаційної структури руху.

Для перегляду кіноплівки використовують фотозбільшувач, або звичайні збільшувачі лупи. Для індивідуальної роботи рекомендується використовувати будь-який проектор або діапроектор з виводом зображення на великий екран. Для перегляду відеоплівки необхідні відеомігнітофон і телевізор. При цьому рекомендується відповідна послідовність операцій:



Мал. 5.2.1 Хронограми рухової дії а – кругова хронограма бігу; б) лінійна хронограма опорного стрибка

- переглянути кіно-або відеограму і визначити початок відліку часу, тобто нульове положення;

- виділити в русі фази (відповідно до педагогічних задач і підготувати протокол розрахунку цих фаз за такою формою (на прикладі стрибка в довжину, при $f = 200$ кадр/с), табл. 5.2.1

Таблиця. 5.2.1

Розрахунок часових параметрів рухової дії

№ п/п	Фази	Момент часу		Час фази (у с)	Похибка результату в %
		Початок фази	Кінець фази		
1	Розбіг	0	420	$420 \cdot 1/200 = 2,1$	0,2
2	Відштовхування	420	440	$20 \cdot 1/200 = 0,1$	5
3	Політ	440	620	$180 \cdot 1/200 = 0,9$	0,6
4	Приземлення	620	680	$60 \cdot 1/200 = 0,3$	1
	Вся рухова дія	0	680	$680 \cdot 1/200 = 3,4$	0,1

Якщо досліджуються фази руху окремих ланок (наприклад, правої і лівої ноги), таблиця складається для кожної ланки окремо, а перегляд руху починається з загального нульового кадру, тобто початок відліку часу повинен бути однаковим для всіх досліджуваних рухів.

- визначити початковий кадр руху, відмітивши його t_0 ;
- записати в таблицю номери межевих кадрів, при цьому початок наступної фази позначається кадром закінчення попередньої фази;
- зробити розрахунок часу по формулі 5.2.3;
- відрахувати довірчий рівень отриманих результатів, виходячи з того, що похибка в один кадр до числа кадрів у фазі показує відсоток помилки. Наприклад, у фазі 430 кадрів помилка в один кадр дасть похибку, рівну $1/420 = 0,002 = 0,2 \%$;

- по даним таблиці 5.2.1 накреслити лінійну або кругову хронограму руху. Для рухів із циклічно. Структурою визначити частоту повторення рухів в одиницю часу – темп:

$$N = \frac{1}{\Delta t_{\text{одод}}} \quad (5.2.4)$$

Знайти співвідношення часу фаз руху, тобто його ритм:

$$\Delta t_1 : \Delta t_2 : \Delta t_3 : \Delta t_4 : \quad (2.5.5)$$

Приклад. Відношення часу фаз за даними таблиці ?.3.:

$$2,1:0,1:0,9:0,3$$

Зробити висновок про ступінь досконалості рухів на основі порівняння отриманих часових характеристик із такими для найсильніших спортсменів.

Ті ж операції можуть бути виконані по відеограмі з використанням відеокомп'ютерного комплексу в автоматизованому режимі.

5.3. Визначення лінійних швидкостей і прискорень руху точок біоланок по біокінематичній схемі розрахунковим методом

При вивченні будь-якої рухової дії важливо знати швидкість руху не тільки всього тіла людини, але і його найбільших біоланок Величина і напрямок швидкості визначають характер участі окремих м'язових груп у тих або інших рухових діях і є показниками рівня м'язового навантаження.

Рух біоланок тіла людини при виконанні рухової дії може бути рівномірним, нерівномірним і рівнозмінним. Якщо біоланки або досліджувана його точка за рівні проміжки часу проходить відрізки шляху однакової довжини, рух називається рівномірним і швидкість його визначають по формулі 3.1.4.

Швидкість руху, так само як і переміщення, є векторною величиною і характеризується, крім свого числового значення ще і напрямком. Вектор, що зображує швидкість, прийнято позначати символом $\rightarrow(\vec{v})$, а його довжину літерою V .

Для визначення горизонтальної і вертикальної складової результуючої швидкості необхідно обчислити горизонтальне ΔS_x , вертикальне ΔS_y , переміщення точки (ΔS_x , ΔS_y - різниця координат кінцевого і початкового положення) і розділити його на час переміщення:

$$V_x = \frac{S_{xe^i} - S_{xi\bar{0}}}{t_{e^i} - t_{i\bar{0}}} = \frac{\Delta S_x}{\Delta t}; \quad V_y = \frac{\Delta S_y}{\Delta t} \quad (5.3.1)$$

Щоб підвищити точність обчислення швидкості, різниці ΔS беруться не між сусідніми відліками (кадрами), а з інтервалом в один відлік:

$$\Delta S_n = S_{n+1} - S_{n-1} \quad (5.3.2)$$

Якщо на схемі виміряти відстань між першим і третім положеннями точки і розділити на час проходження цієї відстані, то можна одержати миттєву швидкість точки в той момент, коли вона знаходилася в другому положенні. Для цього знаходять дійсний шлях точки. Відстань між точками, визначена по біокінематичній схемі або визначено як ΔS_x і ΔS_y за даними координат точок, множать на величину, зворотну масштабу схеми (k).

Час проходження відрізка шляху визначають по формулі: 3.1.1.

Якщо об'єкт фотографувався зі швидкістю 32 кадри в секунду, то на переміщення точки з першого положення в третє знадобилося $2/32$ сек.

У системі одиниць СІ одиницею швидкості є 1 м/с. Щоб представити швидкість у м/с, шлях, вимірюваний по біокінематичній схемі (у мм) множать на k і ділять на 1000. В результаті основна формула для визначення швидкості руху досліджуваної точки може бути подана у вигляді:

$$V_{i\bar{0}^{\Delta t}} = \Delta S(i) \cdot \frac{k \cdot f}{1000 \cdot n} (i / \bar{n}) \quad (5.3.3)$$

При нерівномірному і рівнозмінному русі всяка зміна швидкості біоланки або його точки характеризується прискоренням.

Стосовно до розрахунків, проведених по біокінематичній схемі, формула для розрахунку прискорення буде мати вигляд:

$$a = \frac{\Delta V \cdot f}{n} (\text{м/с}^2), \quad (5.3.4)$$

де ΔV – різниця швидкостей двох положень точки біоланки тіла; а f – частота кінозйомки, з якою була знята досліджувана рухова дія; n – кількість часових інтервалів між положенням точки на біокінематичній схемі. Для визначення складових результуючого прискорення використовують ΔV_x , ΔV_y . Графічне визначення результуючого прискорення як і швидкості базується на геометричному додаванні векторів горизонтального і вертикального прискорення за правилом паралелограма.

Прискорення як і траєкторія, шлях, час, швидкість і інші параметри, є важливою біокінематичною характеристикою досліджуваної рухової дії.

Однак прискорення зв'язане не тільки з біокінематичними вимірами, його показники мають пряме відношення і до біодинаміки рухів людини:

$$a = \frac{F}{m}, \text{ де } F \text{ – сила, } m \text{ – маса тіла).}$$

Якщо врахувати, при більшості спостережень у біомеханіці маса (тіло людини і його біоланки) постійна, то значення прискорення дозволяє судити про величини зусиль, що розвиваються людиною, про опорні реакції, наприклад, при ходьбі, бігу, стрибках.

Для визначення абсолютної швидкості і прискорення руху точки, передбачається такий хід роботи:

- переглянути креслення траєкторій точок біоланок тіла людини, перевірити нумерацію;
- підготувати робочу таблицю (таблиця 5.3.1);

Таблиця 5.3.1

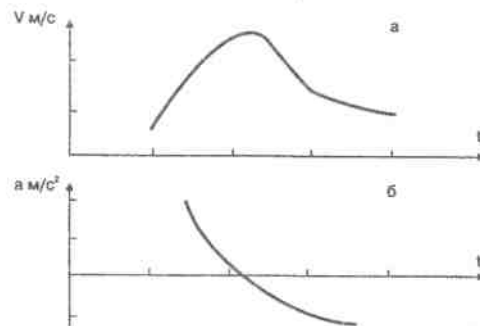
Вимір просторово-часових характеристик рухової дії

№ точок	S відстань між точками, мм	S відстань між точками, м	t/ час, с	$V_{\text{ср}}$ середня швидкість точки, м/с	ΔV різниця швидкостей, м/с	a прискорення м/с^2

- по траєкторіях виміряти в міліметрах відстань між усіма точками, що знаходяться одна від одної на два інтервали. Дані записати в графу таблиці 5.3.1 проти номера пропущеної при вимірі відстані точки;

- обчислити дійсний шлях точки в метрах: формула $S(\text{м}) = \frac{S(\text{мм}) \cdot k}{1000}$;

- використовуючи формулу 5.2.3, обчислити час переміщення точки на досліджуваному інтервалі шляху;
- по формулі 5.3.3 визначити швидкість точки на розглянутому відрізку шляху, дані записати в графу таблиці 5.3.1 проти номера пропущеної точки;
- визначити ΔV - різницю швидкостей, розрахунки роботи через один показник. Отриманий результат записують із відповідним знаком (+ або -);
- прискорення обчислюють по формулі 5.3.4;
- результати обчислень використовуються для креслення графіків швидкості і прискорення. По осі X у довільному масштабі послідовно відкладають номери положень точок у часі, а на осі Y - величини швидкості або прискорення (мал. 5.3.1).



Мал. 5.3.1 Графік лінійної швидкості (а) і прискорення (б) лівого колінного суглоба махової ноги спринтера в опорній фазі.

Для визначення горизонтальної і вертикальної складової швидкості і прискорення руху точки рекомендується наступний хід роботи:

- скласти таблицю 5.3.2 для реєстрації даних про розміри складових швидкостей і прискорень:

Таблиця 5.3.2

№ n/n	X	ΔX	V_x	ΔV_x	ax	Y	ΔY	V_y	Δu_y	ay

- вихідними даними для визначення складової швидкості і прискорення руху точки є координати цих точок. X і Y у різні моменти часу (таблиця 5.1.1);
- по координатах визначити одиницю абсцис і ординат через два інтервали;

$$X = X_{n+1} - X_{n-1}; \quad Y = Y_{n+1} - Y_{n-1}; \quad (5.3.5)$$

Визначити величини V_x і V_y по формулах:

$$V_x = \Delta S_x (\text{мм}) \frac{k \cdot f}{n \cdot 1000} (\text{м/с}); \quad V_y = \Delta S_y (\text{мм}) \frac{k \cdot f}{n \cdot 1000} (\text{м/с}) \quad (5.3.6)$$

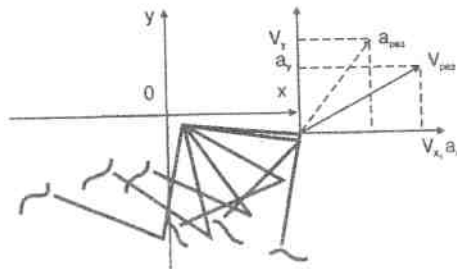
- дані внести у відповідні графи таблиці;
 обчисленням різниці швидкостей (через одне положення в таблиці 5.3.2)
 визначити складові прискорень a_x і a_y :

$$\Delta V_x = V_{x_{n+1}} - V_{x_{n-1}} \quad \Delta V_y = V_{y_{n+1}} - V_{y_{n-1}}; \quad (5.3.7)$$

розрахувати числові значення проекцій прискорень a_x і a_y по формулах:

$$a_x = \frac{\Delta V_x}{t}; \quad a_y = \frac{\Delta V_y}{t} \quad (5.3.8)$$

по результатами обчислень a_x і a_y на біокінематичній схемі або на траєкторії
 намалювати вектори швидкостей і прискорень, для чого від кожної
 досліджуваної точки в довільному масштабі по горизонталі відкладають
 відрізки довжиною V_x і a_x , а по вертикалі в тому ж масштабі – відрізки V_y і a_y і
 знаходять результуючу швидкості і прискорення (мал. 5.3.2).



Мал. 5.3.2 Зображення векторів швидкості і прискорення колінного суглоба на біокінематичній схемі

6. ВИМІР БІОСТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

6.1. Визначення положення загального центру тяжіння (ЗЦТ) тіла людини розрахунковим методом

Визначення положення загального центру тяжіння (ЗЦТ) тіла людини необхідно для рішення деяких задач механіки рухів, зв'язаних із зберіганням рівноваги, і визначенням ступеня його стійкості, оцінкою раціональності виконуваних їм рухових дій.

В біомеханіці використовують експериментальні, розрахункові і графічні методи визначення координат ЗЦТ тіла людини у фіксованій позі.

ЗЦТ людського тіла можна визначити як точку рівнодіючої всіх, що діють на нього сил тяжіння. Розташування ЗЦТ обумовлюється анатомо-фізіологічними особливостями тіла людини, його позою, функціонуванням дихальної, травоварильної, серцево-судинної й інших систем, що забезпечують переміщення значних мас речовини в організмі в різні моменти його життєдіяльності. Так, відомо, що в положенні стоячи або лежачи вага грудного відділу тулуба змінюється в залежності від фази подиху (при вдиху

вага менша при видиху більша). При переході з горизонтального положення у вертикальне і навпаки, кров, переміщуючись по інерції в протилежну від руху сторону, збільшує або зменшує на якийсь час вагу окремих частин тіла. Найбільше істотним чинником, що впливає на положення ЗЦТ тіла людини, є поза, що він приймає в різні моменти своєї життєдіяльності. У такому випадку координати ЗЦТ можна розглядати і як функцію від координат розташування всіх його біоланок. Тому що рівнодіюча сил тяжіння, що діють на всі частини тіла, прикладена до його загального центру тяжіння (який практично збігається з центром мас), то ЗЦ можна вважати також центром мас і центром інерції тіла людини.

Визначення розташування ЗЦТ представляє можливу задачу як для біостатики, так і для біокінематики і біодинаміки. Опис траєкторії руху ЗЦТ людини в процесі його рухової активності дозволяє одержати дані не тільки при переміщенні його тіла в просторі, але і про дію на нього зовнішніх сил, що дає можливість для визначення багатьох біодинамічних характеристик функціонування системи (механічна робота, потужність, механічна енергія і т.д.), а в окремих випадках дозволяє судити про рівень ефективності та опанованості виконання тієї або іншої рухової дії.

Аналітичний або (розрахунковий) метод визначення ЗЦТ базується на використанні статистичних даних про геометрію мас тіла людини. Ці дані, як правило визначають зв'язок вагою окремих сегментів тіла і його загальною вагою, а також положення центру тяжіння біоланки з загальною довжиною сегмента (таблиця 6.1.1.). Виходячи з цього розташування ЗЦТ тіла людини можна визначити розрахунковим методом, використовуючи відому теорему про те, що "момент рівнодіючої сили щодо осі дорівнює алгебраїчній сумі моментів складових сил щодо тієї ж осі".

Математичний запис цієї теореми при визначенні координат ЗЦТ у декартовій системі O_{xyz} буде мати вигляд:

$$P_{x_c} = \sum P_i x_i ; P_{y_c} = \sum P_i y_i ; P_{z_c} = \sum P_i z_i \quad (6.1.1.)$$

де X_n, Y_c, Z_i - в системі відліку відповідні координати ЗЦТ тіл в системі OXY ;

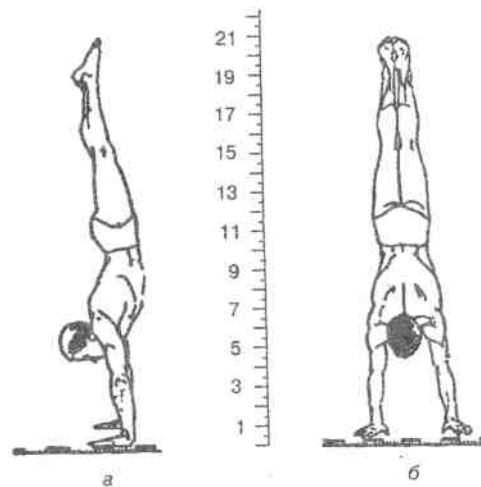
x, y, z – відповідні координати центрів тяжіння (ЦТ) окремих ланок тіла людини в тій же системі відліку;

P - загальна вага тіла;

P_i - вага окремих ланок тіла людини;

Для визначення ЗЦТ аналітичним методом пропонується наступний порядок дій:

- сфотографувати випробування в двох площинах – сагітальній і фронтальній (у кадрі устанавлюється масштабна рейка - мал. 6.1.1.);



Мал. 6.1.1. Фотограма для визначення загального центру тяжіння:
a - у сагітальній площині; *y* - у фронтальній площині.

- на фотограмі провести систему плоских декартових координат ОХУ;
- по анатомічним та антропометричним орієнтирам на фотограму нанести точки центрів суглобів і точки центрів тяжіння (ЦТ) голови і кисті;
- підготувати таблицю розрахунку, таблиця 6.1.1;
- визначити вагу кожної біоланки тіла P_i по формулі:

$$P_i = \frac{P_{\hat{a}^i} \cdot P}{100} \quad (6.1.2)$$

де P_i - відносне значення ваги ланки (таблиця 6.1.1), P – вага досліджуваного по фотограмі випробуваного;

- по фотограмі виміряти довжину всіх біоланок у мм (за винятком голови і кисті) від проксимального до дистального суглоба. Дані занести в графу 4;
- визначити центр тяжіння кожної біоланки випробуваного (довжину біоланки помножити на відносну відстань його центру тяжіння від проксимального кінця – графа 5 і дані внести у графу 6, а на фотограмі обчислену відстань відкласти від проксимального кінця і відзначити точкою);
- виміряти лінійкою в масштабі фотограм відповідні координати ЦТ біоланок x_i і y_i і записати в 7, 8, 9,10 колонки таблиці для кожної біоланок;

Таблиця 6.1.1.

Визначення ЗЦТ тіла людини аналітичним методом (по Фішеру і Брауне)

№ п/п	Біоланки тіла	Віднос на вага ланки в %	Абсолют на вага ланки в кг	Довжина ланки в мм	Відстань від проксимального кінця до ЦТ ланки в мм	Абсциса ЦТ ланки в мм X	Момент сили тяжіння PX	Ордината ЦТ ланки в мм Y	Момент сили тяжіння PY
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Голова	7			-				
2	Тулуб	43			0,44				
3	Плече прав.	3			0,47				
4	Плече ліве	3			0,47				
5	Предпл. прав	2			0,42				
6	Предпл. ліве	2			0,42				
7	Кисть права	1			-				
8	Кисть ліва	1			-				
9	Стегно праве	12			0,44				
10	Стегно ліве	12			0,44				
11	Гомілка права	5			0,42				
12	Гомілка ліва	5			0,42				
13	Стопа права	2			0,44				
14	Стопа ліва	2			0,44				
15		100							

Примітка: центр тяжіння голови знаходиться над верхнім краєм зовнішнього слухового отвору. Центр тяжіння кисті знаходиться на рівні п'ясткового-фалангового зчленування 3-го пальця.

- обчислити моменти кожної біоланки щодо осі абсцис і ординат $P_i x_i$ і $P_i y_i$. Дані записати в колонки 8, 10;

- додаванням моментів сил тяжіння всіх біоланок визначити їхню суму щодо осі абсцис і ординат;

$$P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 \dots P_n x_n = P x_c; \quad (6.1.3)$$

$$P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 \dots P_n y_n = P y_c$$

де P_1, P_2, \dots, P_n - вага окремих біоланок;

P - вага всього тіла;

X_c, Y_c - координати ЗЦТ тіла

Рівняння для суми моментів можна записати інакше:

$$\sum P_i x_i = P x_c, \quad \sum P_i y_i = P y_c \quad (6.1.4)$$

де Σ (сигма) – позначення суми;

$P_i x_i, P_i y_i$ відповідні моменти сил тяжіння окремих біоланок щодо осей OX і OY;

- із рівнянь 4 визначається:

$$X = \frac{\sum P_i x_i}{P}, \quad (6.1.5)$$

$$Y = \frac{\sum P_i x_i}{P} \quad (6.1.6)$$

- числову величину X_c , Y_c відкласти відповідно від осі 0 по осі абсцис (для X_n) і від 0 по осі ординат (для Y_c). З знайдених точок до осей провести перпендикуляри. У точці перетину перпендикулярів знаходиться ЗЦТ тіла в розглянутій площині;

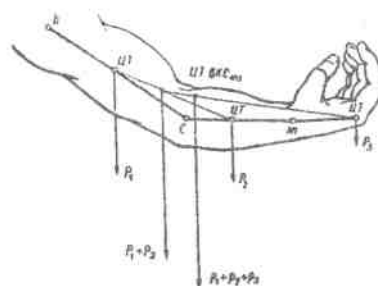
- перенести на фотограми обчислені по формулах значення координат ЗЦТ і дати анатомічну і біомеханічну оцінку положення тіла людини і місця розташування його ЗЦТ.

6.2 Визначення положення ЗЦТ тіла людини графічним методом

На тіло людини діє множина різних сил, що викликають його деформацію. Ці деформації можуть бути настільки значними, що їх легко установити (подовження розтягнутого м'яза, про що свідчить видима зміна об'єму біоланки, і т.д.). Але в більшості випадків деформації мало помітні в порівнянні зі зміною конфігурації всього тіла спортсмена внаслідок переміщення його окремих біоланок. При цьому тіло для зручності досліджень умовно розглядають як абсолютно тверде, тобто таке, у якому дія сил не викликає ніяких деформацій.

Рівнодіюча сил тяжіння до землі всіх частин тіла людини є його вага, а точка прикладення рівнодіючої є його центром тяжіння.

З теоретичної механіки відомо, що кожні дві рівнобіжні сили, спрямовані в одну сторону, мають рівнодіючу їм рівнобіжну, спрямовану в ту ж сторону. Модуль цієї рівнодіючої завжди дорівнює сумі модулів складових сил, а точка прикладання її поділяє відстань між точками прикладання складових на частини, довжина котрих обернено пропорційна цим силам. Проекція рівнодіючої паралельних сил на вісь дорівнює сумі проєкцій складових сил на ту ж вісь. Загальний момент системи спрямованих в одну сторону паралельних сил дорівнює моменту їх рівнодіючої.



Мал. 6.2.1 Схема визначення центру тяжіння верхньої кінцівки графічним методом

Прикладом системи двох паралельних сил, спрямованих в одну сторону, можуть бути сили тяжіння будь-яких сусідніх біоланок (наприклад, плеча і передпліччя - мал. 6.2.1). Ці паралельні сили прикладені в центрах тяжіння

біоланок. Для визначення рівнодіючої їх необхідно скласти. Точка прикладання рівнодіючої знаходиться на лані ii , що з'єднує центри тяжіння плеча і передпліччя. Графічно лінійний розмір ii вектора відповідає сумі векторів складових сил тяжіння і прикладена вона в точці, що поділяє лінію з'єднання центру тяжіння плеча і передпліччя у відношенні, обернено пропорційному модулям їхніх сил тяжіння. Якщо можна графічно таким способом визначити загальний центр тяжіння двох сусідніх біоланок, то не представляє труднощів знайти загальний центр тяжіння всіх біоланок тіла.

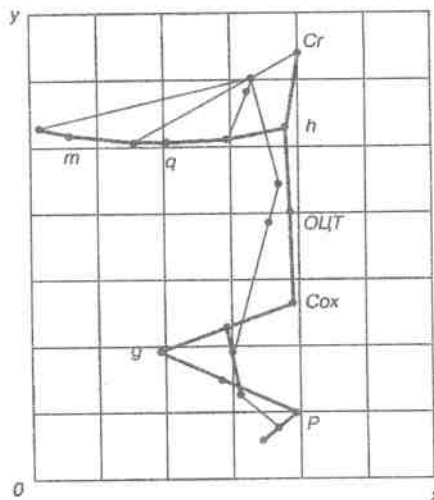
Для визначення ЗЦТ тіла людини графічним методом пропонується наступний хід дій:

- сфотографувати випробуваного у фіксованому положенні в одній, двох або трьох площинах (у залежності від задач дослідження);

- по анатомічним і антропометричним орієнтирам на фотограму нанести точки центрів суглобів і точки центрів тяжіння (ЦТ) голови і костей;

- виміряти довжину всіх біоланок тіла випробуваного, користуючись даними таблиці 6.1.1., визначити центр тяжіння кожної біоланки і позначити точкою на схемі;

- для спрощення розрахунків можна використовувати відносну вагу біоланок (таблиця 6.1.1.) тобто, голова - 7 відносних одиниць ваги, тулуб 43 – відносні одиниці ваги і т.д.



Мал. 6.2.2. Біостатична схема положення тіла людини, побудована для визначення ЗЦТ графічним способом.

- знайти по черзі загальні центри тяжіння кожних двох сусідніх біоланок тіла, для чого прямою лінією з'єднати їхні центри тяжіння. Потім виміряти відстань між ними. Лінія з'єднання ділиться на частини, довжина котрих обернено пропорційна розмірам сил тяжіння біоланок, виражених у відносних одиницях ваги. Місце розташування точки загального центру тяжіння кожної пари біоланок визначається по формулі:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(l-x)}{x} \quad (6.2.1)$$

де: P_1 і P_2 – вага досліджуваних біоланок ;

L відстань між ЦТ цих біоланок;

x – шукана відстань від центру тяжіння одної з біоланок до їхнього загального центру тяжіння;

- урівноважуючи таким же способом рівнодіючі сил тяжіння кожної пари біоланок між собою, знаходимо загальну рівнодіючу для всього тіла і точку її прикладення, що і буде місцем розташування загального центру тяжіння людини в даному положенні його тіла в просторі.

6.3. Визначення ступеня стійкості тіла людини в досліджувані позі по фотограмі

При вивченні рухової діяльності людини часто доводиться визначати ступінь стійкості його тіла. Ступінь стійкості людини, що приймає визначені фіксовані положення в рівновазі, залежить від багатьох чинників, до яких необхідно також додати ступінь відносної рухливості в суглобах основних біоланок його тіла.

Для визначення критеріїв стійкості тіла людини пропонується такий хід досліджень:

- сфотографувати випробуваного у двох площинах; фронтальній і сагітальній;
- по фітограмах зробити необхідні виміри і визначити локалізацію ЗЦТ тіла;
- розрахувати масштаб зображення і скласти розрахункову таблицю 6.3.1;
- провести лінію тяжіння тіла (опустити перпендикуляр з ЗЦТ на площу опори), виміряти її довжину, перевести в реальні розміри відповідно до обраного масштабу і записати в графу 1 таблиці 6.3.1;

Всі лінійні розміри (висота розташування ЗЦТ, сагітальні і фронтальні розміри площі опори, радіуси стійкості, висота прикладання сили, що перекидає), вимірювані на фотограмі в мм, перевести в реальні розміри, виражені в м, використовуючи формулу:

$$L(i) = \frac{l(i)}{M \cdot 1000} \quad (6.3.1)$$

де l (мм) – лінійний розмір за схемою в мм;

M - масштаб схеми або фотограми;

- виміряти сагітальні і фронтальні розміри площі опори тіла, перевести в реальні розміри і дані записати в графи 2, 3 таблиці 6.3.1.

- по фотограмі, виконаній в сагітальній площині, виміряти передній і задній кути стійкості (для цього з ЗЦТ до передньої крайньої точки межі площі опори проводиться похила лінія, потім транспортиром вимірюється кут між нею і лінією тяжіння, аналогічно вимірюється задній і передній кути стійкості тіла), і результати занести відповідно в графи 5 і 6.

- по фотографії, виконаній у фронтальній площині виміряти правий і лівий кути стійкості тіла, результати відповідно внести в графи 7 і 8.

- виміряти радіуси стійкості (r) у всіх досліджуваних напрямках (для цього виміряти відстань від точки перетинання опори лінією тяжіння до передньої, задньої, лівої і правої межі площі опори), перевести отримані дані в реальні розміри і записати відповідно в графи 10, 11, 12, 13;

- обчислити моменти стійкості тіла в усіх напрямках по формулі $M_{ст.} = P \cdot r$, дані записати відповідно в графи 14, 15, 16, 17;

Таблиця 6.3.1

Критерії стійкості тіла

№ п/п	Найменування критерію	Одиниці виміру	Результат
1	Висота розташування ЗЦТ над площею опори	м	
2	Сагітальний розмір площі опори	м	
3	Фронтальні розміри площі опори	м	
4	Розмір площі опори	кв. м.	
5	Передній кут стійкості	градус	
6	Задній кут стійкості	градус	
7	Лівий кут стійкості	градус	
8	Правий кут стійкості	градус	
9	Вага тіла (P)	Н	
10	Передній радіус стійкості r_n	м	
11	Задній радіус стійкості r_3	м	
12	Лівий радіус стійкості r_n	м	
13	Правий радіус стійкості r_{np}	м	
14	Передній момент стійкості M_n	Н · м	
15	Задній момент стійкості M_3	Н · м	
16	Лівий момент стійкості M_m	Н · м	
17	Правий момент стійкості M_{np}	Н · м	
18	Величина сили, що перекидає $F_{пер.}$	Н	
19	Висота прикладання сили, що перекидає	м	
20	Момент, що перекидає $M_{пер.}$	Н · м	
21	Передній коефіцієнт стійкості K_n		
22	Задній коефіцієнт стійкості K_3		
23	Лівий коефіцієнт стійкості K_n		
24	Правий коефіцієнт стійкості K_{np}		

- якщо в одній із площин досліджуваного положення людини відомі діюча на його тіло сил, що перекидає $F_{пер.}$, і точка її прикладання, необхідно обчислити момент сили, що перекидає, по формулі $M_{F_{пер.}} = F_{пер.} \cdot h_{F_{пер.}}$ і дані занести в таблицю;

- діленням моменту стійкості на момент, що перекидає визначити коефіцієнт стійкості тіла людини в даному положенні по формулі:

$$K = \frac{M_{\text{н\ddot{o}}}}{M_{\text{i\ddot{o}}}}$$

результати записати в графи 21, 22, 23, 24;

- дати оцінку ступеня стійкості тіла людини в досліджуваному просторовому положенні його тіла на основі аналізу окремих показників стійкості;

7. ВИМІР БІОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

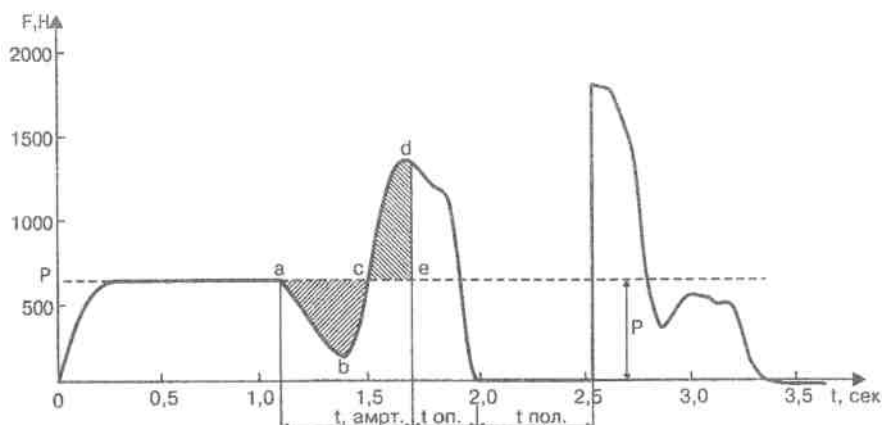
7.1. Оцінка умов взаємодії тіла людини з опорою при різних локомоціях по тензодинамограмі

Одним із головних рухових актів у локомоторних рухах є відштовхування від опори, що виконується за допомогою власне відштовхування ногами від опори і супутніх йому махових рухів вільними кінцівками й іншими ланками тіла.

Дія ваги на опору зустрічає протидію, що називають реакцією опори (або опорною реакцією). Коли вага статична (дія тіла в спокої на нерухому опору), то реакція опори статична і по величині вона дорівнює статичній вазі. Якщо людина на опорі рухається з прискоренням, то до статичної ваги добавляється сила інерції і виникає динамічна реакція опори. Вона може бути більшою або меншою статичної реакції опори, що залежить від напрямку прискорення тіла або окремих її біоланок.

Щоб ЗЦМ змінив рух, необхідна наявність зовнішньої сили, прикладеної до системи, якою є тіло людини. Реакція опори при відштовхуванні саме і є такою необхідною зовнішньою силою. Для вивчення взаємодії спортсмена з опорою при відштовхуванні застосовуються спеціальні вимірювальні пристрої, які називаються тензометричними платформами. Результатом реєстрації при використанні тензодинамоплатформи - графік зміни величини реакції опори або її складових протягом виконання досліджуваної вправи.

Первинний аналіз тензодинамограми розпочинають з аналізу фазового складу руху, визначення тривалості фаз і величин реакції опори в різні моменти часу, а також оцінки деяких кінематичних характеристик рухової дії.



Мал. 7.1.1. Тензодинамограма вертикальної складової реакції опори при стрибку вгору поштовхом двома ногами.

Вивчення вертикальної складової опорної реакції дозволяє виділити наступні фази стрибка вгору поштовхом двома ногами;

- фаза амортизації, що починається в момент початку зменшення опорної реакції і закінчується в момент, коли кут згинання ніг у колінних суглобах найбільший, тобто коли площа фігури *cde* на тензодинамограмі стає рівною площі фігури *abc* (*P* – значення опорної реакції, рівної вазі спортсмена);

- фаза відштовхування закінчується в момент, коли вертикальна складова опорної реакції приймає нульове значення, тобто в момент відриву ніг спортсмена від опори;

- фаза польоту, протягом котрої вертикальна складова опорної реакції дорівнює нулю.

Тривалість окремих фаз визначається шляхом зіставлення тривалості запису цих фаз із швидкістю протяжки стрічки осцилографа або з відміткою часу.

Максимальна швидкість відштовхування обчислюється по виразу:

$$v_{\text{макс}} = gt_{\text{нід}} \quad (7.1.1)$$

$$\text{де: } t_{\text{нід}} = \frac{t_{\text{польоту}}}{2}$$

Максимальна висота підйому ЗЦТ тіла спортсмена під час стрибка визначається по формулі для висоти польоту тіла, кинутого вгору:

$$H = \frac{gt_{\text{нід}}^2}{2} \quad (7.1.2)$$

Аналіз тензограми передбачає наступний хід роботи:

- виміряти на медичних вагах вагу спортсмена – *P*;
- включити самописний прилад і зробити запис "нульової відмітки" тиску на платформу, тобто без випробуваного на тензометричній платформі;

- стати на платформу і зробити запис протягом однієї – двох секунд при навантаженні, рівному власній вазі випробуваного, після чого виконати стрибок вгору поштовхом двома ногами на максимальну висоту;

- зняти із самописця або осцилографа діаграму з результатами експерименту і визначити масштаби запису по зусиллю із за часом (масштаб по зусиллю визначається по величині відхилення запису під дією ваги випробуваного, а за часом – по швидкості протяжки стрічки (при швидкості 50 мм/с масштаб за часом дорівнює 0,02 с/мм) або по відмітці часу, заданої на осцилографі при реєстратурі (наприклад: відстань між двома сусідніми лініями відмітки часу дорівнює 10 мм, що відповідає 0,2 с, масштаб у часі дорівнює 0,02 с/мм);

- використовуючи масштаб часу, визначити тривалість окремих фаз і періодів. Для цього тривалість фази, виміряну в мм, необхідно помножити на величину масштабу часу (наприклад: фаза амортизації, виміряти на графіку, складає 12 мм, масштаб часу 0,02 с/мм).

$$t_{ам} = 0,02с / мм \cdot 12мм = 0,24с$$

Отримані дані занести в таблицю 7.1.1;

Таблиця 7.1.1.

Тривалість фаз і періодів стрибка

Фаза амортизації ($t_{ам}$)	Фаза відштовхування ($t_{відшт}$)	Період опори ($t_{оп}$)	Фаза польоту ($t_{поль}$)	Загальна тривалість виконуваної вправи ($t_{заг}$)

- аналогічно розрахунку масштабу часу визначити масштаб по зусиллю. Для цього вимірюють відстань від «нульового рівня» запису реакції опори до рівня відхилення кривій під впливом ваги спортсмена, яка нам відома (наприклад: відстань $O - P$ (мал.7.1.1) дорівнює 20 мм, вага спортсмена 700Н, масштаб по зусиллю дорівнює $70 Н / 2 мм = 35 Н/мм$);

- визначити величину вертикальної складової реакції опори в моменти часу, котрі нас цікавлять. Для цього необхідно виміряти відстань від «нульової» лінії до перетину її з графіком і отримане число помножити на масштаб по зусиллю (наприклад: максимальне відхилення графіка реакції опори від нульового рівня складає 40 мм, масштаб по зусиллю 35 Н/мм:

$$R_{макс} = 35Н / мм \cdot 40мм = 1400Н$$

Дані обчислень занести в таблицю 7.1.2;

Таблиця 7.1.2

Розрахунок величин реакції опори

Моменти часу	R_i (мм)	R_i (Н)
0		
1		
2		

- якщо необхідно, то по формулах 7.1.1 і 7.1.2 можна розрахувати максимальну швидкість у момент відриву ніг від опори і максимальну висоту підйому ЗЦТ тіла при стрибку.

7.2. Визначення кінематичних характеристик стрибка вгору з місця по тензодинамограмі опорної реакції

Визначення кінематичних характеристик стрибка вгору здійснюється на основі графічного інтегрування, тобто по отриманій тензограмі вертикальної складової реакції опори визначаються вертикальне прискорення, швидкість і переміщення ЗЦМ тіла стрибуна (мал.7.2.1).

Тензодинамограма являє собою графік зміни вертикальної складової сили тиску на опору. Якщо тіло й опора знаходяться в спокої, то реакція опори по величині буде дорівнювати статичній вазі тіла:

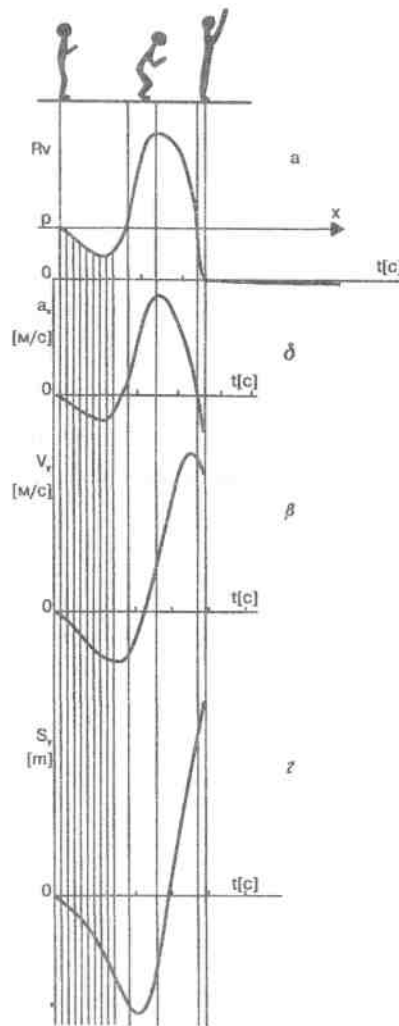
$$R_y = P = m \cdot g \quad (7.2.1)$$

Якщо ж тіло або його окремі біоланки переміщуються з прискоренням, то до статичної сили тяжіння додається прискорююча сила, що дорівнює:

$$F_{np} = m \cdot a_y \quad (7.2.2)$$

Зареєстрована вертикальна складова реакції опори в цьому випадку буде:

$$R_y = P + F_{i\ddot{a}} \quad (7.2.3)$$



Мал. 7.2.1. Графіки вертикальної складової реакції опори і кінематичних характеристик стрибка вгору з місця, де:

R_y – вертикальна складова опорної реакції; a_y – вертикальне прискорення ЗЦМ стрибача; v_y – вертикальна швидкість ЗЦМ стрибача; S_y – вертикальне переміщення ЗЦМ стрибача.

Проведемо на графіку (мал. 7.2.1, а) горизонтальну лінію на рівні $P = m \cdot g$, тоді графік щодо осі P_x покаже, як змінюється прискорююча сила, F , що визначає вертикальне прискорення від моменту початку стрибка до відриву ніг від опори. Початкове значення прискорюючої сили, дорівнює 0, тому що тіло нерухоме на опорі. Потім спортсмен виконує присід, що викликає зниження висоти розташування ЗЦМ. У цій фазі $F_{пр}$ має негативні значення, тому що напрямок вектора цієї сили протилежний напрямку вектора сили тяжіння і рівнодіюча їх менше статичної ваги спортсмена. Подальше збільшення $F_{пр}$ до максимальних величин обумовлено уповільненням руху ЗЦМ, а також зміною його напрямку на протилежний. Наприкінці відштовхування, коли джерела сили, що прискорює (м'язові тяг), вичерпали себе, а тіло діє тільки сила гравітації. У даному випадку вона є силою, що сповільнює рух.

Початкові умови в нашому прикладі зумовлені тим, що тіло спортсмена знаходиться в спокої щодо обраної системи координат, тобто

$$y = (0) = y_0, a_y = 0 = a_0, v_y = 0 = v_0$$

Вирішуючи зворотню задачу динаміки, визначити: силу $F_{np} \rightarrow$ прискорення $a_y \rightarrow$ швидкість $v_y \rightarrow$ переміщення S_y .

Пропонується наступний хід роботи:

- скласти таблицю (таблиця 7.2.1):

Таблиця 7.2.1.

**Визначення кінематичних характеристик стрибка
по тензограмі опорної реакції**

№ п/п	Δt (с)	R_y (мм)	R_y (Н)	$F_{np} = R_y - P$ (Н)	a_y $\frac{F_{np}}{m}$ (м/с ²)	Δv $a_y \cdot \Delta t$ (м/с)	v_y $v_{y_{n-1}} + \Delta v$ (м/с)	ΔS $\Delta v \cdot \Delta t$ (м)	S_y $S_{y_{n-1}} + \Delta S$ (м)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- визначити значення вертикальної складової опорної реакції.

На тензограмі, починаючи з моменту часу $t_0 = 0$, провести вертикальні лінії до перетину їх із кривою R_y .

Часовий інтервал між лініями $\Delta t = 0,01 - 0,05$ с. Далі вимірюємо їх довжину в мм і заносимо в графу 3 таблиці 7.2.1 Довжина цих ліній пропорційна значенням вертикальної складової опорної реакції в розглянуті моменти часу. Для визначення R_y у Н використовуємо масштаб (див. розділ 7.1), а отримані значення записуємо в графу 4.

Значення прискорюючої сили обчислити по формулі:

$$F_{np} = R_y - P \quad (7.2.4)$$

де F_{np} - сила, що прискорює; R_y – вертикальна складова опорної реакції; P – вага спортсмена.

При визначення прискорення ЗЦМ тіла стрибуна потрібно враховувати що сила, яка прискорює тіло у вертикальному напрямку, чисельно дорівнює:

$$F_{np} = \pm ma_y \quad (7.2.5)$$

де: m – маса тіла стрибуна;

a_y - вертикальна складова прискорення ЗЦМ тіла.

Знаючи масу тіла спортсмена формула,

де: P – вага тіла, g – прискорення вільного падіння – $9,8 \text{ м/с}^2$ і прискорюючі силу F_{np} визначити значення a_y по формулі:

$$a_y = \frac{F_{np}}{m} \quad (7.2.6)$$

Обчислити величину прискорення для розглянутих моментів часу і занести в графу 6 таблиці. Отримані дані використати для побудови графіка прискорення ЗЦМ тіла стрибун (мал. 7.2.1, б);

- визначити вертикальну складову швидкості ЗЦМ тіла для виділених моментів часу в опорному періоді стрибка, використовуючи формулу середнього прискорення:

$$a_{сep} = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \quad (7.2.7)$$

відкіля

$$\Delta v = a_{сep} \cdot \Delta t \quad (7.2.8)$$

Вертикальна складова швидкості V_y у деякий момент часу n буде дорівнювати:

$$v_{yn} = v_{yn-1} + \Delta v_y \quad (7.2.9)$$

Результати розрахунків Δv_y і v_y занести відповідно в графи 7 і 8. Значення v_y використовують для побудови графіка вертикальної складової швидкості ЗЦМ тіла стрибун. Необхідно врахувати, вертикальна швидкість ЗЦМ тіла стрибун може мати негативні значення, що відповідає напрямку руху вниз (мал. 7.2.1, в);

- визначити вертикальне переміщення ЗЦМ тіла в опорному періоді стрибка, використовуючи формулу:

$$v_y = \frac{\Delta S_y}{\Delta t} \quad (7.2.10)$$

відкіля:

$$\Delta S_y = v_y \cdot \Delta t \quad (7.2.11)$$

Переміщення за деякий проміжок часу обчислити по формулі:

$$S_y = S_{yn-1} + \Delta S_y \quad (7.2.12)$$

Результати розрахунків ΔS_y і S_y занести в графи 9 і 10.

На підставі даних S_y побудувати графік вертикального переміщення ЗЦМ тіла стрибун (мал. 7.2.1 г).

- провести аналіз динамічних і кінематичних характеристик стрибка. Для цього необхідно: а) звернути увагу на моменти нульових і екстремальних величин R_y , a_y , v_y , S_y ; прискорення досягає своїх максимальних величин – швидкість у цей момент дорівнює нулю, при прискоренні рівному нулю – швидкість максимальна, швидкість негативна – рух ЗЦМ вниз і т.д.; б) визначити максимальну висоту підйому ЗЦМ тіла спортсмена під час стрибка:

$$H = \frac{v_y^2}{2g} \quad (7.2.13)$$

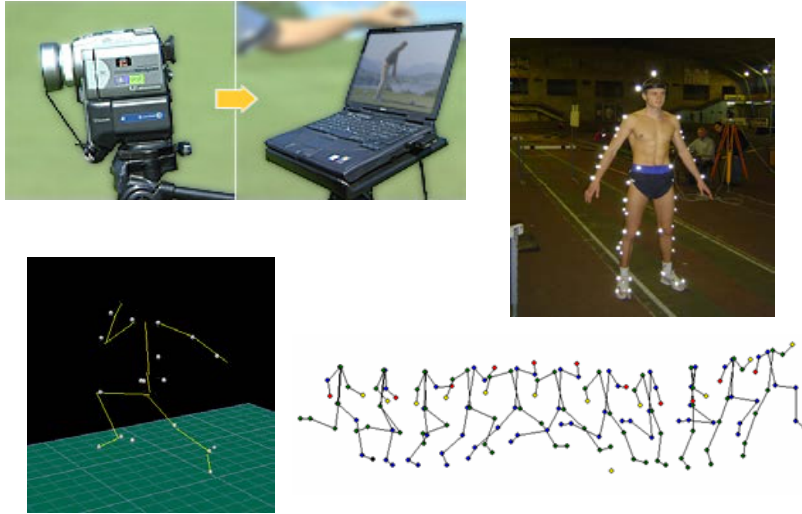
де: H – висота стрибка; v_y - вертикальна складова швидкості в момент відриву тіла стрибуна від опори;

- відзначити які недоліки в техніці стрибка виявлені в спортсмена і які рекомендації можуть бути запропоновані даному спортсмену для збільшення висоти стрибка, а також відмітити як при цьому повинні змінюватися R_y , a_y , v_y , S_y (зобразити графічно).

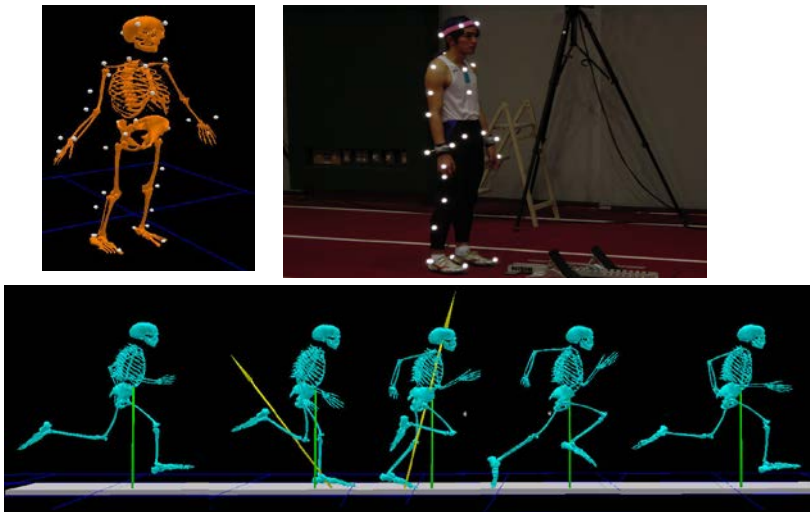
Список використаної та рекомендованої літератури:

1. Биомеханика физических упражнений (под. общей ред. Котиковой Е.А.). М.: ФиС, 1939. – С. 47-38.
2. Гернет М.М., Тихонов В.Н. Экспериментальное определение моментов инерции человеческого тела и его верхних и нижних конечностей. М.: Теория и практика физической культуры, 1987, №11. - С.79-80.
3. Донской Д.Д., Зациорский В.М. Биомеханика. М.: ФиС, 1979. - С. 61-186.
4. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники. М.: ФиС, 1971. - С. 159-161.
5. Жуков Е.А., Котельникова Е.Г., Семенов Д.А. Биомеханика физических упражнений. М.: ФиС, 1963. - С. 101-107.
6. Жуков Е.А., Котельникова Е.Г., Семенов Д.А. Биомеханика физических упражнений. М.: ФиС, 1980 С. 95-96.
7. Лапутин А.Н. Биомеханика физических упражнений. Київ. Вища школа, 1976. - С. 39-47.
8. Лапутин А.Н., Кашуба В.А. Формирование массы и динамика гравитационных взаимодействий тела человека в онтогенезе. Киев: Знання, 1999. – 204 с.
9. Лапутін А.М. Дидактична біомеханіка: проблеми і рішення. Ж-л “Наука в олімпійському спорті”, № 2(3), 1995. С 42-51.
10. Лапутін А.М., Хоменко Б.Г, Хабінець Т.О. та ін. Методичні рекомендації до проведення лабораторних занять з біомеханіки. КДПІ ім. М.П. Драгоманова, КДІФК, 1992. – 48 с.
11. Лапутін А.М., Хоменко Б.Г, Хабінець Т.О., Гамалій В.В. Методичні розробки з теоретичного курсу ”Біомеханіка” – тези лекцій з біомеханіки КДПІ ім. М.П. Драгоманова, КДІФК, 1993 . - 22 с.
12. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механіка спортивних рухів. М: ФиС, 1974. - С. 58-68.
13. Петров В.А., Гагин Ю.А. Механика спортивных движений. М.: ФиС, 1974. - С.142-228.
14. Практикум по биомеханике (под общ. ред. Козлова И.М.). М.: ФиС, 1980. - С. 17-20, 39-40.
15. Шалманов А.А., Шалманов И.А. Биомеханика взаимодействия с опорой в прыжковых упражнениях. - М.: ФиС, 1986. – С. 4-28.
16. Энока Р.М. Основы кинезиологии. Киев. Олимпийская литература, 1998. С. 50-55.
17. Bernard Drouin. Biomecanique du mouvement humain. W.B. Saunders Company Philadelphia, 1986, p. 41-96.

Видеокomпьютерная система
анализа двигательных действий
«QUALISYS»



Видеокomпьютерная система
анализа двигательных действий
VICON



ОБСЯГИ ВИМОГ З БІОМЕХАНІКИ
для студентів 2 курсу

(Теоретичні питання)

1. Історія розвитку біомеханіки.
2. Основні напрямки розвитку біомеханіки.
3. Предмет та задачі біомеханіки спорту.
4. Методи біомеханіки.
5. Схема біомеханічного аналізу рухових дій.
6. Розрахунок та зображення лінійних швидкостей та прискорень.
7. Реакція опори (статична та динамічна) і дія середовища.
8. Кінематичні характеристики рухів спортсмена. Одиниці вимірювання і способи визначення.
9. Рухова функція, рухова активність, рухи людини, рухові дії - понятійний апарат.
10. Біоенергетика рухових дій, перетворення механічної енергії. Розсіювання і рекуперація енергії.
11. Кінозйомка, відеозйомка. Побудова біокінематичної схеми та її аналіз.
12. Особливості біомеханічних систем рухового апарату (ланцюги, ричаги, маятники), ступені волі і зв'язки, керованість.
13. Біомеханічні властивості м'язів і умови проявлення їхньої сили тяги.
14. Сили в руках людини.
15. Біомеханіка м'язової активності; сили активні і пасивні; залежності механічні, анатомічні та фізіологічні.
16. Показники освоєння рухів.
17. Біодинаміка бігу на різні дистанції, фазовий склад, механізм відштовхування. Особливості оздоровчого бігу.
18. Види структур системи рухів і структурні взаємодії різних елементів в рухових діях.
19. Раціональність спортивної техніки і її показники. Приклади з вибраного виду спорту.
20. Онтогенез моторики та прогнозування її розвитку.
21. Просторові характеристики рухів. Методики їх визначення.
22. Повна механічна енергія тіла людини (потенційна, кінетична).
23. Часові характеристики. Фазовий склад рухів та побудова хронограм.
24. Внутрішні сили тіла людини (активні і пасивні), їх роль в рухових діях.
25. Будова тіла і моторика людини, залежність рухових можливостей від розмірів та пропорцій тіла.
26. Побудова графіків кінематичних характеристик. Взаємозв'язок зміни швидкості та прискорення при розгоні і гальмуванні біоланок тіла.
27. Рекуперація енергії в м'язах. Способи збереження енергії.
28. Показники технічної майстерності у вибраному виді спорту.
29. Побудова хронограм фізичних вправ.
30. Енергетичні характеристики, одиниці вимірювання, методи розрахунку.

31. Особливості моторики жінок, зміни пов'язані з віком жінки. Використання біомеханічних методів в оздоровчих заходах для жінок.
32. Біомеханічний аналіз тензодинамограми (на прикладі стрибка в висоту з місця).
33. Біомеханічні основи побудови фізичних вправ. Класифікація фізичних вправ.
34. Залежність між силовими та швидкісними якостями. Значення вагарів при появленні швидкісних якостей.
35. Методика побудови біокінематичної схеми фізичних вправ по кінограмі.
36. Методика визначення лінійних швидкостей по кінематичній схемі фізичної вправи та побудова графіка її змінювання.
37. Методика визначення загального центру тяжіння тіла аналітичним методом.
38. Розкрити поняття термінів: рухові дії, рухові навички, рухові вміння.
39. Методика визначення загального центру тяжіння (з. ц. т.) тіла графічним методом.
40. Методика визначення часових показників рухів по кінематичній схемі фізичної вправи. Побудова хронограм.
41. Оптичні методи дослідження рухів, апаратура, одержувані характеристики.
42. Біодинаміка видів ходьби (спортивної, звичайної, раціональної) їх фази. Задачі оздоровчої ходьби.
43. Методика вимірювання кутів в суглобах по біокінематичній схемі фізичної вправи та побудова гоніограм.
44. Умови рівноваги твердого тіла і біомеханічної системи тіл. Види рівноваги.
45. Інерційні характеристики рухів та їх значення.
46. Біомеханічний аналіз бігового кроку.
47. Методика визначення моменту інерції тіла чи його окремих ланок по фотограмі.
48. Абсолютна ефективність володіння спортивною технікою і її показники.
49. Порівняльна ефективність володіння спортивною технікою і її показники.
50. Реалізаційна ефективність володіння спортивною технікою і її показники.
51. Типи локомоцій по Бореллі, види спортивних локомоцій.
52. Системи відліку відстаней і часу. Початок, напрямок, одиниці відрахунку. Види систем відліку.
53. Рухові переваги і їх значення в спорті.
54. Силкові характеристики і методи дослідження, які використовуються для їх вимірювання.
55. Математичне моделювання і оптимізація спортивної техніки.
56. Показники стійкості твердого тіла і відновлення положення тіла людини.
57. Біодинаміка рухів з опорою на воду (плавання, гребля).
58. Класифікація рухових дій.

59. Види рухових дій та їх характеристика.
60. Просторово-часові характеристики. Розрахунок швидкостей і прискорень по біокінематичній схемі, їх взаємозв'язок.
(Практичне завдання)
61. Практичне завдання по розрахунку коефіцієнта стійкості.
62. На запропонованій тензограмі стрибка визначити тривалість окремих фаз стрибка і максимальну величину сили реакції опори.
63. По кінограмі побудувати біокінематичну схему пропонуємої фізичної вправи.
64. По біокінематичній схемі фізичної вправи визначити момент інерції біоланок або всього тіла відносно обраної осі обертання.
65. По фотограмі фіксованої пози дати оцінку статичної рівноваги у різних напрямках (праворуч, ліворуч, вперед, назад) за критеріями стійкості тіла.
66. По кінограмі фізичної вправи визначити просторово-часові характеристики досліджуваної точки тіла спортсмена.
67. По фотограмі пози спортсмена визначити показники стійкості тіла.
68. По тензодинамограмі стрибка вгору з місця визначити показники опорних взаємодій і їх вплив на висоту стрибка.
69. По фотограмі визначити місцезнаходження ЗЦМ тіла людини у фіксованій позі.
70. По відеограмі поз тіла спортсмена при виконанні фізичної вправи розрахувати кінетичну енергію рухів верхньої кінцівки.
71. По відеограмі поз тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ визначити потенційну енергію нижньої кінцівки.
72. По відеограмі визначити кінетичну енергію обертального руху одного сегменту тіла за вибором.
73. Провести біомеханічний аналіз техніки рухової дії за відомими кінематичними характеристиками.
74. По тензодинамограмі стрибка вгору з місця визначити фазовий склад стрибка і тривалість кожної фази.
75. По тензодинамограмі визначити силові характеристики максимальної величини реакції опори, градієнт сили.
76. По тензодинамограмі визначити висоту стрибка, швидкість вильоту тіла, час фази польоту та взаємозв'язок цих характеристик між собою.
77. По фотограмі статичної пози визначити динамічні (керовані) критерії (показники) стійкості тіла людини.
78. По фотограмі пози визначити статичні (некеровані) показники стійкості тіла.
79. По біокінематичній схемі пози визначити момент інерції тіла відносно вісі обертання, яка проходить через ЗЦМ.
80. По кінограмі удару футболіста по м'ячу провести аналіз фазового складу і розрахувати тривалість кожної фази.