

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ В РУХОВИХ ДІЯХ ЛЮДИНИ

В роботі розглянуто актуальні проблеми сучасного біомеханічного аналізу, присвячених дослідженням ресурсу енергії людського тіла на прикладі складних рухових дій спортсмена.

Ключові слова: біомеханічний аналіз, механічна енергія, рекуперація, складні рухові дії.

Постановка проблеми. При аналізі рухів людини особливе значення мають такі види енергії: потенціальна (E^p), зумовлена силою тяжіння; кінетична енергія поступального руху (E^{k1}); кінетична енергія обертання (E^{k2}); потенціальна енергія, зумовлена деформацією, та енергія, що є результатом обмінних процесів. У процесі занять фізичними вправами людина виконує механічну роботу, котра витрачається на змінення механічної енергії тіла або його частин, тобто роботу переміщення. Згідно з підходом робота – це енергія, а енергію можна уявити як здатність виконувати роботу [4, 5].

У біологічних системах обміну енергії для виконання роботи не є абсолютно ефективним процесом, в результаті чого не вся перетворювана енергія переходить у роботу. Тільки 25% звільненої внаслідок обмінних процесів енергії використовується для виконання роботи, решта 75% перетворюється на тепло або використовується під час відновлювальних процесів. Відношення виконаної роботи до змінення кількості енергії характеризує ефективність руху.

Механічна ефективність рухів. Ефективність руху має два значення, в залежності від того, кого досліджуємо:

- 1) спорт високих досягнень – ефективність руху полягає в тому, щоб повністю використати весь запас механічної енергії для досягнення високих спортивних результатів. Чим більше тренувана людина, тим більший запас повної механічної енергії. Ефективність руху залежить від економічності.
- 2) ефективність руху набуває свого іншого змісту в оздоровчому тренуванні, відновленні, фізичній реабілітації. Ефективно рухається та людина, яка як найбільше зберігає і повторно використовує повну механічну енергію в кожен момент часу – це і є **рекуперація** (збереження та повторне використання повної механічної енергії при рухових діях людини).

Існує три фактори, що визначають ефективність рухових дій і кінцевий результат руху [7]:

1. *Кількість метаболічної енергії, що звільняється в організмі при пересуванні по дистанції* (граничні можливості людини в цьому відношенні характеризують такими загальновідомими показниками, як максимальне споживання кисню, максимальний кисневий борг і т.п.), тобто це ті основні потрапляння енергії, завдяки яким людина може рухатися. Метаболічна енергопродукція кінцева, так само як кінцева швидкість її виробництва. Кількість виробленої енергії визначається ємністю і потужністю трьох енергетичних систем: окисненістю, лактацидною і фосфагенною.

2. *Здатність використовувати якомога більшу частину звільненої енергії для виконання механічної роботи* (тобто механічною ефективністю, яка характеризується коефіцієнтом механічної ефективності: K_{me}). Оскільки K_{me} дорівнює відношенню корисної механічної роботи до валових енерговитрат, ефективність руху можна підвищити як за рахунок збільшення чисельника, так і за рахунок зменшення знаменника. Механічна робота збільшується при збільшенні інтенсивності виконання вправ. Але в цьому випадку валові енерговитрати ростуть ще швидше, оскільки:

- збільшуються теплові втрати в результаті нагрівання тіла;
- збільшуються енерговитрати на роботу внутрішніх органів (у першу чергу на посилене функціонування кровоносної та дихальної систем);
- зростає величина внутрішньої роботи, яка витрачається на рух ланок – розгін, гальмування. Прямо ця робота не впливає на корисний результат руху (наприклад, пересування по дистанції), але без підготовчих рухів ланок (розтягування м'язів) корисний результат не буде досягнутий. Зниження такого роду енерговитрат полягає в раціоналізації техніки виконання вправ. Це стосується не тільки рухових дій в напрямку переміщення, а й надвиробництва зусиль в інших напрямках, що витрачаються на зайві коливання тіла і та його біоланок;

- зростає опір зовнішнього середовища пропорційно квадрату швидкості пересування людини або людини і спортивного інвентарю по дистанції. Зроблено дуже багато біомеханічних досліджень, спрямованих на зниження негативних ефектів опору середовища. В результаті зроблено багато розробок: це лижні мазі, що знижують коефіцієнт тертя лиж по снігу, дискові колеса на велосипеді (D.Dal Monte, 1990), що зменшують турбулізації потоку повітря за ними, що послаблює опір тиску, краплеподібні шоломи велосипедистів, що затримують зрив потоку повітря при обтіканні, з значить, також зменшують опір тиску.

Знизивши енерговитрати, можна зекономлену частину енергій використовувати у здійсненні корисного результату руху,

3. *Уміння пересуватися з більшою швидкістю, виконуючи при цьому меншу механічну роботу* (тобто економічність техніки, пов'язаної перш за все з рекупераційними процесами в організм людини).

Наслідком закону збереження енергії, який проявляється через механізми рекуперації енергії, є досить висока ефективність рухових дій людини.

Якби тіло представляло собою окремі сегменти, яке рухається так само, як при русі людини, то витрати енергії були б в 3 – 5 разів більше, ніж насправді. Слідством збереження механічної енергії тіла метаболічним джерелом м'язів підводять тільки 20 -35% необхідної енергії у природних локомоціях. На сьогодні відомо, що 3 збереження і повторне використання (або рекуперація) механічної енергії відбувається за рахунок дії трьох механізмів (шляхів):

1. Перехід кінетичної енергії у потенціальну енергію гравітації і зворотно.
2. Перехід механічної енергії від однієї біоланки до іншої (*балістичний пріоритет*: від біоланки більшої маси до біоланки меншої маси).
3. Перехід кінетичної енергії руху в потенціальну енергію пружної деформації м'язів та сухожилків і зворотно.

У біомеханіці проблематика пов'язана з дослідженням механічної роботи переміщення, яка включає два основних завдання:

- 1) визначення механічної роботи, виконуваної при локомоціях та її окремих фракцій;
- 2) визначення величин рекуперованої механічної енергії як критерію ефективності виконуваних рухів.

Знаходження роботи переміщення представляє собою достатньо важку задачу, яка в теперішній час вирішена не повністю. Основна складність пов'язана з тим, що тіло людини представляє собою неконсервативну систему, в якій одна частина механічної енергії розсіюється, а інша зберігається і використовується при слідуєчій дії. З'ясувати в якій мірі рух виконується за рахунок механічної енергії, існуючій в системі, а в якій – за рахунок енергії м'язового скорочення, можна тільки експериментальним шляхом із залученням ідей і методів теоретичної механіки та сучасних комп'ютерних технологій.

Наприклад, під час бігу з будь-якою швидкістю зберігається близько 80% повної механічної енергії ланок тіла. Зі зростанням швидкості руху істотно збільшується частка енергії, збереженої за рахунок її передачі між ланками тіла, і зменшується її передача за рахунок переходу кінетичної енергії руху в потенціальне поле сили тяжіння і назад.

Перший механізм рекуперації. Збереження повної енергії по цьому механізму вимагає строго протифазної зміни кінетичної потенціальної фракції енергії. Таке явище спостерігається не у всіх ланках тіла. Наприклад, в бігу і ходьбі потенціальна і кінетична енергії стопи одночасно досягають нульового значення в опорній фазі. Чим вище над опорою розташовується ланка, тим більше енергії він може зберегти. Вважається, що перший механізм рекуперації енергії забезпечується в цілому в природних локомоціях економію енергії в діапазоні 12 – 23%.

Другий механізм рекуперації. Механічна енергія може передаватися від ланки до ланки тіла людини двома шляхами: за рахунок впливу через суглобові зчленування допомогою контактних сил, які роблять роботу по зміні енергії сусідньої ланки; за рахунок дії м'язів (односуглобових, а також двохсуглобових, що передають енергію через два суглоба від ланки до ланки, безпосередньо нез'єднаних суглобовим зчленуванням).

За різними оцінками рекуперування енергії за механізму її передачі від ланки до ланки складає від 30 до 42% від повної енергії [1, 4, 5, 7].

Якщо, перехід повної механічної енергії відбувається від біоланки з більшою масою до біоланки з меншою масою, тоді цей шлях рекуперації називається балістичним пріоритетом (характером) руху. Теоретично: матеріальна точка, якій надано рушійну силу, рухається за законами балістики і має плавну траєкторію гіперболи від початку до кінця руху. Оскільки ОРА тіла людини складна біомеханічна система і має складний зв'язок між біоланками, то рух біопар ОРА може тільки наближатися до цієї моделі руху.

Третій механізм рекуперації енергії. Внаслідок того що м'язи людини працюють тільки на скорочення, основний рух випереджає рух в протилежному напрямку. Те що відбувається в таких попередніх рухах розтягнення м'язів призводить до накопичення в них енергії пружної деформації, використаної потім в основному русі. Якщо бути зовсім точним, то розтягуванню піддаються м'язово-сухожилкові структури. Наприклад, в стрибках кенгуру основна енергія пружної деформації накопичується саме в сухожилках нижніх кінцівок (анатомічно у кенгуру ці сухожилки дуже довгі).

Ступінь використання енергії пружної деформації залежить від умов виконання рухів, зокрема від часу між розтягуванням і скороченням м'язів. При збільшенні паузи між попереднім розтягуванням і наступним скороченням за рахунок релаксації м'язів і сухожилків знижується енергетична економічність, а значить, і ефект виконання основної вправи. Інтервал часу, за який повинна накопичитися і використовуватися енергія пружної деформації, визначається постійної часу релаксації, наприклад для згинання колінного суглоба вона дорівнює 1,4 с (R. Margaria, 1963).

Якщо час руху більше часу релаксації, накопичена енергія повністю розсіюється і наступна фаза руху повністю здійснюється за рахунок метаболічної енергії м'язового скорочення.

Властивість м'язів накопичувати енергію пружної деформації корелює з процентним співвідношенням швидких і повільних м'язових волокон: чим вище відсоток повільних волокон, тим краще використовується енергія пружної деформації (П. Комі, К. Боско, 1978).

За різними даними [2, 3, 4, 7] рекуперація енергії в м'язово – сухожилкових структурах становить від 6 до 37%. Такий великий розкид пояснюється тим, що досліджували різні м'язи і умови дослідів не були повністю ідентичні, крім того, досліджувані були різного віку та рівня фізичної підготовки.

Але визначення кількісних показників рекуперації механічної енергії можливо лише при слідуючих припущеннях:

- оскільки тіло людини неконсервативна замкнута система відносно зовнішнього середовища, то частина механічної енергії розсіюється навколо, а інша частина зберігається і повторно використовується для виконання подальшого руху;
- при виконанні рухів довжина біологів тіла постійна;
- відсутні сили тертя у суглобах (немає втрати енергії на сили тертя у суглобах);
- на сьогодні можливо розглядати не реальний ОРА, а його модель (в даній роботі застосовується найпростіша модель Бернштейна: 14 сегментів – дозволяє вивчити 50% усіх можливих рухів) [3].

Основні кількісні показники механічної енергії ОРА. Повну механічну енергію можна визначити через суму кінетичної енергії і потенціальної:

$$E_i = E_i^k + E_i^n$$

Згідно з теоремою Кьоніга повну кінетичну енергію біологів E_i^k можна визначити через суму кінетичної енергії поступального E_i^{k1} та обертального E_i^{k2} рухів:

$$E_i^k = E_i^{k1} + E_i^{k2} - \text{знаходження повної кінетичної енергії:}$$

$$E_i^{k1} = m_i V_i^2 / 2 - \text{кінетична енергія поступального руху;}$$

$$E_i^{k2} = I_i \omega_i^2 / 2 - \text{обертального руху;}$$

$$E_i^n = m_i g h_i - \text{знаходження потенціальної енергії}$$

$$E_i = (m_i V_i^2 / 2) + (I_i \omega_i^2 / 2) + (m_i g h_i)$$

де, m_i – маса біолога; V_i – миттєва лінійна швидкість біолога; I_i – момент інерції біолога відносно миттєвої осі обертання, що проходить через його центр маси:

ω_i – миттєва кутова швидкість біолога

h_i – висота центру мас біолога над нульовим рівнем

g – прискорення сили тяжіння

Повна механічна енергія всього тіла знаходиться за формулою:

$$E = \sum E_i - \text{сума часток енергії всіх біологів тіла.}$$

Збереження енергії – це перехід одного виду енергії в інший і навпаки. Перехід розуміється в протифазній зміні кінетичної і потенціальної енергії. Протифазна зміна – це коли один вид енергії збільшується, а другий вид енергії зменшується. Весь зміст визначення збереження енергії – полягає у:

- послідовному визначенні змін енергії від кадру до кадру;
- послідовному визначенні теоретичної, квазімеханічної роботи;
- визначенні суми змін реальної механічної роботи;
- визначенні коефіцієнту рекуперації.

Підрахунок змін визначення повної реальної механічної енергії залежить від векторної суми енергій в кожний момент часу. Таким чином чим більше змін, тим більше збереження і тим менше значення змін повної механічної енергії (ідеальний графік – пряма лінія).

Ці види енергії можуть змінюватися як в результаті роботи діючих на біолога сил негравітаційної природи, так і в результаті переходу кінетичної енергії в потенціальну і зворотно під дією сили тяжіння.

Необхідною умовою переходу кінетичної "енергії швидкості" в потенціальну "енергію положення" і зворотно являється їх протифазна зміна в часі.

Внаслідок протифазної змін кінетичної і потенціальної енергій тіла їх сума, яка дорівнює повній механічній енергії, змінюється в циклі на багато менше, ніж кожна з її фракцій.

Для отримання нижньої оцінки, яка необхідна для виконання даної дії вважають, якщо існує можливість переходу енергії, то такий перехід відбувається. Під можливістю переходу розуміється різнонаправлена зміна кінетичної і потенціальної енергії, коли збільшенню кількості одного виду енергії відповідає зменшення іншого (ΔE_i^n і ΔE_i^k мають протилежні знаки).

Верхню оцінку необхідної механічної роботи (якщо припустити повну відсутність переходу кінетичної енергії в потенціальну і зворотно за рахунок сили тяжіння) можна отримати, склавши прирости потенціальної і кінетичної енергій: $W_i^{KM} = \Delta E_i^n + \Delta E_i^k$.

Ця величина називається *квазімеханічною роботою*. Якщо такий перехід енергії дійсно має місце, то величина заощадженої енергії для дії циклічного характеру може бути оцінена за допомогою коефіцієнта рекуперації:

$$\kappa = \frac{\omega_i^{KM} - \Delta E_i}{\omega_i^{KM}}$$

Алгоритм визначення рекуперації починається з побудови графіків змін величин механічної енергії в кожний момент часу (див. рис. 2-4).

Зміст формули коефіцієнту рекуперації полягає у тому, що спочатку розраховують теоретичну квазімеханічну роботу – W^{KM} , тобто робиться припущення, що енергія в системі зовсім не зберігається, в кожний момент часу робиться алгебраїчна сума незалежно від знаку (по модулю):

$$W^{KM} = \left| \sum \Delta E^n \right| + \left| \sum \Delta E^k \right|$$

Висновки по показнику коефіцієнта рекуперації: згідно з формулою коефіцієнт рекуперації змінюється від 0 до 1. Якщо коефіцієнт дорівнює 0, це означає, що теоретична робота приблизно дорівнює реальній (тобто енергія в системі не зберігається). Якщо коефіцієнт ≈ 1 , це означає, що відбувається протифазна зміна, є збереження та повторне використання енергії, тобто відбувається рекуперація:

- 0-0,3 – коефіцієнт низький, енергія в системі не зберігається, об'єкт рухався неекономічно;

– 0,3-0,6 – коефіцієнт середній, показник зберігання енергії;
 – 0,6-0,99 – високий коефіцієнт рекуперації, енергія в системі зберігається, рух виконувався економічно.

Методика. Для визначення механічної роботи та енергії при локомоціях пропонується такий алгоритм [1, 6]:

- 1) Побудувати БМ модель фізичної вправи, визначити індивідуальний масштаб зменшення та точки початку відліку в інерціальній чи соматичній системі координат (див. рис. 1).
- 2) Заповнити таблицю 1. по визначенню біоенергетичних показників:

1 фаза- ПДСД; 1-9 кадри	2 фаза - ПОШТОВХ ПРАВОЇ НОГИ; 10-16 кадри	3 фаза- ПОШТОВХ ЛІВОЇ НОГИ; 17-20 кадри	4 фаза- ДОУДАРНІ ДІЇ В ФАЗІ ВІЛЬОТУ; 21-29 кадри
-------------------------------	-------------------------------------------------	--------------------------------------------------	--------------------------------------------------------

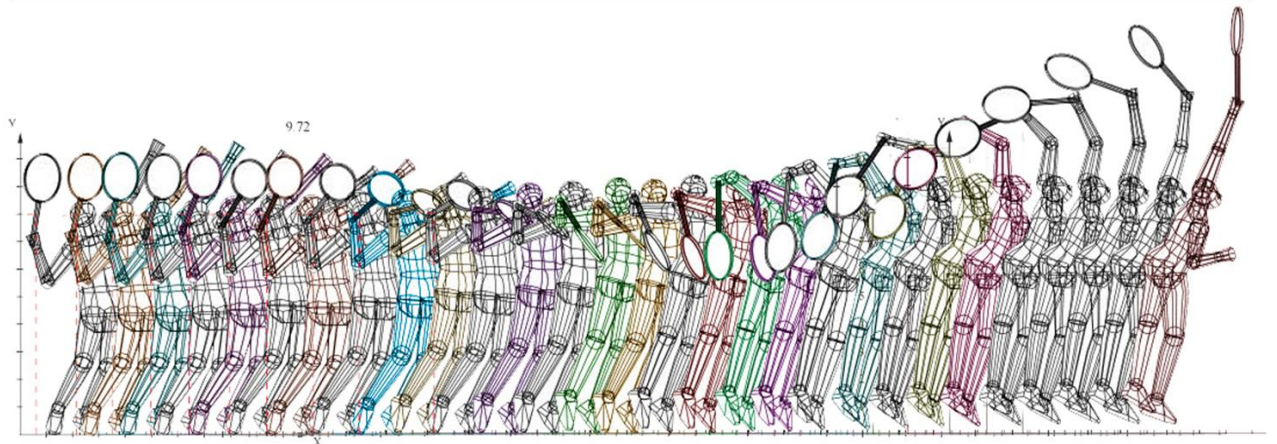


Рис. 1. Стробограма тривимірної відеокомп'ютерної моделі доударних дій подачі тенісиста ($V=100$ к/с)

Ст. № 2. Маса біоланки, m (кг)

Ст. № 3. Довжина біоланки, l (м)

Ст. № 4. Висота від ЦМ біоланки до опори, h (м):

Ст. № 5. Горизонтальне переміщення, S (м):

Ст. № 6. Час кадру:

Ст. № 7. Лінійна швидкість ЦМ біоланки: $\left(V = \frac{S}{t} \right)$:

Ст. № 8. Момент інерції біоланки: $I = \frac{m \cdot l^2}{12}$ (кг M^2)

Ст. № 9. Кутове переміщення; α (рад):

Ст. № 10. Кутова швидкість ω (рад/с):

Ст. № 11. Потенціальна енергія: $E_i^n = m_i \cdot g \cdot h_i$

Ст. № 12. Кінетична енергія поступального руху, $E_i^{k_1} = \frac{m_i \cdot V_i^2}{2}$

Ст. № 13. Кінетична енергія обертального руху, $E_i^{k_2} = \frac{I_i \cdot \omega_i^2}{2}$

Ст. № 14. Повна кінетична енергія, $E_i^k = E_i^{k_1} + E_i^{k_2}$.

Таблиця 1

Визначення біоенергетичних показників доударних дій подачі біоланки тенісиста (кість + ракетка).

№ з/п	ХАРАКТЕРИСТИКИ	КАДРИ														
		I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Біоланка	" кість + ракетка" тенісиста														
2	Маса біоланки, кг	1														
3	Довжина біоланки, м	0,9														
4	Висота від ЦМ до опори h, м	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,68	1,68	1,65	1,65	1,65
5	Горизонтальне переміщення S, м	0,14	0	0,035	0	0,035	0	0,035	0	0	0	0,035	0	0	0,035	0
6	Час, t, с	0,01														
7	Лнійна швидкість ЦМ біоланки $V_{l,м/с}$	14	0	3,5	0	3,5	0	3,5	0	3,5	0	3,5	0	0	3,5	0
8	Момент інерції біоланки, I кг/м ²	0,0675														
9	Кутове переміщення біоланки, $\alpha, град$	0	0,035	0	0,017	0	0	0,017	0	0	0,017	0	0,017	0	0,017	0
10	Кутова швидкість $\omega, град/с$	0	3,5	0	1,7	0	0	1,7	0	1,7	0	1,7	0	1,7	0	0
11	Потенціальна енергія $E_{п}$	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,5	16,1	16,1	16,1
12	Кінетична енергія $E_{к1}$	0	0	6,125	0	6,125	0	6,125	0	0	0	6,125	0	0	6,125	0
13	Кінетична енергія $E_{к2}$	0	0,413	0	0,098	0	0	0,098	0	0,098	0	0,098	0	0,098	0	0
14	Повна кінетична енергія $E_{к} = E_{к1} + E_{к2}$	0	0,413	6,125	0,098	6,125	0	6,223	0	0,098	0	6,223	0,098	0	6,125	0
15	Повна механічна енергія $E_{мех} = E_{п} + E_{к}$	16,1	16,51	22,23	16,2	22,23	16,1	22,32	16,1	16,2	16,1	22,72	16,6	16,1	22,23	16,1
16	Зміна потенціальної енергії $\Delta E_{п}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	-0,4	0	0
17	Зміна кінетичної енергії $\Delta E_{к}$	0	0,413	5,712	-6,027	6,027	-6,125	6,223	-6,223	0,098	-0,098	6,223	-6,125	-0,098	6,125	-6,13
18	Зміна повної механічної енергії $\Delta E_{мех}$	0	0,413	5,712	-6,027	6,027	-6,125	6,223	-6,223	0,098	-0,098	6,623	-6,125	-0,498	6,125	-6,13
19	Зміна квазімеханічної роботи ΔW_{qm}	0	0,413	5,712	6,027	6,027	6,125	6,223	6,223	0,098	0,098	6,623	6,125	0,498	6,125	6,125

№ з/п	ХАРАКТЕРИСТИКИ	КАДРИ																	
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
1	Біоланка	"ракетка-кисть" тенісиста																	
2	Маса біоланки, кг	1																	
3	Довжина біоланки, м	0,9																	
4	Висота від ЦМ до опори h , м	1,645	1,645	1,68	1,75	1,785	1,855	1,96	2,065	2,17	2,345	2,45	2,59	2,66	2,695				
5	Горизонтальне переміщення S_x , м	0	0	-0,035	0	-0,035	0	0	0,035	0,035	0,035	0,07	0,175	0,245	0,28				
6	Час, t_b , с	0,01																	
7	Лінійна швидкість ЦМ біоланки V_{CM}	0																	
8	Момент інерції біоланки, I , кг·м ²	0,0675																	
9	Кутове переміщення біоланки, α , рад	-0,017	0	-0,017	0	-0,017	0	0	-0,017	0,035	0,035	0,052	0,087	0,157	0,105				
10	Кутова швидкість ω , рад/с	-1,7	0	-1,7	0	-1,7	0	0	-1,7	3,5	3,5	5,2	8,7	15,7	10,5				
11	Потенціальна енергія E_p	16,1	16,1	16,5	17,2	17,5	18,2	19,2	20,3	21,3	23	24	25,4	26,1	26,4				
12	Кінетична енергія E_k^1	0	0	6,125	0	6,125	0	0	6,125	6,125	6,125	24,5	153,125	300,125	392				
13	Кінетична енергія E_k^2	0,098	0	0,098	0	0,098	0	0	0,098	0,413	0,413	0,913	2,555	8,319	3,721				
14	Повна кінетична енергія $E_k = E_k^1 + E_k^2$	0,098	0	6,223	0	6,223	0	0	6,223	6,538	6,538	25,413	155,68	308,444	395,721				
15	Повна механічна енергія $E_{i,мех} = E_k + E_p$	16,198	16,1	22,723	17,2	23,723	18,2	19,2	26,523	27,838	29,538	49,413	181,08	334,544	422,121				
16	Зміна потенціальної енергії ΔE_p	0	0	0,4	0,7	0,3	0,7	1	1,1	1	1,7	1	1,4	0,7	0,3				
17	Зміна кінетичної енергії ΔE_k	0,098	-0,098	6,223	-6,223	6,223	-6,223	0	6,223	0,315	0	18,875	130,267	152,764	87,277				
18	Зміна повної механічної енергії $\Delta E_{i,мех}$	0,098	-0,098	6,623	-5,523	6,523	-5,523	1	7,323	1,315	1,7	19,875	131,667	153,464	87,577				
19	Зміна квазімеханічної роботи $\Delta W_{i,мех}$	0,098	0,098	6,623	6,923	6,523	6,923	1	7,323	1,315	1,7	19,875	131,667	153,464	87,577				

$$\sum \Delta W_{i,мех} = 491 \sum \Delta E_{i,мех} = 448$$

3) Побудувати графіки змін потенціальної (E_i^n) та кінетичної (E_i^k) енергій досліджуваної біоланки (рис. 2).

4) Визначити повну механічну енергію (E_i^{Mex}) з урахуванням знаків протифазних змін E_i^n і E_i^k у відповідних моментах часу (це кадри № 17, 19, 21, 22, 25):

Ст. № 15. Повна механічна енергія. $E_i^{Mex} = E_i^n + E_i^k$

5) Розрахувати інтегральні показники потенціальної (ΔE_i^n), кінетичної (ΔE_i^k), повної механічної (ΔE_i^{Mex}) енергій та квазімеханічної роботи ($|\Delta W_i^{KM}|$):

Ст. № 16. Зміна потенціальної енергії, ΔE_i^n ;

Ст. № 17. Зміна кінетичної енергії, ΔE_i^k ;

Ст. № 18. Зміна повної механічної енергії (№16+ №17): $\Delta E_i^{Mex} = \Delta E_i^n + \Delta E_i^k$

Ст. № 19. Повна квазімеханічна робота: $\Delta W^{KM} = |\Delta E^n| + |\Delta E^k|$

6) Визначити суми додатних приростів: $\sum \Delta E_i^{Mex}$ та $\sum \Delta W^{KM}$

7) Визначити коефіцієнти рекуперації енергії в досліджуваних біоланках (K_2 – "кість + ракетка" тенісиста) та зробити висновки.

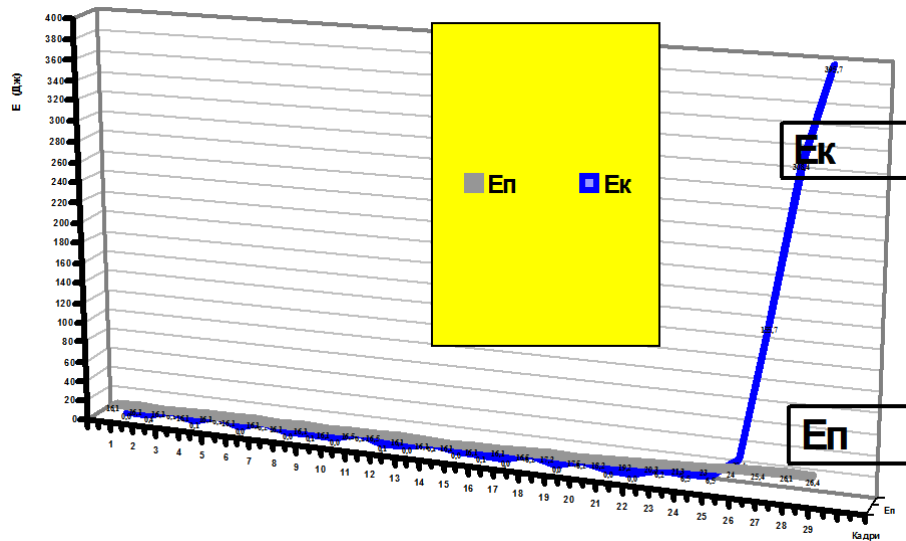


Рис. 2. Графіки змін потенціальної (E^n), кінетичної (E^k) енергій доударних дій подачі біоланки тенісиста (кість + ракетка)

$$K_1 = \frac{\sum \Delta W^{KM} - \sum \Delta E_i^{Mex}}{\sum \Delta W^{KM}}; \quad K_1 = \frac{491 - 448}{491} \approx 0,09$$

8). За таким же алгоритмом визначалися кількісні показники потенціальної, кінетичної, повної механічної енергії правого стегна та коефіцієнт рекуперації інших біоланок: тулуба, правого: плеча, правого передпліччя:

$$\text{Тулуб: } \sum \Delta E_i = 1312,74 \quad \sum \Delta W^{KM} = 1991,9$$

$$K_2 = \frac{1991,9 - 1312,74}{1991,9} = 0,34$$

$$\text{Праве плече: } \sum \Delta E_i = 1001,6 \quad \sum W^{KM} = 1894,66$$

$$K_3 = \frac{1894,66 - 1001,6}{1894,66} = 0,47$$

$$\text{Праве передпліччя: } \sum \Delta E_i = 859,5 \quad \sum \Delta W^{KM} = 1417,8$$

$$K_4 = \frac{1417,8 - 859,5}{1417,8} = 0,39$$

Висновки

1. коефіцієнт рекуперації (збереження та повторного використання механічної енергії) в доударних діях подачі біоланки тенісиста (кість + ракетка) дорівнює 0,09. Рух низької економічності (K від 0 до 0,3), але ефективний для спортивних досягнень, адже механічна енергія по переміщенню біоланки майже

повністю витрачена. Тобто, на протязі руху, що досліджувався, перетворення кінетичної "енергії швидкості" на потенціальну "енергію положення" і зворотно відбувається у меншості кадрів (тобто протифазна зміна у часі присутня лише в 5 кадрах з 29: №№ 17, 19, 21, 22, 25).

2. У біоланках: *тулуб, праве плече, праве передпліччя* коефіцієнти рекуперації дорівнюють відповідно 0,34; 0,47; 0,39. Енергію було використано економічно (майже половина заощаджено), тому високої ефективності у виконанні вправи не було досягнуто, що призвело до низького результату. Крім того, $0,34 < 0,47$ та $0,47 > 0,39$; $0,39 > 0,09$ що свідчить про балістичний пріоритет (перехід механічної енергії від біоланки більшої маси до біоланки меншої маси) тільки в біоланках: *тулуб* → *праве плече*. В біоланках: *праве плече* → *праве передпліччя* → *кість + ракетка* балістичного пріоритету немає. Таким чином, в цілому рухова дія технічно виконана не вірно.

3. Кількісне визначення третього механізму рекуперації енергії (перехід кінетичної енергії руху в потенціальну енергію пружної деформації м'язів та сухожилків і зворотно) на сьогодні залишається складною та не вирішеною проблемою.

Загальний висновок. Фізичний зміст збереження повної механічної енергії полягає у присутності переходу одного виду енергії в інший. Зміст поняття "перехід" полягає в протифазній зміні кінетичної енергії та потенціальної. Якщо одна енергія збільшується, а інша зменшується, тоді енергія зберігається. Ефективність руху залежить від економічності. Ефективність руху полягає в тому щоб повністю використати весь запас механічної енергії для досягнення високих спортивних результатів, чим більше тренований спортсмен, тим запас механічної енергії більший. З цього формується головний теоретичний та практичний зміст спортивного тренування та понять: спортивно-технічна майстерність; спортивна техніка.

В оздоровчому тренуванні поняття **ефективного руху** протилежне: коефіцієнт рекуперації повинен бути високий. Тобто, для тих, хто займається своїм здоров'ям, необхідно виконувати рухи економічно, тобто, таким чином, щоб відбувалась рекуперація (механічна енергія зберігалась та повторно використовувалась).

Використані джерела

1. Архипов О. А. Біомеханічний аналіз : [навч. посібник]. / О. А. Архипов. – К.: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2010. – 227 с.
2. Архипов О. А. Біомеханічні технології у фізичній підготовці студентів. Монографія / О. А. Архипов. – Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2012. – 520 с.
3. Бернштейн Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. – М. : Медгиздат, 1947. – 436 с.
4. Биомеханические основы выносливости / [Зациорский В. М. и др] – М. : Физкультура й спорт, 1982. – С.79–108.
5. Біомеханіка спорту. / [під заг. ред. Лапутіна А. М.] – К., 2001. – 320 с.
6. Носко М. О. Біометрія рухової діяльності людини. Монографія / М. О. Носко, О. А. Архипов [під заг. ред. О. А. Архипова]. – Київ : Слово, 2011. – 216 с.
7. Попов Г. И. Биомеханика. Учебник / Г. И. Попов. – М. : Центр. Академия, 2007. – 256 с.

Lugovoy V.I., Nosko M.O.

BIOENERGETIC DEPENDENCY IN HUMAN MOTOR ACTIONS

In this work the topical problems of modern biomechanical analysis, dedicated research resource of energy in the human body as an example of complex motor actions athlete.

Key words : *biomechanics analysis, mechanical energy, the recovery, complex motor actions of athlete.*

Стаття надійшла до редакції 20.09.2012