

Лекція 2.

Динамічні характеристики тіла спортсмена та його рухових дій

При виконанні фізичних вправ окремі точки тіла спортсмена, його біології, центри мас тощо рухаються переважно зі змінними швидкостями. Динаміка визначає причини виникнення та зміни руху біологій і всього тіла. Динамічні характеристики - інерційні, силові та енергетичні - розкривають механізм рухів.

1. Інерційні характеристики.

Фізична суть явища інерції розкривається першим законом Ньютона: "Існують системи відліку, відносно яких швидкість тіла не змінюється, якщо на нього не діють інші тіла, або дії цих тіл взаємнокомпенсуються". Такі системи відліку називаються інерційними. Згідно з 1-м законом Ньютона (законом інерції), якщо на тіло не діють інші тіла або дії інших тіл взаємнокомпенсуються, то у випадку інерційної системи відліку тіло знаходиться в спокої або рухається рівномірно та прямиoliniйно. Ці інерційні системи відліку знаходяться в спокої або рухаються без прискорення ($\vec{a} = 0$).

Неінерційні системи відліку рухаються з прискоренням відносно інерційних систем, наприклад: футбольні ворота - це тіло відліку інерційної системи, а центр мас футболіста, що рухається з прискоренням - тіло відліку неінерційної системи. Ми розглядатимемо рухи відносно інерційних систем відліку. У таких системах всі тіла зберігають швидкість незмінною при відсутності дії на них інших тіл (зовнішніх сил).

Явище збереження модуля і напрямку швидкості тіл відносно інерційних систем відліку називається інерцією. При взаємодії різних тіл їх швидкість змінюється неоднаково. Властивість тіл поступово та порівнювано змінювати свою швидкість при їх взаємодії називається інертністю. Чим більша інертність тіла, тим повільніше змінюється швидкість його руху під дією інших тіл.

Кількісною характеристикою інертності тіла при його поступальному русі є його маса. Маса тіла - це скалярна фізична величина, яка є мірою інертності тіла при його поступальному русі:

$$m \quad [кг]$$

Щоб виміряти масу m_x даного тіла, необхідно привести його в контактну взаємодію з еталоном маси m_e і порівняти швидкості тіла v_x і еталона v_e :

$$m_x = (v_e / v_x) m_e \quad [кг]$$

Визначена таким способом маса називається інертною і проявляється при контактній взаємодії тіл. Маса - величина постійна при швидкостях руху, значно менших від швидкості світла.

рес його центр мас, називається **головним (центральним) моментом інерції**.

Момент інерції відносно осі, яка паралельна центральній, розраховується за теоремою Штайнера:

$$J_x = J_0 + m \cdot b^2 \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$$

де J_0 - головний момент інерції тіла;
 b - віддаль від осі обертання до центра мас;
 m - маса тіла.

Для деяких розрахунків користуються поняттям "радіус інерції". Радіус інерції - це порівняльна міра інертності даного тіла відносно рівних осей обертання. Радіус інерції тіла відносно осі Oz - це лінійна величина r , яка визначається за формулою:

$$J_z = M \cdot r^2 \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$$

де M - маса тіла;
 r - радіус інерції.

Радіус інерції тіла вираховується, як квадратний корінь частки від ділення моменту інерції тіла відносно заданої осі на його масу:

$$r = \sqrt{J_z / M} \quad [\text{м}]$$

Радіус інерції тіла геометрично рівний віддалі від осі його обертання до точки, в якій необхідно зосередити масу всього тіла, щоб момент її інерції відносно цієї осі був рівний моменту інерції всього тіла. Ця точка називається **центром інерції** і використовується для розв'язання багатьох розрахунків (наприклад, при аналітичному способі визначення розташування ДМТ тощо).

В абсолютно твердому тілі центр мас і центр інерції співпадають. Однак, як впливає а вищесказаного, це зовсім різні поняття.

2. Силкові характеристики.

Рухи тіл відбуваються під дією прикладених до них рушійних сил або без них (за інерцією), коли прикладені лише гальмівні сили. Рушійні сили діють не завжди, у той час як без більших або менших гальмівних сил рух тіл ніколи не відбувається. Напрямок дії сили може співпадати і не співпадати з напрямком руху тіла. Зміна його руху відбувається лише під дією сил, які є причинами зміни цього руху. Зв'язок дії сили із зміною руху тіла розкривають основні характеристики: **сила, градієнт сили, момент сили, імпульс сили та імпульс моменту сили.**

Сила - це векторна величина, кількісна міра (характеристика дії одного тіла на інше. Інакше кажучи, сила - це міра взаємодії

двох тіл. Згідно з другим законом Ньютона, сила, з якою одне тіло діє на інше, прямо пропорційна масі тіла та здержаному цим тілом, внаслідок дії зовнішньої сили, прискоренню:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}, [N] = [kg \cdot m/c^2]$$

Напрямок прискорення співпадає з напрямком сили, що його спричинила. Дія сили на тіло визначається її модулем (числовою величиною сили), напрямком дії та точкою прикладення сили (до якого тіла вона прикладена). Джерелом сили є дія іншого тіла. Оскільки дія і протидія прикладені до різних тіл, їх не можна додавати, чи замінити рівнодійною. Згідно з третім законом Ньютона, сили взаємодії двох тіл рівні за модулем та протилежно напрямлені.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

У відомій грі "перетягування канату" обидві команди діють одна на одну (через канат) з однаковими силами, як це випливає з закону дії і протидії. Отже виграв (перетягує канат) не та команда, яка дужче тягне (обидві команди тягнуть з однаковим зусиллям), а та яка дужче зупирається з опору.

Сили, які діють між тілами одної системи, називаються внутрішніми. Сили, які діють на тіло даної системи зі сторони інших тіл, що не належать до цієї системи, називаються зовнішніми.

У біомеханіці зустрічаються три типи зовнішніх сил:

- сили взаємодії притягування між тілами, які називаються гравітаційними силами. Вони діють на віддалі і називаються дистанційними;

- сили, що обумовлені деформацією контактуючих тіл (вони називаються пружними силами). До них відносяться сили, які діють на тіло зі сторони розтягнутої або стиснутої пружини, сила, з якою підвіс діє на прив'язаний до його кінця вантаж тощо;

- сили, які виникають лише при контакті тіл і обумовлені поверхневими явищами - контактні сили тертя.

При визначенні, які із сил, прикладених до тіла спортсмена, є зовнішніми (тобто адатні змінити його імпульс та енергію), а які - внутрішніми, необхідно виявити, наслідком дії яких тіл вони є: до зовнішніх відносять сили дії інших тіл, які не входять у склад заданої біомеханічної системи. Тому відносно тіла спортсмена сумарна сила тяжіння, зхилена зовнішня гравітація, реакція опори, опір рухові, дія інших тіл (суперників, партнерів, тренера, м'яча тощо) сили інерції та ін. - зовнішні сили, а м'язові тяги, пружні сили і сили тертя в самому організмі, сили інерції, що виникають при прискореному русі біологів, сила ваги одних біологів на сусідніх, та ін. - внутрішні сили.

Якщо розглядати рух конкретної біологівки, як окремого тіла, наприклад голкіста, то тяги м'язів, які відносяться до стегна, вагу стегна і утримуючу дію стегна слід віднести до зовнішніх сил, так як їх дія обумовлена тілами, що не входять в поняття "голістка".

Таким чином, одні і ті ж сили можуть бути і зовнішніми, і внутрішніми, в залежності від того, які тіла ми включали у задану біомеханічну систему, а які - не включали.

Якщо до тіла прикладено декілька сил - $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, то їх дію можна замінити дією однієї сили \vec{F}_R , яка називається рівнодійною. Рівнодійна сила дорівнює векторній сумі сил, які вона замінює:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \sum \vec{F}_i \quad [\text{H}]$$

Модуль рівнодійної сили визначається за правилом паралелограма.

Швидкість зміни (градієнт) сили - це інтенсивність зміни сили в одиницю часу: вираз "швидкість" вживається не лише для характеристики інтенсивності руху, а й як міра інтенсивності зміни інших показників, у тому числі і сили.

Сила певних функціональних м'язових груп при виконанні будь-якої справи безперервно змінюється. Від швидкості наростання сили часто залежить спортивний результат (особливо, при швидких рухах в умовах дефіциту часу на виконання окремих фаз вправи тощо). У багатьох видах спорту (біг, метання і інш.) максимальну силу необхідно розвивати за малий проміжок часу, так як окремі фази вправи тривають не більше 0,09 - 0,25 с (наприклад, відтискування від опори в стрибках у висоту або в спринтерському бігу). А час, необхідний для досягнення максимальної сили, коливається в межах 0,8 - 1,0 с (90% від максимальної сили дії м'язів людини досягається приблизно за 0,9 с).

Якщо спортсмен за певний час може розвинути силу, яка перевищує аналогічний показник інших спортсменів, то, не зважаючи на те, що їх максимальна сила може бути вищою, ніж у них, при виконанні швидких вправ перевагу матиме власне він (див. рис. 1.):

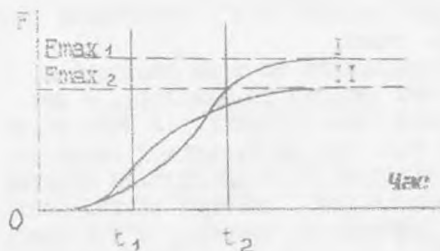


Рис. 6. Наростання сили тяги м'язів в певний час у двох спортсменів

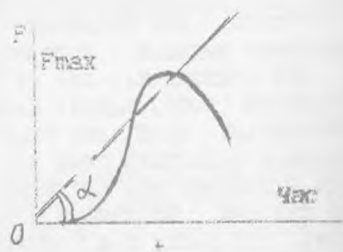


Рис. 7. Визначення кондиційно-силового індексу

Математичне швидкість наростання градієнта сили буде виражатися співвідношенням dF/dt : як перша похідна від сили по часу.

Для числової характеристики градієнта сили використовують три показники:

- $t_{0,5 \max}$ - час досягнення сили, рівної половині від максимальної. Власне цей показник називають градієнтом сили;

- частка від ділення виразу F_{\max}/t_{\max} . Цей показник називають **динамічно-силовою інтенсивністю**. Він дорівнює тангенсу кута (див. рис. 2).

- коефіцієнт реактивності (по Ю.Верхованському), що використовується у видах спорту, де переміщують не спортивні прилади, а власне тіло (наприклад, для стрибунів тощо):

$$K_R = \frac{F_{\max}}{t_{\max} \cdot M}$$

Вести мову про силу і результат її дії можна лише у випадку поступального руху тіла. Проте рухові дії людини, як біомеханічної системи, частіше характеризуються обертовими рухами в кульобах. Зміна обертового руху залежить від моментів сил - їх обертової дії на біологичні.

Момент сили характеризує обертовий ефект дії сили на тіло. Момент сили обертової дії сили на тіло. При цьому відбувається зміна кутового швидкості обертання або деформація біологички.

Момент сили є векторною величиною. Модуль моменту сили M відносно будь-якої точки дорівнює добутку модуля сили на довжину перпендикуляра, опущеного з цієї точки на лінію дії сили (рис. 3):

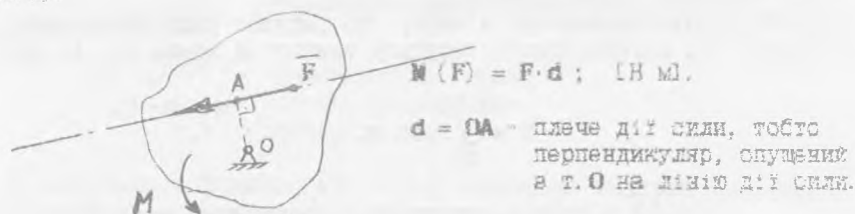


Рис. 3. Визначення моменту сили.

Момент сили, яка повертає тіло відносно точки О за годинниковою стрілкою, вважають від'ємним, а проти годинникової стрілки - додатним.

Якщо на тіло діє декілька сил, розташованих в одній площині (плоска система сил), то модуль моменту рівнодіяної сили визначається за **теоремою Вариньона**: момент рівнодіяної системи плоских сил відносно будь-якої точки на площині дорівнює алгебраїчній сумі моментів складових сил відносно цієї ж точки:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots = \sum M_i$$

Сила тяги кожного м'яза створює момент сили відносно осі відповідного суглоба; окрім цього більшість зовнішніх сил, що прикладаєні до біоданок тіла, не проходять через центри суглобів, тому, звичайно, виникають моменти зовнішніх сил. Такі сили викликають не тільки кутові, але й лінійні прискорення біоданок.

Величина дії сили або моменту сили на тіло при відомій його масі або відомому моменті інерції дозволяє визначити прискорення (інтенсивність зміни його швидкості). Але частіше стоїть завдання визначити, на скільки змінилася швидкість тіла, тобто повинна бути врахована тривалість дії сили чи моменту сили.

Міру дії сили на тіло за певний проміжок часу (при поступальному русі), називають імпульсом сили.

Запишемо вираз другого закону Ньютона у наступному вигляді:

$$F = m a = m \frac{v_2 - v_1}{dt} \Rightarrow F \cdot t = m v_2 - m v_1$$

Величину $F \cdot t$ називають імпульсом сили, який дорівнює добутку сили на час її дії. У випадку, коли сила F і за модулем, і за напрямком постійна ($F = const$), імпульс сили вираховується за форму-

$$S = F \cdot t \quad [н \cdot с]$$

Коди одночасно діє декілька сил, сума їх імпульсів дорівнює імпульсу їх рівнодійної за той же час. Будь-яка сила, що діє протягом певного часу (наприклад, сила відштовхування ноги від стартової колодки), характеризується імпульсом.

Якщо сила змінюється в часі, то імпульс сили визначається як інтеграл від елементарного імпульсу взятого в межах від t_1 до t_2 :

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt,$$

де \int - символ інтеграла з граничними значеннями t_1, t_2

Величину, рівну добутку маси тіла на його швидкість, називають імпульсом тіла. Імпульс тіла - величина векторна і позначається буквою p :

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad [кг \cdot м/с]$$

Імпульс тіла - це міра поступального руху, яка характеризує його здатність передаватися іншому тілу V вигляді механічного руху. Імпульсом системи тіл називається геометрична (векторна) сума імпульсів U_{oi} тіл, що входять в дану систему. Сумарний імпульс системи (векторна сума імпульсів тіл, які утворюють систему) при взаємодії тіл всередині системи, не змінюється, тобто внутрішні сили не змінюють сумарного імпульсу системи:

$$M \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots = \sum m_i \vec{v}_i$$

Якщо на систему тіл не діють зовнішні сили, така система називається замкнутою. Для системи, яка складається з будь-якої кількості тіл, її сумарний імпульс буде постійним, якщо тільки не відсутні зовнішні сили. Це важливе положення називається законом збереження імпульсу біомеханічної системи:

$$\text{при } \sum \vec{F}_i = 0 \quad M \cdot \vec{V} = \sum m_i \cdot \vec{v}_i = \text{const}$$

Якщо зіткнуться два тіла з імпульсами $m_1 v_{01}$ і $m_2 v_{02}$, при цьому немає втрат енергії на деформацію та нагрівання (абсолютно пружний удар), то після удару загальний імпульс тіл не зміниться:

$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

де v_{01} і v_{02} - швидкість тіл до удару
 v_1 і v_2 - швидкість тіл після удару

Запишемо вираз другого закону Ньютона для поступального руху:

$$F = m \cdot a$$

Для обертового руху в ролі лінійного прискорення виступає кутове $a = \epsilon \in$, а ролі лінійного діаметра обертового моменту $M \cdot F = F \cdot r$, де r - радіус обертання - плече дії сили F . Тоді вираз другого закону Ньютона для обертового руху прийме вигляд:

$$M(F) = F \cdot r = m \cdot a \cdot r = m \cdot r \cdot \epsilon \cdot r = J \cdot \epsilon$$

де $J = m r^2$ - момент інерції тіла;
 $\epsilon = d\omega/dt$ - кутове прискорення;
 ω - кутова швидкість.

З попередньої формули $M(F) = J \cdot \epsilon$ отримуємо наступне рівняння:

$$M(F) \Delta t = J(\omega_2 - \omega_1)$$

де $L = M(F) \cdot t$ - імпульс моменту сили,
 $K = J \omega$ - кінетичний момент.

Порівняння поступального руху з обертовим показує, що рівняння обертового руху подібні до рівнянь поступального руху, в яких замість сили F фігурує момент сили $M(F)$, а замість маси m - момент інерції $I = m \cdot r^2$, замість імпульсу сили $F \cdot t$ - імпульс моменту сили $M(F) \cdot t$, а замість імпульсу тіла $m \cdot v$ - кінетичний момент $K = I \cdot \omega$.

Кінетичний момент - це імпульс тіла при обертовому русі - міра обертового руху, що характеризує його здатністю передаватися іншому тілу у вигляді механічного руху. Кінетичний момент обертового руху тіла відносно осі обертання дорівнює добутку моменту

інерції тіла відносно даної осі обертання на його кутову швидкість:

$$K = J \cdot \omega \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}]$$

Сумарний кінетичний момент системи знаходиться внаслідок взаємодії тіл системи не змінюється, тобто внутрішні сили не змінюють сумарного кінетичного моменту системи. Тому для двох тіл можна записати:

Векторна сума кінетичних моментів тіл до взаємодії дорівнює векторній сумі її кінетичних моментів після взаємодії.

Зміна кінетичного моменту відбувається внаслідок дії імпульсу моменту зовнішніх сил $M(F) \cdot t$.

Імпульс моменту сили - це міра дії моменту сили відносно даної осі протягом певного проміжку часу. За кінцевий проміжок часу дії імпульс моменту сили дорівнює добутку моменту сили на час.

Імпульс сили та імпульс моменту сили, що діють на тіло, визначають зміну його руху, яка залежить від інертності тіла і протидіє в зміні швидкості (імпульсу тіла, кінетичного моменту).

Таким чином, до раніше розглянутих кінетичних мір зміни руху (лінійні та кутові швидкості і прискорення) додаються динамічні міри зміни руху (імпульс тіла і кінетичний момент). Разом з мірами дії сил вони пояснюють причини руху та його зміни.

2. Енергетичні характеристики

Сили, прикладені до твердого тіла, виконують механічну роботу, змінюючи положення та швидкість руху його частин і змінюючи тим самим його механічну енергію. Робота характеризує процес змін енергії системи. Енергія, в свою чергу, характеризує стан системи, який може змінюватися лише внаслідок виконання над нею роботи.

Механічна енергія - це запас роботоздатності біомеханічної системи - кількісна характеристика її механічного стану. Механічна енергія твердого тіла змінюється, якщо на нього діють зовнішні сили та моменти.

Енергія, яка визначається взаємним розташуванням тіл (або частин тіла), між якими діють консервативні сили (наприклад, сили гравітаційного притягання), називається *потенціальною енергією*. Потенціальну енергію мають тіла, які підняті над площинною відліку, а також розтягнуті (чи стиснуті) пружні тіла. Для тіл, що знаходяться на поверхні Землі, потенціальна енергія звичайно (але не завжди) приймається рівною нулю. Потенціальну енергію тіла в полі

сил тяжіння, піднятого на висоту h визначають за формулою :

$$E_n = mgh \quad [\text{Дж}]$$

Потенціальна енергія в полі сил тяжіння залежить від розташування тіла (чи системи тіл) відносно поверхні Землі, або прийнятої нами для розрахунку горизонтальної поверхні, відносно якої і визначається потенціальна енергія в даному випадку.

Потенціальна енергія пружнодеформованої системи залежить від відносного розташування її частин і визначається за формулою:

$$E_n = k dx^2 / 2 \quad [\text{Дж}]$$

де k - коефіцієнт жорсткості, який визначається відношенням пружної сили до виконаної чом деформації;
 dx - величина деформації.

При зміні розташування тіла його підняття чи опускання, зміна його позиції, його потенціальна енергія переходить в механічну Енергія руху. Її визначається швидкістю тіла, називається кінетичною енергією. Кінетична енергія - це енергія механічного руху тіла. При поступальному русі вона пропорційна масі тіла та квадрату його швидкості:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad [\text{Дж}]$$

де m - маса тіла, кг;
 v - швидкість руху тіла, м/с.

При обертальному русі кінетична енергія тіла вираховується за іншою формулою:

$$E_k = J\omega^2 / 2 \quad [\text{Дж}]$$

де J - момент інерції тіла відносно осі обертання, кг м;
 ω - кутова швидкість обертання тіла, рад/с.

Сума потенціальної, кінетичної і пружної енергій твердого тіла становить його повну механічну енергію. При відсутності дії зовнішніх сил, повна механічна енергія системи твердих тіл не змінюється.

Механічна робота сили - це міра дії сили на тіло при деякому його переміщенні під дією цієї сили. Величина роботи сили над тілом визначається скалярним добутком її величини (модуль) на величину переміщення точки прикладання цієї сили в напрямку її дії.

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \text{Cos}(\vec{F}, \vec{S}) ; [H \cdot m] = [Дж],$$

де F - величина прикладеної сили, Н;
 S - величина переміщення, м;
 (\vec{F}, \vec{S}) - величина кута між напрямком дії сили і переміщенням.

У загальному випадку, коли сила з плином часу змінюється, а траєкторія руху точки криволінійна, робота сили є сумою елементарних робіт:

$$A = \int_0^S F_{sd} ds,$$

де F_s - проекція сили на напрям переміщення.

Якщо сила спрямована в сторону руху (або під гострим кутом до напрямку руху), то вона здійснює додатну роботу, збільшуючи енергію тіла. Сили, напрям яких співпадає з напрямком переміщення, називають рушійними силами або силами тяги. Коли ж сила спрямована проти руху (або під тупим кутом до переміщення тіла), то робота сил від'ємна і енергія тіла зменшується. Такі сили називають гальмівними - це сили опору рухові або тертя.

Робота сили тертя при коефіцієнті тертя ковзання μ визначається за формулою:

$$A_{\text{тер}} = - \mu NS \quad [\text{Дж}]$$

де N - сила нормального тиску відносно площини переміщення ($N = S$).

При горизонтальному переміщенні $N = mg$.

У випадку похилої площини: $N = mg \cos \alpha$, де α - кут нахилу площини відносно горизонту.

Сили, що за напрямком дії перпендикулярні механічному переміщенню, називаються нормальними. Нормальні сили роботу не виконують.

Робота сили тяжіння залежить від початкового і кінцевого розташування тіла: не залежить від форми і довжини траєкторії - рота визначається анімом положення тіла відносно Землі:

$$A_{\text{тяж}} = m \cdot g \cdot dh; \quad [\text{Дж}],$$

де dh - різниця висот початкового і кінцевого розташування тіла відносно обраної для відліку горизонтальної площини.

При опусканні тіла робота сил тяжіння додатна, а при піднянні - від'ємна. Робота сил тяжіння при русі матеріальної точки по замкнутій траєкторії рівна нулю. Сили, робота яких по замкнутому контуру рівна нулю, називаються консервативними. Сила тяжіння є консервативною силою.

Консервативною силою є також сила пружності. Робота сил пружності при розтягу (стиску) пружного тіла з коефіцієнтом жорсткості k на величину вираховується за формулою:

$$A_{\text{пр}} = - k dx^2/2; \quad [\text{Дж}].$$

Робота сили при обертовому русі на кінцевому шляху залежить від моменту сили $M (F)$ і кутового переміщення $d\phi$:

$$A_{об} = \int_{r_1}^{r_2} M(F) \cdot d\varphi ; \quad [кг \cdot м^2 \cdot с^{-2}] = [Дж].$$

Роботу при повороті тіла на кут φ при обертовому русі у випадку постійного моменту сили $M(F)$ визначають наступним способом:

$$A_{об} = M(A) \cdot \varphi.$$

При розрахунку енергії біомеханічної системи чи її біодвигача часто визначають потужність механічної роботи. Потужність - це міра інтенсивності роботи, що характеризує її кількості, виконану за одиницю часу. Потужність - це скалярна величина, що визначається як відношення роботи до часу, протягом якого вона здійснювалась:

$$N = A/t ; \quad [Дж/с] = [Вт].$$

Потужність роботи над тілом у випадку його прямолінійного рівномірного руху визначається за формулою:

$$N = F \cdot v$$

де v = швидкість прямолінійного рівномірного руху.

Потужність у випадку рівномірного обертання тіла визначається за формулою:

$$N_{об} = M(F) \cdot \omega$$

де ω = кутова швидкість.

Ефективність прикладання сил в класичній механіці визначають за величиною коефіцієнту корисної дії (К.К.Д.), який розраховується, як відношення корисної роботи (A_k) до всієї затрачено роботи (A_z) рушійних сил.

$$К.К.Д. = \frac{A_k}{A_z} = \frac{N_k}{N_z}$$

Чим більший К.К.Д., тим ефективніший рух.

У середині XIX століття спеціалісти намагалися одніти механічну ефективність м'язової роботи (аналіт біологічний аналог коефіцієнта корисної дії механізмів). Запропонований показник - відношення зовнішньої механічної роботи до загальних енерговитрат організму - назвали коефіцієнтом механічної ефективності (КМЕ):

$$КМЕ = \frac{A_{зовнішня}}{\text{Валові енерговитрати організму}}$$

У поняття "Валові енерговитрати організму" входять: енергозатрачення зовнішньої (видимої нам) механічної роботи, основного

обміну: посиленої активності фізіологічних систем при активній м'язовій роботі, активності м'язів, що зберігають позу, рівновагу тощо; подолання сил тертя в органах і т. ін.

Виділити із знаменника енерговитрати, що безпосередньо не стосуються зовнішньої механічної роботи, дуже важко. Різні дослідники вираховували енерговитрати на основний обмін, витрати енергії в стані спокою (лежачи, сидячи або в робочій позі), або на "холостому ходу" (тобто, при виконанні аграрії без зовнішнього навантаження), наприклад: робота на велоергометрі без навантаження, ходьба по горизонтальній поверхні і т. ін. Проте, одержані значення "чистого" (нетто) коефіцієнта КМЕ коливалися від 0,19 до 0,45.

У першу чергу, це пов'язане з неврахуванням роботи на переміщення біодянок тіла при локомоціях, а також відсутності чіткого фізіологічного змісту вираховування метаболічної енергії спокою з валових енерговитрат. Істинне значення КМЕ, на нашу думку, повинні лежати у межах 0,35 - 0,45, що підтверджується термодинамічними розрахунками та іншими біологічними фактами. Тобто, в чисельнику для виразу КМЕ повинна бути сума зовнішньої механічної роботи і роботи на переміщення біодянок тіла (яка також повинна бути віднесена до зовнішньої роботи). У знаменнику - це значення загальних енерговитрат організму, які можна визначити методом ергометрії, доцільно вираховувати енергію на основний обмін.

Для практики певний інтерес представляє так званий "дельта" - коефіцієнт:

$$\Delta \text{ К М Е } = \frac{A_2 - A_1}{E_2 - E_1}$$

де A_1 і A_2 - зовнішня механічна робота, виконувана у завданнях меншої та більшої інтенсивності;

E_1 і E_2 - валові енерговитрати при виконанні цих завдань.

"Дельта" - коефіцієнт механічної ефективності дозволяє уникнути абсолютної похибки при експериментальному визначенні загальних енерговитрат організму при м'язовій роботі.

Не слід плутати КМЕ, що вивчається різном досконалості м'язового апарату, його енергозабезпечення та керування ним (аналог КМЕ для м'язів і систем забезпечення їх роботи), з коефіцієнтом використання механічної енергії (доцільністю використання Азовніш. з метою розв'язання рухового завдання).

у класичній механіці використовують два основних способи розрахунку величини виконаної роботи:

а) вираховують скалярний добуток векторів сили та переміщення точки її прикладання;

б) коли не всі сили, що діють на тіло, нам відомі, величину роботи, виконаної над ним, визначають за зміною його механічної енергії.

Основна складність розрахунку роботи на переміщення біодянок тіла пов'язана з тим, що тіло спортсмена є так званого неконсерва-

тивної системою, в якій одна частина механічної енергії розсіюється, а інша - зберігається та використовується в наступних руках.

Розглянемо три можливі шляхи збереження енергії в тілі людини:

а) перехід кінетичної енергії (енергії руху) біолонок у їх потенціальну енергію (енергію розтягування в полі сил тяжіння);

б) перехід механічної енергії від однієї біолонки до іншої;

в) накопичення енергії в пасивно розтягнаних м'язах (аналогічно накопиченню енергії у пружинах, що деформуються) з наступним її поверненням (враховуючи часткові втрати на релаксацію з плином часу) в систему з метою розв'язання рухового завдання;

г) зворотне перетворення механічної роботи в хімічну енергію.

Результати сучасних досліджень не дають особливих сподівань що до п.п. "в)" і "г)". Виявлено також, що при реверсивній роботі м'язів підвищення їх К.П.Д. обумовлюється в першу чергу збільшенням концентрації іонів Ca^{++} - активаторів механохімічної реакції, яка збільшується при руйнуванні клітинних оболонок в дитячій м'язовій тканині. Прочі компоненти м'язів, внаслідок їх порівняно високої жорсткості, не можуть при розтягу зовнішніми силами нагромаджувати достатню кількість енергії.

Принципова можливість синтезу в м'язах (крім їх пасивному розтягу) макроергетичних хімічних сполук, що можуть бути використані як додаткове джерело виконання механічної роботи, залишається маловивченим.

Що стосується п. "б)", то, на відміну від механізмів машин (наприклад, двигуна внутрішнього згорання, квейної машинки і ін., де всі частини механізму та їх рухи одночасно пов'язані), навряд чи можлива передача механічної енергії від однієї руки на другу, чи від руки до ноги (крім окремих випадків, де біолонки механічно зв'язані між собою (наприклад, ноги велосипедиста, зв'язані кривошипом з педалями)). Це легко пояснити наявністю у кожної біолонки індивідуальних двигунів - м'язів, що її утворюють, на відміну від механізмів, де всі деталі приводяться в рух від одної з них. Так, не викликає сумніву неможливість переходу енергії від однієї руки до іншої під час їх попереминого піднімання та опускання. Тому збереження енергії в тілі спортсмена реально можливе лише за рахунок переходу кінетичної енергії конкретних біолонок в їх потенціальну енергію і навпаки (подібно перетворенню енергії при коливаннях маятника (див. рис. 4).

На практиці лише деякі рухи біолонок тіла при виконанні фізичних вправ нагадують рухи маятника (наприклад, рухи рук і ніг при ходибі та бігу). У більшості випадків (особливо це стосується швидких рухів), потенціальна і кінетична енергії окремих біолонок змінюється несинхронно, що обумовлено необхідністю реалізувати в процесі їх виконання специфічні траєкторії і режими руху біолонок, внаслідок чого сумарна енергія біомеханічної системи постійно змінюється, а ступінь взаємних переходів механічної енергії біолонки з одного виду в інший зменшується.

Яка частка кінетичної енергії системи біологичного тіла людини переходить в потенціальну і навпаки, а яка безповоротно втрачається у кожному циклі рухових дій, показує коефіцієнт рекуперації енергії.

$$K = \frac{(\Delta E_{п1} + \Delta E_{к1}) - \Delta E_{з}}{\Delta E_{п1} + \Delta E_{к1}} \times 100\%,$$

- де $\Delta E_{к}$ - кінетична енергія системи;
- $\Delta E_{п}$ - потенціальна енергія системи;
- $\Delta E_{з}$ - повна енергія системи.

При повному переході енергії ($\Delta E_{з} = 0$) коефіцієнт рекуперації механічної енергії: $K = 1$, як в маятнику.

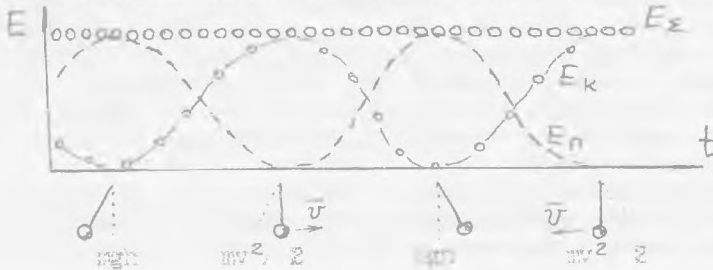


Рис. 4. Перетворення механічної енергії при коливаннях маятника.

- - потенціальна енергія маятника $E_{п} = mgh$;
- o-o-o- - кінетична енергія маятника $E_{к} = mv^2/2$;
- oooooo - повна енергія маятника $E_{з} = E_{п} + E_{к}$.

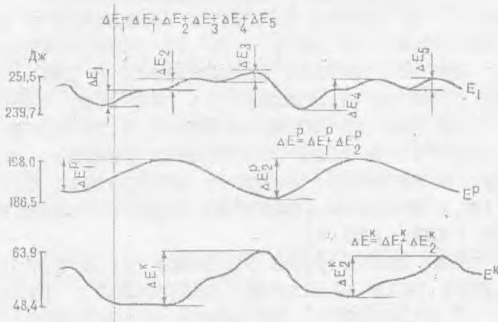


Рис. 5. Зміна кінетичної $E_{к}$, потенціальної $E_{п}$ та повної $E_{з}$ механічної енергії верхньої частини тулуба в одному циклі нормальної ходьби зі швидкістю 2,27 м/с пацієнта А. П. вагою 81,8 кг та зростом 1,88 м:
 $E_{к}$, $E_{п}$, $E_{з}$ - механічна робота по збільшенню кінетичної, потенціальної та повної механічної енергії.

Результати спеціальних розрахунків та експериментальні дані показують, що робота на переміщення біологів тіла, що виконується за один оберт, педалей велоергометра, змінюється пропорційно квадрату частоти педалювання, а потужність - пропорційно її кубу (рис. 6):

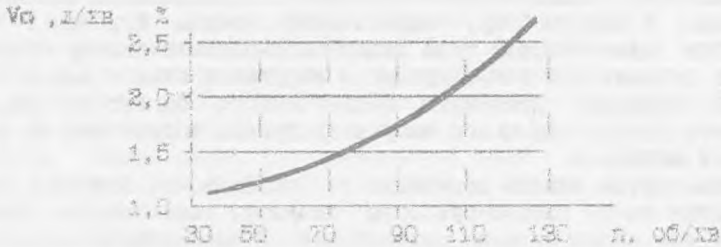


Рис. 6. Залежність швидкості споживання кисню від частоти рухів:
n - частота педалювання на велоергометрі;
Vc - швидкість споживання кисню.

Коефіцієнт рекуперації енергії в шкільних локомоціях залежить від частоти виконання вправи, і для велосипедного педалювання має наступний вигляд:

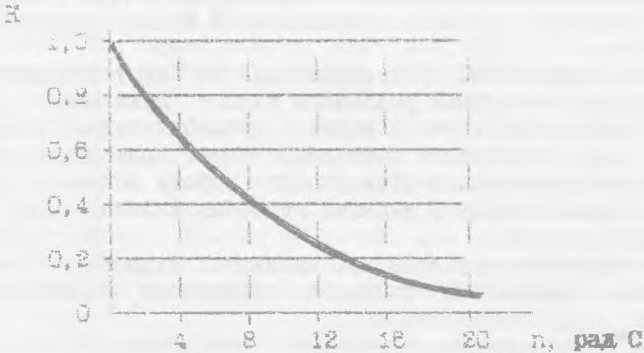


Рис. 7. Коефіцієнт рекуперації механічної енергії від велосипедиста Н. С. вагом 74 кг та зростом 1,89 м при педалюванні з різною частоток, сидячи в сидлі (розрахункові дані).

Підвищення механічної ефективності рухових дій можливе за рахунок максимального використання механічної енергії, що знаходиться в системі (робота її переходу від одного виду в інший та від однієї біомеханіки до іншої), і зменшення енерговитрат на переміщення біологів тіла спортсмена та елементів його спорядження шляхом оптимізації роботи пози, зменшення маси спортивних приладів, біля досконалої біомеханічної структури фізичних вправ.