

Лекція 4.

Біомеханічні особливості рухового апарату людини

1. Біомеханічна система, як модель живого рухового механізму.

Рухові дії людини істотно залежать від будови та властивостей його тіла. З одного боку, надзвичайно складна будова і різноманітність властивостей тіла людини обумовлюють високу складність як самих рухових дій так і процесів керування ними. Але з іншого боку це дозволяє досягнути надзвичайного багатства та різноманітності рухів, до цього часу недоступних жодній навіть найдосконалішій машині.

Біомеханіка вивчає переважно ті особливості будови і функцій тіла людини та її опорно-рухового апарату, які мають найбільше значення для вдосконалення рухових дій. Відволікаючись від деталей анатомічної будови і фізіологічних механізмів рухового апарату, розглядають спрощену модель тіла людини - біомеханічну систему. Вона володіє основними властивостями, важливими для виконання рухової функції, але не включає в себе більшості другорядних деталей.

При математичних розрахунках з використанням біомеханічної системи (БМС) живого організму приймаються наступні припущення:

- кінематичні і динамічні характеристики БМС відповідають відповідним характеристикам досліджуваного живого організму;
- нехтують різницею в анатомічній будові правої та лівої частини тіла;
- біопланки БМС розглядаються як "миттєво затвердівші", не враховуючи, що частини реального тіла - "жива маса";
- внутрішнє тертя і тертя в суглобах відносять до внутрішніх втрат, якими знехтувати неможлив, і які враховують при виведенні коефіцієнта механічної ефективності роботи м'язів;
- переміщеннями у деяких суглобах залежно від поставленого завдання нехтують;
- багатосні суглоби при наявності відповідної керуючої роботи м'язів найчастіше вважають односними відповідно до рухових дій, які аналізуються, і т. ін.

Отже, біомеханічна система - це спрощена копія, модель тіла людини, на якій можна вивчати закономірності її рухових дій. Таким чином, біомеханічна система тіла людини складається з біомеханічних ланцюгів. Більшість частин тіла, з'єднаних рухомо, утворюють біокінематичні ланцюги. До них прикладені сили (навантаження), які викликають деформації самих біопланок та зміну їх руху.

2. Біомеханічні пари та ланцюги біоланок.

В технічних механізмах, як і в побудованих з них машинах, можливості взаємного переміщення їхніх деталей, як правило, обумовлені способом їх з'єднання. В живих системах способи з'єднання біоланок в біокінематичні ланцюги однозначно не визначають можливостей рухів (наприклад їхній напрямок чи розмах). М'язи визначають рухи біомеханічних важелів, які передають рух і зусилля, та м'ястники, які зберігають рух, що почався раніше.

Рухоме з'єднання двох сусідніх частин тіла називають біопарою, а біоланки, поєднані біопарами, з'єднуються в біокінематичні ланцюги. Таким чином, біокінематична пара - це рухоме (кінематичне) з'єднання двох біоланок у суглобі, будова якого і керуючі дії м'язів визначають можливі варіанти взаємного механічного переміщення з'єднаних ним частин тіла.

В технічних механізмах з'єднання окремих деталей або частин - кінематичні пари - звичайно сконструйовані таким чином, аби дозволити можливість лише певних, заздалегідь заданих взаємних переміщень. Вони завжди обмежені або можливими ступенями свободи, або додатковими в'язями (див. нижче).

В живому організмі розрізняють наступні види в'язей: а) геометричні (постійні перешкоди переміщенню у кожному конкретному напрямку, наприклад кісткове обмеження в суглобі) і б) кінематичні (обмеження швидкості, наприклад м'язами - антагоністами, які перешкоджають рухові).

Біокінематичні пари можуть мати постійні в'язі, які визначають максимальну і залишкові ступені свободи взаємних механічних переміщень з'єднаних біоланок. Майже всі біокінематичні пари обертові; деякі допускають поступальне ковзання однієї ланки відносно іншої і лише одна пара - гвинтовий рух.

Біокінематичний ланцюг - це послідовне незамкнуте (розгалужене), або замкнуте з'єднання біоланок через біокінематичні пари. В незамкнутих ланцюгах є вільна біоланка, яка з'єднана лише з однією біоланкою. У замкнутих ланцюгах немає вільного кінцевої ланки: кожна біоланка обов'язково з'єднана двома біопарами. В незамкнутому ланцюгу можливі ізолювані рухи в кожному суглобі. При виконанні рухових дій рухи в незамкнутих ланцюгах проходять одночасно в багатьох суглобах, але можливість ізолюваного руху не виключена. В замкнутому ланцюгу ізолювані рухи в одному суглобі неможливі: у цей рух одночасно втягуються й інші з'єднання.

Значна частина незамкнутих біокінематичних ланцюгів характеризується наявністю багатосуглобових м'язів. Тому рухи в одних суглобах за участю таких м'язів обов'язково пов'язані з рухами в сусідніх суглобах. Але при точному керуванні рухами у багатьох випадках цей взаємний зв'язок можна "виключити". В замкнутих ланцюгах зв'язок невизначений і дії м'язів обов'язково передаються на інші суглоби.

Незамкнутий ланцюг може стати замкнутим, якщо вільну біоланку механічно пов'язати з іншою ланкою ланцюга (безпосередньо або через будь-яке тіло, наприклад через опору).

3. В'язі та ступені свободи біоланок при виконанні фізичних вправ.

Якщо механічному руху фізичного тіла немає ніяких обмежень (в'язей), воно може рухатися в просторі у всіх трьох вимірах, тобто вадомж трьох взаємноперпендикулярних осей (поступально), а також навколо них (обертано). Таким чином, це тіло має шість ступенів свободи рухів, і називається вільним.

Кожна в'язь зменшує число ступенів свободи. Так, зафіксувавши лише одну точку вільного тіла (наприклад, приєднавши його до якоїсь біоланки тіла біопарою), це тіло відразу позбавляють трьох ступенів свободи - можливих лінійних переміщень вадомж трьох осей координат. Прикладом у наведеному випадку може бути з'єднання біоланок у кульовидних суглобах - кульшовому чи плечовому, які дозволяють з'єднаним ними біоланкам виконувати три незалежні обертання (згинання-розгинання, відведення-приведення та супінацію-пронацію). Якщо вільне тіло закріпити лише у двох точках, то єдиним можливим його переміщенням буде обертання довкола осі, що проходить через вказані точки. Прикладами таких з'єднань можуть бути одновісні суглоби тіла (наприклад, міжфаланговий). Закріплення трьох точок тіла виключає будь-які його переміщення в просторі, повністю обмежуючи свободу його переміщення.

За рахунок неповної відповідності форми суглобових поверхонь з'єднаних біопарами біоланок, в тілі людини виділяють двоосні суглоби, наприклад променево-зап'ястний та п'ястно-фаланговий першого пальця).

Майже всі суглоби тіла людини окрім міжфалангових, ліктьових та атлантаосного, дозволяють з'єднаним біоланкам переміщатися більш ніж з одним ступенем свободи. Це викликає невизначеність можливих рухів біоланок та безліч їх варіантів (так званий неповнов'язий механізм). Керуючі дії м'язів дозволяють одержати багаторі додаткові в'язі, які однозначно визначають взаємне переміщення біоланок системи, залишаючи окремим біоланкам лише по одній ступені свободи. Таким чином стає можливим вибір єдиного можливого варіанту руху - власне того, який необхідний.

Кожна біокінематична пара багатоосного суглоба має можливості багатьох механізмів, тому біомеханічні з'єднання набагато вигідніші від з'єднань технічних механізмів при керуванні їх переміщеннями (вибір необхідної траєкторії, швидкості переміщення і корекції руху, як протидія перешкодам).

4. Маятниковий та важільний принципи дії біоланок при виконанні фізичних вправ.

Кістки як тверді тіла, з'єднуючись між собою завдяки біопарам, утворюють основу біокінематичних ланцюгів. Прикладені до біоланок сили (тяги м'язів, опір рухові, тяжіння, інерція тощо), діють на них як на важелі і маятники.

Важіль, як біомеханічна категорія, повинен обов'язково мати наступні елементи: а) тверде тіло, до якого прикладені і через які передаються дії різних сил (кістка); б) біопара - рухоме з'єднання біоланки з сусідньою, відносно якого можливе взаємне переміщення цих біоланок (суглоб); в) сили, під дією яких відбувається взаємне переміщення (ці сили не повинні проходити через вісь біопари чи бути їй паралельними, тобто повинні створювати рушійні і гальмівні моменти відносно осей обертання суглоба).

Біоланки тіла, рухомо з'єднані між собою біопарами, під дією прикладених сил можуть або зберігати своє положення в просторі, або його змінювати. Біоланки служать для передачі руху і роботи в просторі. Всі сили, що діють на біоланку, окрім тих, які проходять через вісь відповідної біопари, умовно можна розділити на такі, що лежать у площині її власної осі (і тому не можуть змінити її руху відносно осі біопари) і непаралельні вказаній площині, які або прискорюють, або гальмують обертання навколо біопари.

Рух біоланки тіла по інерції після припинення розганяючої дії, подібний до руху фізичного маятника. Маятник під дією сили тяжіння після його попереднього відхилення від нижнього положення у будь-який бік, починає розганятися вниз, а далі, витрачаючи набуту при цьому кінетичну енергію, по інерції підіймається вгору. Період коливань маятника вираховується за формулою:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgr}}$$

де J - момент інерції маятника відносно осі коливання;

m - маса маятника;

r - радіус інерції (віддаля між точкою підвісу маятника і його ЦМ).

Для малих амплітуд гойдання маятника (до 6-7 градусів), за вказаною формулою можна розрахувати власну частоту його коливань. Однак при більших амплітудах рухів (наприклад, переміщення ніг під час бігу тощо), а також враховуючи зміну моментів і радіусів інерції біоланок-маятників (рук і ніг) при виконанні більшості фізичних вправ за рахунок зміни їх довжини при згинанні - розгинанні, порядок розрахунку власної частоти коливань таких живих маятників значно складніший.

Прискорення маятника залежить від сумарного моменту розганяючих сил і його власного моменту інерції. Тому для збільшення швидкості розгону біоланки необхідно збільшити силу та плече її прикладання, або зменшити радіус інерції біоланки (наприклад, згинаючи її).

Складені маятники, на які подібні ноги чи руки людини при ходьбі, бігу тощо, ведуть себе набагато складніше, тому при кожному кроці моменти м'язових сил слід пристосовувати до постійно змінних умов, забезпечуючи вісносу постійність кроків.

- Б. Види важелів у біомеханічній системі та співвідношення моментів сил при виконанні різних вправ.

Якщо непаралельні відносно площини біопари сили прикладені по обидві сторони осі біопари, такий біомеханічний важіль називається двоплечим (у класичній механіці - важіль першого роду). У випадку прикладення до важеля зусиль лише з однієї сторони він називається одноплечим (важіль другого роду). Слід пам'ятати, що переміщеннями у різних суглобах керують різні м'язи, які можуть проходити через різні сторони біопари, тому, наприклад, передпліччя у випадку піднімання вантажу за рахунок скорочення м'язів-згиначів працює як одноплечий важіль, а при скороченні розгиначів з метою метання предметів з-за голови - як двоплечий.

Сили дії м'язів, які скорочуються, завжди прикладені до кистки біомеханічного важеля поблизу осі біопари; вони набагато більші за інші сили, більшість яких діє на важіль через його протилежний кінець. Тому при розрахунку обертання біомеханічного важеля до уваги беруть не величину самих сил, а їх обертові моменти, що дозволяє врахувати як величину цих сил і напрямок їх дії, так і плече прикладення конкретного навантаження (найкоротшу віддаль від лінії дії сили до осі обертання).