

Лекція 2.

Біодинаміка рухових дій

1. Маса, сила тяжіння, вага та сила інерції.

Така властивість матеріального тіла, як *маса*, може проявлятися *контактно* (при безпосередній взаємодії тіл) або *дистантно* при відштовхуванні чи притягуванні тіл на віддалі за рахунок електромагнітних, гравітаційних та інших сил). При контактній взаємодії тіл маса є *мірою інертності тіла (інерційна маса)* і вимірюється вона в кілограмах (кг). У випадку обертового руху тіла значення має не лише його маса, а й її локалізація відносно осі обертання, тому *мірою інертності тіла* в цьому випадку виступає *момент інерції* (див. лекцію 3):

$$I = \sum m_i \cdot r_i^2 \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$$

де Σ – знак суми;

m_i – маса i -тої частини тіла;

r_i – віддаль центра мас i -тої частини тіла від осі обертання.

У випадку взаємного притягування тіл *силами гравітації* (наприклад: притягування тіла спортсмена до Землі) говорять про *гравітаційну масу*, яка при швидкостях руху, менших від швидкості світла у вакуумі, чисельно рівна *інерційній масі*, і також вимірюється в кілограмах. Сила притягування якогось тіла масою до Землі визначається за формулою:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad [H]$$

де \vec{P} – *сила тяжіння*, спрямована завжди до центра Землі та прикладена до тіла;

\vec{g} - прискорення вільно падаючого тіла на даній довготі та широті (рівне $9,78 \text{ м/с}^2$ на екваторі та $9,82 \text{ м/с}^2$ на полюсах).

Таким чином, сила тяжіння, як міра притягування тіла до Землі, залежить від його маси (яка є незмінною) і його розташування відносно рівня моря (тіла слабше притягуються в горах і сильніше – в низинах) і не залежить від інших факторів (параметрів руху, опори і т.ін.).

Якщо тіло контактено взаємодіє з іншими тілами (наприклад, з верхньою або нижньою опорою), то воно діє на них силою *ваги* – вага прикладена до опори і в спокої рівна силі тяжіння, але спрямована в протилежну сторону.

При зміні швидкості руху тіла масою m (це може бути розгін, гальмування, зміна напрямку руху тощо) воно проявляє свою інертність шляхом протидії зміні швидкості. *Сила інерції*, з якою воно діє на розганяюче (гальмуюче або змінююче напрям руху) тіло, чисельно рівна:

$$\vec{F}_{\text{ін}} = -m \cdot \vec{a} \quad [H]$$

де $\vec{F}_{\text{ін}}$ – сила інерції, яка завжди спрямована проти прискорення та прикладена до *прискорюючого тіла*, Н;

\vec{a} – прискорення самого тіла, м/с.

Вага може бути більшою або меншою від сили тяжіння у випадку прискореного руху тіла або самої опори, так як виникають сили інерції і починається перевантаження або невагомість (повна чи часткова). У цьому випадку:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} + \vec{F}_{\text{ін}} [H]$$

У *неінерціальних* системах відліку (які відносно Землі самі рухаються з прискореннями) для розрахунку сил згідно законів класичної механіки вводять поняття фіктивної сили інерції, яка в даному випадку вважається прикладеною не до прискорюючого тіла (яке пов'язане з тілом відліку), а до самого тіла, що змінює швидкість. Як приклад, можна розглядати рух весляра в академічному човні спочатку зі сторони спостерігача на березі, а потім зі сторони спостерігача, який знаходиться в тому ж човні.

2. Реакція опори, пружні сили.

Реакція опори – це міра протидії опори (верхньої або нижньої) тілу, яке взаємодіє з нею. Ця сила *прикладена до контактуючого з нею тіла* та спрямована протилежно його вазі. Так як вага залежить крім сили тяжіння ще й від руху самої опори, при розрахунках необхідно враховувати пружність самої опори, яка визначається з виразу:

$$\vec{F}_{\text{пр}} = \Delta l \cdot k [H]$$

де $\vec{F}_{\text{пр}}$ – пружна сила, H ;

Δl – деформація опори в напрямку дії ваги взаємодіючого тіла, m ;

k – коефіцієнт жорсткості у тому-ж напрямку, H/m .

Якщо опора пружна, то реакція опори зростає поступово, процес взаємодії з опорою розтягується в часі, внаслідок чого максимальне значення прискорення зменшується, зменшується і вага взаємодіючого тіла порівняно з випадком взаємодії із жорсткою опорою.

Але при бігу по доріжці з пружним покриттям, м'язи ніг за рахунок збільшення часу взаємодії з опорою встигають розвивати більшу силу; крім цього, при відштовхуванні деформована опора надає тілу додатковий імпульс, що значно довантажує елементи рухового апарату людини і з часом негативно впливає на стан здоров'я (особливо у юних спортсменів). Тому тренування на пружному покритті рекомендується чергувати з заняттями на покритих дерев'яною стружкою або м'яких ґрунтових доріжках.

Такий самий вплив (як на спортивний результат, так і на стан здоров'я спортсмена) відіграє пружність спортивного взуття, питанням вибору якого необхідно надавати особливу увагу.

Розрахунок сили дії опори на тіло людини (*реакції опори*) затруднений, так як він здійснюється з використанням методів вищої математики з метою імовірного моделювання динаміки взаємодії біологів тіла в часі.

3. Зовнішні та внутрішні сили, що діють на тіло людини при виконанні рухових дій

При визначенні, яка з сил, прикладених до тіла спортсмена, є *зовнішньою* (тобто здатною змінити імпульс тіла та його енергію), а яка – *внутрішньою*, необхідно з'ясувати: наслідком дії якого тіла вона є. Зовнішньою для обраною тіла буде лише така сила, дія якої викликана *іншим тілом*, що не входить до його складу. Це-ж правило розподілу сил на

зовнішні та внутрішні стосується і біомеханічної системи тіл (наприклад, тіла спортсмена, яке ми умовно розділяємо на біоланки: голову, тулуб, плечі, передпліччя, стегна і ін.).

Тому, по відношенню до тіла людини, сумарна сила тяжіння, яка викликана гравітаційним притягуванням Землі, реакція опори, опір рухові, дія інших тіл (суперників, партнерів, тренера, м'яча тощо) – зовнішні сили. Зате активні м'язові тяги, сили пружності і тертя в самому організмі, дія сили інерції біоланок, що рухаються з прискоренням, на сусідні біоланки, дія ваги одних біоланок на інші і ін. – внутрішні по відношенню до біомеханічної системи сили.

Якщо розглядати рухи якоїсь окремої біоланки, наприклад, гомілки, то тяги м'язів, які відносяться до стегна, силу тяжіння, прикладену до гомілки, вагу стопи, утримуючу дію стегна слід розглядати, як зовнішні по відношенню до гомілки сили, так як їх дія обумовлена тілами, що у поняття "гомілка" не входять.

Таким чином, одні і ті-ж сили можуть бути і зовнішніми, і внутрішніми; у кожному конкретному випадку це залежить від того, які тіла ми включили у біомеханічну систему, а які – не включили.

Розподіл сил на зовнішні і внутрішні має велике значення при використанні *теореми про зміну імпульсу тіла* (кількості руху), або механічної системи – *міри механічного руху тіла*, яка рівна:

$$\vec{K} = m \cdot \vec{V} \text{ [кг} \cdot \text{ м / с]}; \quad \vec{K} = I \cdot \vec{\omega} \text{ [кг} \cdot \text{ м}^2 \text{ / с]};$$

Зміна імпульсу механічної системи можлива лише за рахунок зовнішніх сил. Наслідок з теореми: при рівності нулю головного вектора і головного момента (алгебраїчної суми векторів і моментів) зовнішніх сил, імпульс механічної системи залишається незмінним. З теореми слідує, що

єдиною можливою рушійною силою при переміщенні тіла людини може бути зовнішня сила. При пересуванні на коні, мотоциклі, автомобілі, літаку тощо, а також спуску з гори на санях, лижах, велосипеді – рушійними силами є або контактні сили, прикладені з боку інших тіл (кінь, мотоцикл, автомобіль), або сила тяжіння.

Проте при бігу, ходьбі, плаванні, їзді на велосипеді і ін., а також в метаннях, спортивних іграх, одноборствах і ін., причиною руху є внутрішні відносно біомеханічної системи сили – активні м'язові тяги. Але обов'язковою умовою їх прояву, як рушійних сил, є наявність зовнішньої сили – реакції опори.

Необхідною умовою зміни величини і напрямку швидкості руху біомеханічної системи є також наявність зовнішньої сили, тому досвідчені гірськолижники, мотогонщики, ралісти намагаються постійно перебувати у контакті з трасою, здійснюючи випереджаючі дії, розгойдування спортивного приладу навколо вертикальної та бокової осей, виконуючи уступаючу м'язову роботу, використовуючи досконалі амортизатори тощо, бо лише у цьому випадку є можливість постійно контактувати з поверхнею траси, тобто ефективно гальмувати, розганятися і повертати, чого не можна зробити в безопорній фазі.

Помилково рахувати *рушійними* сили тертя в плямі контакту біомеханічної системи (колеса, взуття, лижі) з опорою – в усіх перелічених випадках джерелом руху є м'язові тяги.