

## Лекція 3.

# ПОНЯТТЯ МЕХАНІКИ ТІЛА ЛЮДИНИ ТА ПАРАМЕТРИ ЇЇ ОПИСУ

### План лекції

1. Механізм програмування й управління рухом у людини
2. Параметри, які використовуються в механіці живого тіла
3. Біомеханічні особливості м'язової системи

Аналіз анатома–фізіологічних особливостей опорно–рухового апарату на основі законів механіки має велике прикладне значення і становить предмет особливої науки – *біомеханіки*. Дані останньої використовуються в ергономіці, в першу чергу, для раціоналізації трудових рухів. При вивченні структури рухів враховується, що в будь–якому русі беруть участь не всі, а лише певні групи м'язів.

### 1. Механізм програмування й управління рухом у людини

Рухи (включаючи мовлення й письмо) – головний спосіб взаємодії організму людини з оточенням. У цій взаємодії рефлексорні відповіді, спонукувані стимулами зовнішнього середовища, що спонукаються лише частину рухової активності; інша її частина – це активність, яка ініціюється «зсередини». Мозок не просто відповідає на стимули, що надходять ззовні, він перебуває в постійному діалозі із середовищем, причому ініціатива в ньому належить саме мозку.

#### *Загальні відомості про нервово–м'язову систему*

Стосовно людини об'єктом керування є опорно–руховий апарат. Своєрідність скелетно–м'язової системи полягає в тому, що вона складається з великої кількості ланок, рухливо з'єднаних у суглобах. Суглоби можуть дозволяти ланкам повертатися відносно однієї, двох або трьох осей, тобто володіти одним, двома або трьома ступенями волі. Кістякові м'язи являють собою дуже своєрідні двигуни, які перетворюють хімічну енергію безпосередньо в механічну роботу й теплоту. Як же нервова система управляє м'язом? Один руховий нейрон (мотонейрон) іннервує не весь м'яз, а лише невелику частину складових його волокон. Мотонейрон і група, яка іннервує м'язові волокна, утворюють рухову одиницю.

#### *Пропріоцепція*

Для успішної реалізації рухів необхідно в будь–який момент часу мати інформацію про положення ланок тіла у просторі і про те, як протікає рух. У той же час рух є потужним способом одержання інформації про навколишній світ.

Особливе значення для керування рухами мають сигнали двох типів м'язових рецепторів – м'язових веретен і сухожильних рецепторів Гольджи. У кожному м'язі людини можна зустріти групи більш тонких і коротких, ніж інші, м'язових волокон, укладених у сполучно–тканинну капсулу довжиною в кілька міліметрів і товщиною в кілька десятків мікронів. Через свою форму ці

утворення одержали назву «м'язові веретена», а ув'язнені в капсулу м'язові волокна називаються «інтрафузальними» (внутрішньоверетенними).

### *Центральні апарати управління рухами*

У керуванні рухами беруть участь практично всі відділи центральної нервової системи – від спинного мозку до кори великих півкуль. Нервові механізми стовбура мозку істотно збагачують руховий репертуар, забезпечуючи правильну поставу тіла у просторі за рахунок шийних і лабіринтових рефлексів та нормального розподілу м'язового тону. Важлива роль у координації рухів належить мозочку.

У людини рухові функції досягли найвищої складності, у зв'язку з переходом до прямостояння і прямоходіння. Це ускладнило завдання підтримання рівноваги. У керування рухами людини включені вищі форми діяльності мозку, пов'язані зі свідомістю, що дало підставу називати відповідні рухи «довільними».

### *Координація рухів*

Координацію можна визначити як здатність реалізувати рух відповідно до його задуму. Навіть для найпростішого руху – руху в суглобі з одним ступенем волі – необхідна узгоджена робота як мінімум двох м'язів: агоніста й антагоніста.

На кінцевий результат руху впливають не тільки сили, що розвиваються м'язами, але й сили нем'язового походження. До них відносяться сили інерції, що створюються масами ланок тіла, які утягуються в рух, а також сили реакції, що виникають у кінематичних ланцюгах при зсуві кожної з ланок. Сили нем'язового походження втручаються у процес руху й роблять необхідним безперервне узгодження з ними діяльності м'язового апарата. Крім того, необхідно нейтралізувати дію непередбачених перешкод, які можуть виникати в зовнішній середовищі, й оперативно виправляти допущені в ході реалізації рухів помилки.

### *Типи рухів*

Рухи людини є дуже різноманітними, однак їх всі можна звести до невеликої кількості основних типів активності: забезпечення пози й рівноваги, локомоція й довільні рухи.

Підтримання пози в людини забезпечується тими ж фізичними м'язами, що і для руху, а спеціалізовані тонічні м'язи відсутні. Відмінність полягає в тому, що при «позній» діяльності м'язів сила їх скорочення звичайно є невеликою, режим є близьким до ізометричного, а тривалість скорочення – великою. В «позній» або постуральний режим роботи м'язів утягуються переважно низькопорогові, повільні та стійкі до стомлення рухові одиниці.

## 2. Параметри, які використовуються в механіці живого тіла

Вивчення механіки живого тіла людини починається з визначення центру його ваги.

*Загальний центр ваги тіла* під час вільного стояння у чоловіків зазвичай знаходиться на 1,5 см позаду від передньонижнього краю тіла V поперекового

хребця, а у жінок – на 0,5 см попереду від передньонижнього краю тіла І крижового хребця і на 3 см нижче, ніж у чоловіків.

Положення центру ваги залежить від фізичних особливостей людини – її постави, статури, статевих і вікових відмінностей (розвитку мускулатури, масивності кістяка, жировідкладення та ін.). У дітей центр ваги розташований вище, ніж у дорослих; у важкоатлетів – нижче, ніж у гімнастів, і т.д. Тіло є тим стійкішим, чим нижче розташований центр його ваги. Чим довше ноги, тим вище центр ваги і менш стійким є тіло, тому відношення їх довжини до тулуба має певне значення при рухах, пов'язаних з відкиданням (хитанням) тулуба назад.

Перпендикуляр, опущений з центру ваги, так звана вертикаль тяжкості, проектується на *площу опори*, якою є підошвова поверхня обох стоп і розташований між ними простір.

Площа опори збільшується при роздвіганні стоп. Рівновага людського тіла, підкоряючись законам фізики, є тим стійкішою, чим більшою є ця площа і чим ближче до центру в її межах проектується вертикаль тяжкості. Рівновага порушується відразу ж, як тільки ця вертикаль виноситься за межі площі опори.

Тіло людини не є монолітним цілим: воно складається з окремих рухливо з'єднаних ланок. Збереження ним рівноваги пов'язане з особливостями будови, які забезпечують взаємне зміцнення цих ланок. Для утримання тіла у вертикальному положенні головне значення мають скелет і м'язи, які протидіють силі тяжіння.

*Положення* людського тіла може бути *статичним* або *динамічним*. До першого належать, наприклад, положення стоячи і сидячи, до другого – ходьба, біг, стрибки тощо. В обох положеннях тілу властива певна поза або постава.

*Поза*. Кожній людині є властивою специфічна для неї поза, тобто положення тіла під час стояння, сидіння, ходьби і роботи. Поза виражає врівноваженість тіла в навколишньому середовищі і зазвичай підтримується статичною роботою м'язів. Анатомічну основу пози складають форма хребта і грудної клітки, а також ступінь розвиненості різних м'язових груп тулуба. Поза в неменшій мірі зумовлена і функціональними чинниками – тонусом мускулатури і станом нервової системи. Усе разом узятє і визначає положення голови, плечового пояса, рук, тулуба, таза і ніг.

*Постава (осанка)* – це звична поза (вертикальна поза, вертикальне положення тіла людини) у спокої і при русі.

«Звичне положення тіла» – це те положення тіла, яке регулюється несвідомо, на рівні безумовних рефлексів, так званим руховим стереотипом. Людина має тільки одну, властиву тільки їй звичну поставу. Постава зазвичай асоціюється з виправкою, звичною позою, манерою тримати себе.

Біомеханіка розглядає поставу як комбінацію положень всіх суглобів і сегментів тіла в даний конкретний момент часу. Осанка – це застиглий рух. З точки зору біомеханіки, осанка визначається скелетною рівновагою і характеризується розподілом центрів ваги окремих сегментів тіла. Постава – комбінація положень всіх суглобів тіла в даний конкретний момент часу. Вона є поєднанням позицій всіх суглобів тіла в деякий певний момент.

Осанка так само характеризує індивідуальність дорослої людини, як, наприклад тембр голосу або почерк. Зупинімося на двох крайніх типах осанок: правильній і поганій.

При правильній, або стрункій, осанці фізіологічні вигини хребта мають рівномірно–хвилеподібний вигляд. Голова тримається прямо або злегка відкинута назад, тулуб розташований вертикально. Груді трохи виступають над животом. Плечі розгорнуті і знаходяться на рівній висоті, плечовий пояс помірно опущений, руки вільно звисають уздовж тулуба. Ноги випрямлені в колінах, п'яти зближені, а носки розгорнуті.

При поганій осанці голова висунута, шийні м'язи перенапружені; поперековий лордоз і грудний кіфоз сильніше підкреслені (кругла спина); живіт виступає, а груди западають; плечі подані вперед; ноги розігнуті в колінних суглобах.

### 3. Біомеханічні особливості кісткової системи

Рухова діяльність людини вимагає злагодженої роботи організму в цілому, але головна роль при цьому належить руховому апарату. З механічної точки зору, руховий апарат людини являє собою механізм, що складається зі складної системи важелів, що приводяться в дію м'язами. Однак при вивченні рухів людини і причин, що їх викликають, було б неправильно обмежуватися тільки положеннями механіки. Для того щоб зрозуміти принцип дії рухового апарату, необхідно спиратися на біологічну природу "механізмів" людського тіла. Аналіз діяльності рухового апарату, з біологічної точки зору, дозволяє розкрити своєрідність будови і принцип дії "живих механізмів". Таким чином, вивчаючи рухи людини, необхідно добре знати, як влаштований її опорно–руховий апарат з точки зору біомеханіки. Це означає, що слід чітко уявляти собі принципи будови його пасивної (кістки та їх з'єднання) і активної (м'язова система) частин. На відміну від анатомії, яка вивчає всі деталі будови тіла, для біомеханіки важливо виявити саме ті особливості будови, від яких залежать властивості органів опори і руху, а також їх участь у виконанні рухової функції.

У біомеханічному дослідженні неможливо врахувати будову і функції тіла в усіх їх особливостях. Для вивчення рухів будують модель тіла – біомеханічну систему. Вона володіє основними властивостями, істотними для виконання рухової функції, і не включає в себе безліч окремих деталей. Таким чином, біомеханічна система – це спрощена копія, модель тіла людини, на якій можна вивчати закономірності рухів.

Рухову частину людини складають кісткова і м'язова системи.

Основною властивістю, якою володіє кісткова система, є пружність.

*Пружність* – здатність протидіяти навантаженням.

Навантаженнями називаються сили, що прикладені до тіла і в сукупності викликають його деформацію. Розрізняють навантаження, що викликають розтягування, стиснення, вигин і кручення.

Навантаження, що зумовлюють розтяг, виникають, наприклад, при висах або під час утримання вантажу в опущених руках.

Навантаження, що створюють стиск кісток, зустрічаються найчастіше при вертикальному положенні тіла на опорі. У цьому випадку на скелет діють, з одного боку, сили тяжіння тіла і вага зовнішніх обтяжень, а з іншого – тиск опори.

Навантаження, що викликають вигин, зазвичай зустрічаються, коли кістки виконують роль важелів. У цих випадках додані до них сили м'язів і сили опору спрямовані поперек кісток і викликають вигин.

Навантаження, що зумовлюють кручення, найчастіше зустрічаються при обертальних рухах ланки навколо поздовжньої осі.

*З'єднання ланок.* З'єднання кісткових ланок зумовлюють різноманіття можливостей рухів. Від способу з'єднання та участі м'язів у рухах залежить їх напрямок і розмах (просторова форма рухів).

*Ступені свободи руху.* Суглоби, пов'язуючи в єдине ціле частини тіла, зберігають можливості для їх рухання. Якщо частина тіла може рухатися тільки по одній траєкторії, причому можливості рухів по всіх інших траєкторіях обмежуються зв'язками, в механіці говорять про *один ступінь свободи* або про *ступінь рухливості*.

Абсолютно вільне тіло має шість ступенів свободи. Воно може обертатися навколо трьох основних взаємно перпендикулярних осей, а також рухатися уздовж кожної з цих осей.

Якщо закріпити тіло в одній точці, то у нього залишиться тільки три ступені свободи: воно може обертатися навколо цієї точки у трьох основних напрямках (площинах). При закріпленні тіла ще в одній точці воно ніби насаджується на вісь, яка з'єднує обидві дані точки. У цьому випадку зберігається лише один ступінь свободи: тіло може обертатися лише навколо осі, що проходить через обидві закріплені точки.

Якщо ж закріпити тіло і в третій точці, що не лежить на одній прямій з іншими двома точками, то воно втратить останній ступінь свободи – буде закріплене нерухомо.

Можливості рухів окремих точок тіла при його закріпленні є дещо іншими. При одній закріпленій точці будь-яка точка цього тіла має тільки два ступені свободи, тобто вона може рухатися тільки у двох напрямках по кульовій поверхні. При двох закріплених точках тіла у будь-якої його точки буде лише один ступінь свободи, тобто можлива одна траєкторія руху. Само собою зрозуміло, що у тіла, закріпленого у трьох точках, немає ні одного ступеня свободи. У абсолютно вільного тіла будь-яка точка має всього три ступені свободи, тобто може рухатися в будь-якому з трьох напрямків тривимірного простору.

Поняття про ступені свободи допоможе розібратися в питанні про рухливості частин тіла. Декілька рухливо з'єднаних ланок створюють кінематичні пари та ланцюги.

*Біокінематична пара* – це рухоме (кінематичне) з'єднання двох кісткових ланок, в якому можливості рухів визначаються будовою з'єднання і керуючим впливом м'язів.

*Кінематична ланцюг* – це послідовне або розгалужене з'єднання ряду кінематичних пар. Кінематичний ланцюг, в якому кінцева ланка є вільною,

називають незамкненим, а ланцюг, у якого немає вільної кінцевої ланки, – замкненим.

У кожному з'єднанні незамкненого ланцюга можливі ізольовані руху. Вони геометрично є незалежними від рухів в інших з'єднаннях (якщо не враховувати взаємодії м'язів). Наприклад, вільні кінцівки, коли їх кінцеві ланки є вільними, являють собою незамкнуті ланцюга. Замкнутими кінематичними ланцюгами в тілі людини є, наприклад, грудина, ребро, хребет, ребро і знову грудина.

Такі замкнуті ланцюги розімкнути неможливо. Незамкнуті можуть замикатися, причому часто через опору. У складній піраміді, яку склали складеної кількоа акробатів, утворюються навіть свого роду "мережі" (у площині) і "грати" (у просторі) з дуже складною взаємною залежністю рухів ланок.

Таким чином, рухи в незамкнутих ланцюгах характеризуються відносною незалежністю ланок. У замкнутих ланцюгах рух одних ланок впливає на рухи навіть віддалених ланок (допомагає або заважає їм).

У замкнених колах можливостей для рухів менше, але управління ними є більш точним, ніж у незамкнених.

Кістки, з'єднані рухомо, утворюють основу біокінематичних ланцюгів. Додані до них сили (м'язові тяги та ін.) діють на ланки біокінематичних ланцюгів як на важелі. Це дозволяє передавати дію сили по ланцюгах, а також змінювати ефект докладання зусиль. Таким чином, важіль як найпростіший механізм служить для передачі руху і сили на відстань.

Розрізняють важелі першого роду (двуплечий) і другого роду (одноплечий). Перший характеризується тим, що дві групи сил докладено по обидві сторони від осі (точки опори) важеля, а удругому випадку – по один бік.

Незалежно від виду важеля в кожному з них виділяють:

- 1) точку опори;
- 2) точку прикладання сил;
- 3) плечі важеля (відстань від точки опори до місця прикладання сил);
- 4) плечі сил (довжина перпендикуляра, опущеного з точки опори на лінію дії сили).

Мірою дії сили на важіль служить її момент відносно точки опори. Тому для рівноваги або рівномірного обертального руху ланки як важеля необхідно, щоб протилежно спрямовані моменти сил відносно осі важеля були рівними. Задля прискорення (гальмування) ланки один момент сили має бути більшим за другий.

За допомогою важеля можна виграти в силі. Для цього потрібно діяти м'язовою силою на більш довге плече. Згідно із "золотим правилом механіки", виграючи в силі, одночасно програємо в дорозі і швидкості. І навпаки, якщо діяти м'язовою силою на коротке плече, то можна виграти в дорозі і швидкості за рахунок програшу в силі.

У більшості випадків м'язи прикріплені близько від суглоба і підходять до кістки під гострим кутом. Тому плече сили тяги м'яза, як правило, є невеликим. Зазвичай плече сили тяги м'язів є меншим за плече сили опору, і, отже, при роботі м'язів виходить програш у силі і виграш у дорозі та швидкості

руху. Для деякого збільшення плеча сили тяги м'язів велике значення мають кісткові виступи, горби, сесамоподібні кісточки, до яких м'язи прикріплені або через які вони переходять. Виступи, горби, сесамоподібні кісточки збільшують кут підходу м'яза до кістки як до важеля, тим самим збільшують плече сили тяги м'яза і момент обертання м'язової сили.

Можна вказати ще й на третю причину деяких втрат у силі м'язів. За великих навантажень напружуються всі м'язи, що оточують суглоб. М'язи–антагоністи, створюючи моменти сил, спрямованих протилежно, корисної роботи не виробляють, а енергію витрачають. Але в кінцевому рахунку в цьому є певний сенс: хоча й виникають втрати енергії, суглоб під час великих навантажень отримує зміцнення напругою м'язів, які його оточують.

#### 4. Біомеханічні особливості м'язової системи

Основна функція м'язів полягає в перетворенні хімічної енергії в механічну роботу або силу.

М'яз як фізичне тіло має набір механічних властивостей (пружність, в'язкість, повзучість, релаксація), а як живий орган також і біологічні властивості (збудливість, скоротність), що відіграють важливу роль при виконанні рухів.

Пружність м'язів проявляється в напрузі, коли м'яз розтягується під дією навантаження.

У міру збільшення навантаження м'яз подовжується і при цьому зростає його напруга. Звідси випливає:

1) навантаження розтягує м'яз, подовжуючи його, тобто для розтягування м'яза необхідно прикласти силу;

2) у міру подовження м'яза його напруга збільшується, отже, щоб викликати напругу м'яза (без додаткового збудження), необхідно його розтягти;

3) прикладене навантаження визначає величину напруги м'яза; таким чином, щоб отримати велику напругу, треба докласти більше навантаження (опір тязі м'яза) – дія дорівнює протидії;

4) пружність м'яза є нелінійною;

5) за відсутності навантаження довжина м'яза є найменшою ("вільна довжина" м'яза) – нерозтягнутий м'яз не напружений;

б) в умовах організму довжина м'яза більше "вільної довжини" і м'яз дещо напружений, тобто завжди має "тонус" спокою.

Такими є особливості пружних властивостей у збуджених м'язах.

В'язкість м'язів проявляється в запізнюванні деформації м'язів за зміни навантаження.

За меншої в'язкості м'язів зміна їх довжини відстає від зміни напруги як при розтягуванні м'язів, так і при їх скороченні. У цьому випадку м'яз, хоча і не відразу, але все ж повертається до вихідного стану. За більшої в'язкості уповільнення збільшується і м'яз довше не повертається до вихідного стану – виявляється залишкова деформація. При цьому є неминучою втрата енергії. Вважають, що в'язкість м'язів збільшується за швидких рухів і за значного

збудження, тобто якраз в умовах виконання важкої фізичної роботи. Однак розігрівання м'язів при розминці знижує в'язкість, зменшує гальмування при скороченні і розтягуванні м'язів. Отже, під час роботи важливо для зниження в'язкості зберігати в розігрітих м'язах тепло.

Повзучість м'язів проявляється в подовженні м'язів із часом, незважаючи на те, що напруга не змінюється.

Ця властивість характеризує мінливість співвідношення "довжина – напруга" м'язів, не залежну безпосередньо від їх руху, тобто від управління м'язами як живими органами. Так, наприклад, навантажені (напружені) м'язи, маючи відповідну довжину, через деякий час за тих самих навантажень і напруги можуть почати збільшуватися. Залишкова деформація, згадана вище, теж може розглядатись як прояв повзучості.

Релаксація м'язів проявляється у зменшенні їх напруги, незважаючи на те, що довжина їх не змінюється.

Релаксація полягає в тому, що розтягнуті м'язи, зберігаючи довжину, поступово з плином часу зменшують своє напруження, розслабляються. Прояви повзучості і релаксації м'язів розглядаються поза прямої залежності від їх руху. Для живого організму такий підхід є чисто умовним. Сенс його полягає в тому, що навіть з позицій механіки не слід розглядати зв'язок напруги і довжини м'язів як постійне співвідношення.

Сукупність механічних властивостей (пружнов'язких, повзучості і релаксації) у всіляких поєднаннях в різних умовах, по суті, і є те, що називається еластичністю м'яза.

Високоеластичним м'язам властиві значна розтяжність, велика жорсткість при великому розтягуванні (нелінійна пружність) і малі втрати енергії (невелика в'язкість) при деформаціях. І хоча механізм, що забезпечує названі властивості, ще не повністю пояснений, їх прояви дуже важливо враховувати при вивченні способів підвищення ефективності дії м'язів у рухах.

До біологічних властивостей м'язів відносять їх збудливість і здатність скорочуватись.

*Збудливість м'язів* – їх властивість переходити в стан збудження, який проявляється у зміні їх напруги, пружності, в'язкості тощо.

*Скорочення м'язів* – їх властивість при русі скорочуватися, тобто за того ж навантаження і напруги змінювати довжину, зменшуватися.

За однакової напруги м'язів і однакового навантаження їх довжина стає менше – м'язи скорочуються. Якщо зменшити збудження або ж збільшити навантаження, м'яз розтягується. Отже, зміни довжини м'язів – їх скорочення і розтягування (подовження) – визначаються ступенем їх порушення та величиною навантаження. Все це говорить про те, що прояв активності (режим роботи) м'язів визначається зміною їх довжини, або напруги, або того й іншого одночасно.

Розрізняють такі режими роботи м'язів:

- ізотонічний (напруга є однаковою – змінюється довжина м'яза);
- ізометричний (довжина м'язів є постійною – напруга змінюється);
- ауксотонічний (і довжина, і напруга змінюються).



У чистому вигляді в рухах людини *ізотонічний режим* роботи м'язів не спостерігається, оскільки завжди є опір, що змінює напругу. *Ізометричний режим* характерний не для рухів, а для статичних положень. А в реальних рухах звичайно спостерігається *ауксотонічний режим*, коли скорочення і розтягування м'язів поєднуються зі збільшенням і зменшенням їх напруги.

Механічна дія м'язів проявляється як потяг, що є прикладеним до місця їх прикріплення. Величина сили тяги м'язів та їх прояв у рухах людини зумовлені рядом причин і залежать від сукупності механічних, анатомічних і фізіологічних умов.

Основною *механічною умовою*, що визначає тягу м'язів, служить навантаження. Без навантаження для м'язів не може бути їх напруги, не може бути їх сили тяги. Навантаження може бути представлене вагою обтяження, а також силою інерції та іншими силами.

З *анатомічних умов* прояву тяги м'язів треба назвати будову м'язів та їх розташування (в даний момент руху). Фізіологічний поперечник м'язів визначає сумарну тягу всіх волокон з урахуванням їх взаємного розташування. Від розташування волокон залежить і величина їх пружної деформації при розтягуванні всього м'яза, а значить, і величина пружних сил, що виникають.

Розташування м'язів відносно осі суглоба і ланки в даний момент руху впливає, по-перше, на величину плеча сили, а отже, і на величину моменту сили тяги.

*Фізіологічні умови*, що визначають величину тяги м'язів, в основному зводяться до умов збудження м'язів та їх зміни, зокрема при втомі. Як відомо, від кількості порушених міонів в основному залежить сила тяги м'язів. Максимальне збудження найбільшої кількості міонів забезпечує найбільшу силу тяги м'язів. У зв'язку із втомою істотно змінюється працездатність м'язів. Це слід враховувати при біомеханічному дослідженні виконання окремих операцій.

Щоб визначити результат тяги м'язів, недостатньо встановити величину і напрямок цієї тяги. За різних умов закріплення ланок одна і та сама тяга приводить до неоднакового результату – різних рухів ланок у суглобі. Тому слід пам'ятати, що результат програми тяги м'язів у кінематичному ланцюзі залежить від: а) закріплення ланок; б) співвідношення сил, що викликають рух, і сил опору; в) початкових умов обертання. При цьому в кожному конкретному випадку лише сукупність всіх факторів визначає результат роботи м'язів у цілому.

Різновиди роботи м'язів визначаються поєднанням змін їх сили тяги і довжини. Загальновідомі види роботи м'язів (долання, поступовий рух і утримання) визначаються тільки напрямком зміни довжини м'яза: скороченням, подовженням та збереженням довжини. Для цих трьох видів роботи (перші два – динамічна робота, останній – статична) існує можливість щонайменше трьох варіантів зміни сили тяги м'язів у порівнянні з ізометричним режимом: наростання, зменшення, збереження без змін. Хоча робота м'язів і виявляється тільки через їх розтягування, різновиди роботи є різними і результати тяги, залежно від конкретних умов, дуже різноманітними. У результаті схематично можна виділити деякі типові різновиди роботи м'язів.

При збереженні положення тіла частіше зустрічається постійна фіксація. У рухах найбільш звичайними є розгін і гальмування. Для точних рухів характерне пригальмовування. Силова робота виконується з напругою в рухах "до відмови" і посиленням фіксації. При виконанні однієї й тієї самої дії можуть мати місце зміни (іноді неодноразові) різновидів роботи в одних і тих же м'язах.

М'язи, що впливають на рухи біокінематичних ланцюгів, як правило, функціонують не ізольовано, а групами. Взаємодія здійснюється між м'язами всередині груп, а також між групами м'язів. В результаті робочі тяги м'язів (динамічна робота) зумовлюють виконання рухів, а опорні тяги м'язів (статична робота) створюють необхідні для цього умови.

Як відомо, через кожен суглоб проходить не один м'яз, а декілька. Рух у суглобі є результатом групової взаємодії м'язів, що проходять через нього. Прийнято розрізняти два види взаємодії м'язів – *синергізм* та *антагонізм*. М'язи, які виконують спільну роботу, беручи участь в одному і тому ж русі, тобто м'язи, розташовані по один бік даної осі суглоба, називаються *синергістами*. М'язи, що беруть участь у різних рухах, протилежних один одному, називаються *антагоністами*. Необхідно мати на увазі наступні дві обставини: по–перше, будь–якого справжнього антагонізму в роботі м'язів немає, оскільки не тільки м'язи синергічної, а і протилежної (антагоністичної) дії працюють злагоджено, спільно забезпечуючи виконання даного руху. Особливо велика роль зміни антагоністів у регулюванні руху. За допомогою точного дозування напруження антагоністів регулюється швидкість руху і розвивається при цьому результуюча сила, здійснюється гальмування руху перед його закінченням, досягається плавний перехід руху з однієї фази в іншу. В основі точного регулювання протидії антагоністичних м'язів лежить автоматично діючий вроджений рефлекс на розтягування: чим більшим є розмах руху, тим більше розтягуються м'язи-антагоністи, тим сильніше подразнюються їх пропріорецептори і тим більше зростає в них рефлексорне напруження. Цей спинальний рефлекс тонко регулюється вищими відділами центральної нервової системи і доповнюється спеціальними впливами центрів на м'язи-антагоністи відповідно до характеру рухового завдання й умов його виконання.

По–друге, необхідно пам'ятати, що синергетичні й антагоністичні відносини між м'язами не є постійними. Функціональна анатомія дає численні приклади того, що багато м'язів змінюють свою функцію зі зміною вихідного положення і при русі по перехідних осях багатовісних суглобів. М'язи, які є для даного руху синергістами, для іншого руху можуть ставати антагоністами. Зміна характеру взаємодії між м'язами є важливим фактором використання суглоба з багатьма ступенями свободи, що працює в напрямку тієї чи іншої свободи.

Перебудова використання м'язів досягається завдяки координуючій роботі нервових центрів. Розподіл зусиль у групі м'язів даного суглоба за ходом руху змінюється. Слід додати, що є практично неможливим абсолютно точне дозування величини тяги кожного м'яза, швидкості наростання тяги, часу "включення" і "виключення" м'язи. Тому завжди в тій чи іншій мірі виникають

неузгодженості у тягах м'язів, що є однією з головних внутрішніх перешкод в управлінні рухами. Навчитися долати неузгодженості у тягах м'язів дуже непросто. Це є однією з головних задач при оволодінні рухами, шлях до найбільшої економічності і точності рухів.

### *Питання до самоконтролю*

- Яким чином людина управляє своїми рухами?
- Які параметри використовуються в механіці живого тіла?
- Яким чином центр маси СЧМ впливає на точність рухів?
- Вкажіть біомеханічні особливості кісткової та м'язової систем.
- Яким чином здійснюється координація у роботі різних м'язів?