

# БИОМЕХАНИКА

# Тема 4. Руховий апарат людини

## План

1. Руховий апарат людини як біомеханічна система, її склад та структура.
2. Геометрія мас тіла людини.
3. Механічні властивості кісток і суглобів.
4. Біокінематичні ланцюги, їх ступені свободи.

**5. Ланки тіла як важелі першого та другого роду.**

**6. Біомеханічні властивості м'язів.**

**7. Режими скорочення та різновиди роботи м'язів. Групові взаємодії м'язів.**

# 1. Руховий апарат людини як біомеханічна система, її склад та структура

**Руховий апарат людини** – це саморушійний механізм, що складається з 600 м'язів, 200 кісток, декількох сочень сухожиль.

Ці цифри приблизні, оскільки деякі кістки (наприклад, кістки хребетного стовпа, грудної клітки) зрослися, а багато м'язів мають декілька

голівок (наприклад, двоголовий м'яз плеча, чотириголовий м'яз стегна) або поділяються на безліч пучків (дельтоподібний, великий грудний).

*Руховий апарат складається з ланок.*

**Ланкою** називається частина тіла, розташована між двома сусідніми суглобами чи між суглобом і дистальним кінцем. Наприклад, ланками тіла є кисть, передпліччя, плече, голова і т. п.

*У людському тілі близько 70 ланок.*

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

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

- визначити кількість руху, рівну добутку маси тіла на його лінійну швидкість ( $m \cdot v$ );
- визначити кінетичний момент, рівний добутку моменту інерції тіла на кутову швидкість ( $J\omega$ ); при цьому потрібно враховувати, що величини моменту інерції щодо різних осей неоднакові;
- оцінити, наскільки легко або важко керувати швидкістю тіла або окремої ланки;
- визначити ступінь стійкості тіла тощо.

## 2. Геометрія мас тіла людини

*Геометрією мас називається розподіл мас між ланками тіла та всередині них.*

*Геометрія мас тіла людини описується мас-інерційними характеристиками. Найважливіші з них – маса, радіус інерції, момент інерції та координати центру мас.*



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

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

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

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

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

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

-

### 3. Механічні властивості кісток і суглобів

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

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

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

## 4. Біокінематичні ланцюги, їх ступені свободи

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

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

*Ланцюги бувають замкнуті й незамкнуті.*

**У незамкнутих ланцюгах** є остання «вільна» ланка, що входить лише в одну пару.

**У замкнутих ланцюгах** немає вільної кінцевої ланки, кожна ланка входить у дві пари.

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

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



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

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

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

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

## 5. Ланки тіла як важелі першого та другого роду

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

*Як і в механіці, у живому організмі розрізняють важелі першого та другого роду.*

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

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

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

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

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

**Умови рівноваги важеля:**

*рівність обертальних моментів двох сил – сили м'язової тяги й сили тяжіння.*

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

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

## 6. Біомеханічні властивості м'язів

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

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



*Пружні властивості м'яза – це здатність м'яза відновлювати первісну довжину після усунення деформуючої сили.*

*Твердість – це здатність протидіяти силам, що прикладаються.*

*Величина, зворотна твердості, називається піддатливістю м'яза.*

*Міцність м'яза оцінюється величиною сили, яка його розтягує, при якій відбувається розрив м'яза.*

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

## 7. Режими скорочення та різновиди роботи м'язів. Групові взаємодії м'язів

*М'язи, прикріплені сухожиллями до кісток, функціонують в ізометричному й анізометричному режимах.*

*При ізометричному (утримувальному) режимі довжина м'яза не змінюється (від грец. «ізо» – рівний, «метр» – довжина).*

*При анізометричному скороченні м'яз укорочується або подовжується.*

*В анізометричному режимі функціонують м'язи бігуна, плавця, велосипедиста тощо.*

*Анізометричний режим має два різновиди: долаючий і поступливий.*

*У долаючому (міометричному) режимі м'яз укорочується в результаті скорочення.*

*А в поступливому (пліометричному) режимі м'яз розтягується зовнішньою силою.*

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

*Анізометричному режиму скорочення м'язів відповідає динамічний режим роботи м'язів.*

*Він характеризується участю м'язів (зі зміною їх довжини і напруження) в активних рухах, що забезпечує виконання механічної роботи й рухового завдання.*

*Різновидами групової взаємодії м'язів є синергізм та антагонізм.*

*М'язи-синергісти переміщують ланки тіла в одному напрямку.*

*Наприклад, у згинанні руки в ліктьовому суглобі беруть участь двоголовий м'яз плеча, плечовий і плечопроменевий м'язи тощо.*

*Результатом синергетичної взаємодії м'язів слугує збільшення результуючої сили дії.*

*При наявності травми, а також при локальній втомі будь-якого м'яза його синергісти забезпечують виконання рухової дії.*

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

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