

СУЧАСНИЙ РОЗВИТОК І ВИКЛАДАННЯ БІОМЕХАНІКИ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ ТА СПОРТУ

УДК 796.342.012.573:612.76

Носко М. О.

ORCID 0000-0001-9903-9164
ResearcherID C-6263-2017
Scopus-Author ID 56880089100

Доктор педагогічних наук, професор,
дійсний член НАПН України,
Заслужений діяч науки і техніки України,
ректор, Національний університет
«Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка
(Чернігів, Україна) E-mail: rector@chnpu.edu.ua

Архипов О. А.

ORCID 0000-0002-8439-5833

Доктор педагогічних наук, професор,
Відмінник освіти України,
завідувач кафедри фізичного виховання і спорту
факультету фізичного виховання, спорту і здоров'я,
Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова
(Київ, Україна) E-mail: archipov@ukr.net

Омельчук О. В.

ORCID 0000-0003-1771-730X
Scopus-Author ID 57211339627

Кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри біологічних основ фізичного виховання та спортивних дисциплін
факультету фізичного виховання, спорту і здоров'я,
Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова
(Київ, Україна) E-mail: ovomelchuk@ukr.net

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ УДАРНИХ ВЗАЄМОДІЙ У БІОМЕХАНІЧНОМУ АНАЛІЗІ

Мета роботи – здійснити аналіз літературних джерел та результатів дослідження та з'ясувати окремі аспекти біомеханіки тенісного удару, які характеризують головну складову технічної підготовки тенісистів. 1. Проаналізувати роль та місце ударних взаємодій в сучасному тенісі. Виявити основні функціональні зв'язки в біопарах «ракетка-кисть», «кисть-передпліччя», «передпліччя-плече». Розробити алгоритми розрахунків кількісних біоенергетичних показників центрального удару «for-hand» у сучасному тенісі.

Методологія. Використана Система APAS, оцифрування й аналіз здійснювалися за методикою Augilo R. V., Дарена J. та проф. Арієля.

Наукова новизна. Керувати м'ячем на струнній поверхні ракетки неможливо через те, що на проходження сигналу, що підіймається по нервових волокнах в мозок тенісиста через ракетку, кисть, передпліччя, плече і шию, витрачається близько 50 мс. У той же час взаємодія підсистеми «ракетка-м'яч» триває протягом 3-5 мс. тобто у десять разів менше, ніж проходження сигналу по нервових волокнах.

До проблеми економізації спортивної техніки належить раціональне використання енергії та енергозбереження. Якщо у різних спортсменів при виконанні одного і того ж рухового завдання виміряти енерговитрати, то їх величини можуть виявитися різко різними: одна і та ж робота буде для різних спортсменів пов'язана з неоднаковою витратою енергії. Ефективність удару в тенісі залежить від організації процесів управління і процесів його енергозабезпечення. Ефективність ударної дії визначається величиною початкової швидкості (лінійною і кутовою) польоту м'яча після ударної взаємодії і точністю його попадання в певне місце майданчика. Управляти ракеткою спортсмен може тільки через кисть і пальці, оскільки вони безпосередньо контактують з ручкою ракетки.

Висновки. До біомеханічного апарату управління тенісиста (БАУ) належать ланки біокінематичного ланцюга тіла тенісиста, до якого також належать кисть, передпліччя, а також м'язи передпліччя, відповідальні за рух кисті. Активність м'язів-антагоністів руки тенісиста обумовлена тим, що жорсткості зв'язку системи «ракетка-кисть», «кисть-передпліччя», а, також і «передпліччя-плече» потрібна для того, щоб жива система за своїми характеристиками наблизилася до механічної системи з її однозначністю рухів. Завдяки жорсткості зв'язку між розглянутими ланками кількість руху більш великих ланок майже без втрат передається кисті й ракетці, а від них – м'ячу.

Ключові слова: теніс, удар, пружний удар, час удару, біомеханіка.

Актуальність роботи. До проблеми економізації спортивної техніки належить раціональне використання енергії та енергозбереження. Якщо у різних спортсменів при виконанні одного і того ж рухового завдання виміряти енерговитрати, то їх величини можуть виявитися різко різними: одна і та ж робота буде для різних спортсменів пов'язана з неоднаковою витратою енергії [5; 6; 9].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ефективність удару в тенісі залежить від організації процесів управління і процесів його енергозабезпечення. Ефективність ударної дії визначається величиною початкової швидкості (лінійної і кутової) польоту м'яча після ударної взаємодії і точністю його попадання у певне місце майданчика [3; 4; 7].

Мета роботи – здійснити аналіз літературних джерел та результатів дослідження, з'ясувати окремі аспекти біомеханіки тенісного удару, які характеризують головну складову технічної підготовки тенісистів.

Задачі роботи. 1. Проаналізувати роль та місце ударних взаємодій у сучасному тенісі.

2. Дослідити головні різновиди ударних дій у технічній підготовці тенісистів.

3. Виявити основні функціональні зв'язки в біопарах «ракетка-кисть», «кисть-передпліччя», «передпліччя-плече».

4. Розробити алгоритми розрахунків кількісних біоенергетичних показників центрального удару «for-hand» у сучасному тенісі.

Методологія дослідження

Методи: система APAS була використана для збору відеоданих з 3-х нерухомих камер із частотою 60 Hz. Відеозображення рухових дій тенісистів протягом турніру з тенісу: the Pacific Life Open передавалися через Інтернет, оцифровувалися й аналізувалися за методикою Augulo R. V., Darena J. та проф. Аріеля [3].

Обладнання та вихідні дані: 1) відеограма ударної дії (мал. 1), виконана з частотою: 500 к/с, 2) промір фази взаємозв'язку системи «кість-ракетка-м'яч» в масштабі 1:10, таблиця лабораторних коефіцієнтів відновлення.

Постановка проблеми. Щоб успішно вирішувати біокінематичну програму в тенісі, необхідно будувати тренувальний процес на основі знань строгих закономірностей видів ударних дій та переміщень спортсменів [3, 4].

Під час обміну енергією між м'ячем і ракеткою, ракетка є практично нерухомою, і рекомендації тренерів щодо проводки м'яча струнною поверхнею ракетки такі: довга проводка дійсно допомагає забезпечити точність удару; при топ спинах (topspin – передне обертання м'яча у польоті) – для додання м'ячу верхнього обертання потрібно протягнути м'яч по струнній поверхні від низу до верху, та ще і як би накрити ракеткою зверху; при бекхенді-слайсі (slice – різаний удар) необхідно вдарити м'яч ззаду зверху вниз, а потім протягнути струни по нижній поверхні м'яча. Однак, кінематика процесу зовсім інша, ніж уявляють собі гравці та тренери [1; 3].

Ударом в механіці називається короткочасна взаємодія тіл, в результаті якої різко змінюються їх швидкості. Багато спортивних ударних дій не можна розглядати як «чистий» удар. У теорії удару в механіці передбачається, що удар відбувається настільки швидко і ударні сили настільки великі, що рештою всіх сил можна нехтувати. Зміна ударних сил в часі відбувається приблизно так. Спочатку сила швидко зростає до найбільшого значення, а потім падає до нуля.

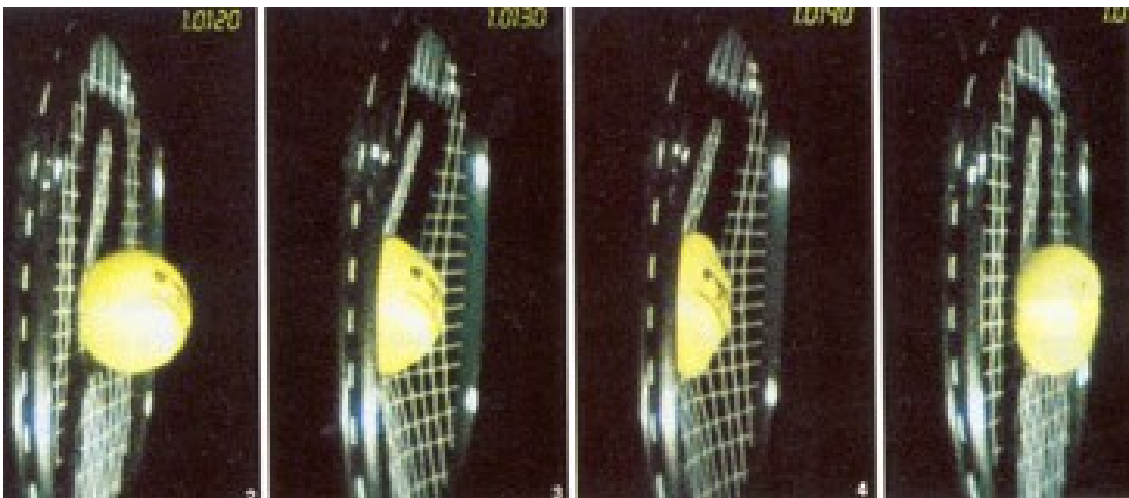


Рис. 1. Фрагмент швидкісної зйомки центрального удару ($V=500$ кадр/с)

Максимальне її значення може бути дуже великим. Проте основною мірою ударної взаємодії є не сила, а ударний імпульс, чисельно рівний заштрихованій площі під кривою $F(t)$. Він може бути обчислений як інтеграл:

$$S = \int_{t_0}^t F(t) dt,$$

де S – ударний імпульс, t_1 і t_2 – час початку і кінця удару, $F(t)$ – залежність ударної сили F від часу t .

За час удару швидкість м'яча змінюється на певну величину. Ця зміна прямо пропорційна ударному імпульсу і обернено пропорційна до маси тіла. Іншими словами, ударний імпульс дорівнює зміні кількості руху тіла. Послідовність механічних явищ при ударі така: спочатку відбувається деформація тіл, при цьому кінетична енергія руху переходить у потенціальну енергію пружної деформації, потім потенціальна енергія переходить у кінетичну. Залежно від того, яка частина потенціальної енергії переходить у кінетичну і яка розсіюється у вигляді тепла, розрізняють три різновиди удару:

1. Абсолютно пружний удар – удар, при якому зберігається механічна енергія системи тіл. Таких ударів у природі немає (завжди частина механічної енергії при ударі переходить в тепло). Проте в деяких випадках удари є близькими до цілком пружного удару.

2. Непружним ударом називають таку ударну взаємодію, при якій тіла з'єднуються (злипаються) одне з одним і рухаються далі як одне тіло (енергія деформації повністю переходить в тепло).

3. Частково пружний удар – лише частина енергії пружної деформації переходить в кінетичну енергію руху [1; 3; 7].

Економічність роботи нерідко оцінюють за допомогою коефіцієнтів, що зв'язують величини виконаної роботи з величинами витраченої при цьому енергії. Найчастіше застосовують такі коефіцієнти.

1. Валовий коефіцієнт – КПД (брутто-коефіцієнт) економічності роботи: $K_1=A/E$, де A – виконана механічна робота, E – витрачена енергія.

2. Нетто-коефіцієнт; у даному випадку з величини енерговитрат при виконанні роботи віднімають величину енерговитрат в стані спокою (в умовах основного обміну або у робочій позі):

$$K_2=A/(E - E_n), \text{ де } A - \text{величини роботи, } E_n - \text{енерговитрати.}$$

3. Дельта-коефіцієнт: порівнюють величини виконаної роботи у двох рухових завданнях різної інтенсивності: $K_3=(A_2 - A_1)/(E_2 - E_1)$, де A_1 і A_2 – величини роботи; E_1 і E_2 – енерговитрати.

4. Визначення величин рекуперованої механічної енергії (збереженої та повторно використаної) – коефіцієнту рекуперації, як критерію ефективності виконуваних рухів: $K_{рек.} = W^{км} - \sum \Delta E_i / W^{км}$.

Використання вказаних коефіцієнтів, по-перше, дозволяє аналізувати лише зовнішні результати рухових завдань (але не процеси, що лежать в їх основі); по-друге, прийнятно лише при аналізі рухових завдань схожого типу. Можна, наприклад, порівнювати величини цих коефіцієнтів в одному і тому ж русі (наприклад, в бігу), і не можна – де закони рухів різні. У циклічних локомоціях для характеристики економічності техніки зазвичай використовують не вище вказані коефіцієнти, а так звану константу шляху – величину енерговитрат, що доводиться на 1 метр шляху. При порівнянні різних локомоцій значення константи шляху і коефіцієнтів економічності роботи можуть не співпадати, оскільки в різних локомоціях для того, щоб здолати одну і ту ж відстань, потрібно виконати різну механічну роботу.

Виклад основного матеріалу. У тенісі модель спортивної дії можна представити як джерело енергії з деякими постійними запасами, які витрачаються у процесі руху. Можливості того або іншого спортсмена залежатимуть від того, наскільки раціонально ця енергія використовується. Енергетичні характеристики можуть бути використані як критерій вдосконалення виконання вправ і критерій раціональної оцінки кінематики рухів.

Від швидкості і сили скорочення м'язів в активній робочій фазі залежить швидкість руху ракетки, а також кінетична енергія, що повідомляється їй. Рухи тенісиста у фазі (II) прискореного руху ракетки вперед утворені обертальними рухами в багатьох суглобах, що і обумовлює обертальний характер руху ракетки. Кінетичну енергію обертального руху ракетки можна визначити за формулою:

$$E_p = \frac{I_p \times \omega_p^2}{2}, \quad (1)$$

де: I_p – момент інерції ракетки відносно її поперечної осі;

ω_p – кутова швидкість руху ракетки у фазі II;

E_p – кінетична енергія ракетки.

Від величини кінетичної енергії, доданої тенісистом ракетці, багато в чому залежать енергозабезпечення ударної дії і так звана «сила» удару. Не уся кінетична енергія ракетки передається м'ячу (ракетка після взаємодії з м'ячем продовжує рух). Отже в корисну енергію удару входить зміна кінетичної енергії ракетки за час ударної взаємодії:

$$\Delta E_p = \frac{I_p (\omega_n^2 - \omega_k^2)}{2}, \quad (2)$$

де: ΔE_p – зміна кінетичної енергії ракетки в результаті удару;

ω_p – кутова швидкість ракетки до кінця II фази;

ω_k – кутова швидкість ракетки в початку IV (одразу після удару) фази.

Момент інерції ракетки був визначений Ф. К. Агашиним [1] і дорівнює в середньому $4 \times 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Для визначення кутової швидкості прийемо рух ракетки в II фазі рівноприскореним, а в IV фазі – рівноуповільненим, тоді:

$$\varphi = \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2} \quad (3)$$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t, \text{ при } \varepsilon = \text{const}, \omega_0 = 0. \quad (4)$$

При цьому: $\varphi = \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2} \quad (5)$

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \varphi}{t^2} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{2\varphi}{t}, \quad (7)$$

де: φ – кут повороту ракетки після замаху, або після виконання удару;

ε – кутове прискорення ракетки;

t – час руху ракетки;

ω – кутова швидкість руху ракетки.

У результаті ударної взаємодії (III фаза) швидкість м'яча значно змінюється за дуже малий проміжок часу (0,01-0,005 сек).

Величина початкової швидкості м'яча після ударної взаємодії залежить від:

– швидкості м'яча, що прилітає;

– швидкості руху ракетки до і після удару;

– ефективності маси системи «тенісист-ракетка», яка буде «додана» в удар.

За II законом Ньютона тенісний м'яч отримує прискорення. Для того, щоб надати м'ячу швидкість, сила повинна діяти протягом деякого часу. Швидкість м'ячу надає не сила, а імпульс сили. Швидкість залежить від імпульсу та від маси точки.

Ударний імпульс розглядається в теорії удару в якості міри взаємодії тіл, що беруть участь в ударі. Ударний імпульс $P = F \cdot t$ дорівнює зміні кількості руху м'яча під час удару:

$$P = (V_k + V_n) \cdot m \quad (8)$$

(напрямки швидкостей до і після удару протилежні)

де: P – імпульс сили ($n \cdot \text{сек}$); V_k – швидкість польоту м'ячу після удару (м/сек.);
 V_n – швидкість польоту м'ячу до удару (м/сек.).

Результати досліджень. За допомогою відеозйомки вимірювалась відстань, пройдена м'ячем між двома кадрами. Знаючи тривалість часу між двома кадрами (швидкість зйомки), можна обчислити швидкість м'яча (рис. 1):

$$V = \frac{S \cdot D_m}{\Delta t \cdot d_m}, \quad (9)$$

де: D_m – діаметр реального тенісного м'яча (у м); d_m – діаметр тенісного м'яча в кадрі (у м);
 V – швидкість м'яча; S – довжина сліду м'яча в кадрі до або після ударної взаємодії (у м);
 Δt – час проміж двома кадрами (у сек.).

Знаючи величину імпульсу сили, можна визначити повну енергію ударної взаємодії:

$$E = \frac{P^2}{2m} \quad \left(E = \frac{m \cdot \Delta V^2}{2}; \Delta V = \frac{P}{m} \right), \quad (10)$$

де: E – повна енергія ударної взаємодії (дж); P – імпульс сили ($n \cdot \text{сек}$); m – маса м'яча.

До повної енергії ударної взаємодії входять різниця кінетичної енергії системи «ракетка-рука» до і після удару, кінетична енергія м'яча, що прилітає, а також потенційна енергія пружної деформації м'язів передпліччя тенісиста (біопотенціальна енергія):

$$E = (E_{рд} - E_{рп}) + E_M + \Delta E_{БМ}; \quad (11)$$

$$\Delta E_p = E_{рд} - E_{рп}; \quad (12)$$

$$E_M = \frac{m \cdot V_H^2}{2}; \quad (13)$$

$$E = \Delta E_p + E_M + \Delta E_{БМ}, \quad (14)$$

де: ΔE_p – зміна кінетичної енергії системи «ракетка-рука» у результаті удару;

$E_{рд}$ – кінетична енергія системи «ракетка-рука» до удару;

$E_{рп}$ – кінетична енергія системи «ракетка-рука» після удару;

E_M – кінетична енергія м'яча, що прилітає;

m – маса м'яча.

V_H – швидкість польоту м'яча, що прилітає (м/сек.);

$\Delta E_{БМ}$ – вклад біопотенціальної енергії.

Звідси:

$$\Delta E_{БМ} = E - \Delta E_p - E_M. \quad (15)$$

Кінетична енергія м'яча незначна за величиною, тому повна енергія ударної взаємодії залежить передусім від вкладів кінетичної енергії ракетки і біопотенціальної енергії. Співвідношення цих видів

енергії складає динамічну основу ударних дій і визначає особливості базисної динамічної структури ударної дії [1]. Воно може бути виражене через показник:

$$n = \Delta E_p / \Delta E_{\text{БП}}. \quad (16)$$

Використовуючи матеріали відеозйомки та наведені вище формули (1-16), можна отримати кількісні оцінки просторово-часових та енергетичних характеристик.

При виявленні оптимізаційних механізмів, що характеризують особливості кінематичної структури сучасних ударних дій, у гравців вищої кваліфікації відбувається рекуперація енергії при виконанні ударів по м'ячу, що відскочив, із швидкістю його вильоту, близькою до рекордної $V_{\text{МП}} = 54 - 58$ м/с. Для гравців нижчих розрядів цей механізм не спостерігається.

Передача і втрата енергії при різних видах ударів

Розглянемо прямий удар ракетки та м'яча.

Нехай v_1 – швидкість ракетки до удару; u_1 – швидкість ракетки після удару; v_2 – швидкість м'яча до удару; u_2 – швидкість м'яча після удару, тоді, за законом збереження кількості руху:

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 = \text{const}. \quad (17)$$

Проте, одного твердження (17) недостатньо для вивчення прямого удару двох тіл.

Друге рівняння вводиться на підставі гіпотези Ньютона про коефіцієнт відновлення k , який дорівнює:

$$k = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}. \quad (18)$$

Розглянемо пружний удар, якому відповідає коефіцієнт відновлення $k < 1$.

Вирішуючи спільно систему лінійних рівнянь (17) і (18), знайдемо швидкості ракетки і м'яча у кінці даного удару:

$$\begin{cases} u_1 = \frac{(m_1 - km_2)v_1 + m_2(1+k)v_2}{m_1 + m_2}; \\ u_2 = \frac{m_1(1+k)v_1 + (m_2 - km_1)v_2}{m_1 + m_2}. \end{cases} \quad (19)$$

Виконавши незначні перетворення, отримуємо:

$$\begin{cases} u_1 = v_1 - (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2); \\ u_2 = v_2 - (1+k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_2 - v_1). \end{cases} \quad (20)$$

$$\text{або} \begin{cases} v_1 - u_1 = (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2); \\ v_2 - u_2 = -(1+k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2). \end{cases} \quad (21)$$

При пружному ударі, де $k < 1$ відбувається втрата кінетичної енергії. Позначимо загальну кінетичну енергію тіл, що вдаряються на початку удару E_0 й у кінці удару через E .

Тоді:

$$E_0 - E = \frac{m_1}{2} (v_1^2 - u_1^2) + \frac{m_2}{2} (v_2^2 - u_2^2) = \frac{m_1}{2} (v_1 - u_1)(v_1 + u_1) + \frac{m_2}{2} (v_2 - u_2)(v_2 + u_2).$$

Підставляючи в це рівняння значення з (21), отримаємо:

$$E_0 - E = (1+k) \frac{m_1 m_2}{2(m_1+m_2)} (v_1 - v_2)(v_1 - v_2 + u_1 - u_2).$$

Однак, згідно з рівнянням (18): $u_1 - u_2 = -k(v_1 - v_2)$, отже:

$$\Delta E_k = \frac{1-k^2}{2} \times \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2. \quad (22)$$

При $k=1$ маємо абсолютно пружний удар, втрата енергії відсутня;

При $k=0$ втрата енергії при не пружному ударі.

Не менш інформативним показником фази зіткнення є коефіцієнт передачі енергії – η .

Відношення додатково придбаної за час контакту кінетичної енергії тіла, що ударяється (м'яча):

$$E_{k^2} = \frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

Доударна кінетична енергія ударника (ракетки) $E_{k^1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}$ характеризується коефіцієнтом передачі енергії в системі:

$$\eta = \frac{E_{k^2}}{E_{k^1}} = \frac{m_2 u_2^2 - m_2 v_2^2}{m_1 v_1^2}. \quad (23)$$

Для удару по нерухомому м'ячу, коли $v_2 = 0$, $\eta = \frac{m_2 u_2^2}{m_1 v_1^2}$ (24), і беручи з системи (20) друге рівняння

при $v_2 = 0$, $u_2 = (1+k) \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$ (25).

Підставляючи в рівняння (24) значення u_2 (25), отримаємо:

$$\eta = (1+k)^2 \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}. \quad (26)$$

На передачу енергії у фазі взаємодії тіл впливають їх маси. Маса ланки, що ударяється, не може бути точно визначеною, оскільки ланка пов'язана з тілом і не є вільною. Міра приєднання мас інших ланок теж не може бути врахованою точно, оскільки дана біосистема має керовані зв'язки в суглобах і відкритий вхід енергії.

Висновки. 1. Керувати м'ячем на струнній поверхні ракетки неможливо через те, що на проходження сигналу, що підіймається по нервових волокнах в мозок тенісиста через ракетку, кисть, передпліччя, плече і шию витрачається близько 50 мс. У той же час взаємодія підсистеми «ракетка-м'яч» триває протягом 3-5 мс, тобто у десять разів менше, ніж проходження сигналу по нервових волокнах.

2. Для якісного удару необхідно підвести площину ракетки так, щоб м'яч був «спійманий» на струнну поверхню. М'яч повинен щільно «прилигнути» до струн. Ракетка в ударній зоні повинна рухатися паралельно горизонтальній площині. Для цього променево-зап'ястковий суглоб повинен бути зафіксований. При виконанні ударів з обертанням, ракетка після контакту з м'ячем якийсь час повинна рухатися в сагітальній та горизонтальній площинах.

3. Управління фазою удару відбувається за принципом програмного автоматичного управління – автоматизованого компоненту рухової навички, для здійснення якого необхідний оптимальний біомеханізм управління кистю і передпліччям тенісиста.

4. Під час удару і взаємодії м'яча зі струнами ракетки, енергія пружності повертається м'ячу і його швидкість збільшується на 189% – 204%, а жорстка хватка ракетки зберігається. Тому важливим елементом якісного удару є виконання відштовхування від опори в найостанній момент часу перед контактом ракетки з м'ячем.

5. На передачу енергії у фазі взаємодії тіл впливають їх маси. Маса ланки, що ударяється, не може бути точно визначеною, оскільки ланка пов'язана з тілом і не є вільною. Міра приєднання мас інших ланок теж не може бути врахована точно, оскільки дана біосистема має керовані зв'язки в суглобах і відкритий вхід енергії.

6. Найбільш значущим із вказаних коефіцієнтів є коефіцієнт рекуперації, слідством якого є кількісні показники коефіцієнту відновлення ($K_{\text{рек.}}$) та коефіцієнту передачі енергії (η), визначення яких детально розглянуто у попередніх публікаціях [2; 3; 4; 7; 8].

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження у даному напрямі дозволять значно підвищити якість тренувального процесу в сучасному тенісі при дослідженні інших різновидів ударів у грі та при виконанні подачі: кручених (праворуч, ліворуч) різаних (праворуч, ліворуч).

References

1. Агашин Ф. К. Теоретическое и экспериментальное исследование вопросов управления ударными действиями теннисиста и обоснование совершенствования методики его тренировки: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. Москва, 1967. 19 с.
Agashin, F. K. (1967). Teoreticheskoe i eksperimentalnoe issledovanie voprosov upravleniya udarnymi dejstviyami tennisista i obosnovanie sovershenstvovaniya metodiki ego trenirovki [Theoretical and experimental study of the issues of controlling the tennis player's striking actions and the rationale for improving the methodology of his training:]. *Extended abstract of Candidate's Thesis*. Moscow, USSR.
- Архипов О. А. Роль механічної енергії та її збереження в рухових діях спортсмена. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету*. Випуск № 46, том №2. Серія: педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів: ЧДПУ, 2007. С. 22–27.
Arkhyrov, O. A. (2007). Rol mekhanichnoi enerhii ta yii zberezhennia v rukhovykh diiakh sportsmena. [The role of mechanical energy and its conservation in the motor actions of the athlete]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Serii: pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport. – Bulletin of Chernihiv State Pedagogical University. Series: pedagogical science. Physical Education and sport*, 46, 2, 22–27.
2. Архипов О. А. Біомеханічний аналіз (видання третє доповнене і перероблене). Навч. пос., Київ: Талком, 2017. 241 с.
Arkhyrov, O. A. (2017). Biomekhanichnyi analiz [Biomechanical analysis] textbook. Kyiv, Ukraine: Talkom.
3. Архипов О. А., Супруненко М. В. Методика навчання основним ударами теніса на початковому етапі на основі їх біомеханічного аналізу. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету*. Вип. № 69. Серія: педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. Чернігів: ЧДПУ, 2009, с. 34–41.
Arkhyrov, O. A., and Suprunenko, M. V. (2009). Metodyka navchannia osnovnym udaram tenisa na pochatkovomu etapi na osnovi yikh biomekhanichnoho analizu. [Methods of teaching the basic strokes of tennis at the initial stage on the basis of their biomechanical analysis]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Serii: pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport. – Bulletin of Chernihiv State Pedagogical University. Series: pedagogical science. Physical Education and sport.*, 69, 34–41.
4. Воронков И. М. Курс теоретической механики. Москва: Наука, 1964. С. 23–56.
Voronkov I. M. (1964). Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Theoretical Mechanics Course]. Moscow: «Nauka».
5. Екимов В. Ю. Биомеханический анализ техники прыжка в высоту способом «фосбери – флор». Москва: РГУФКС и Т НТУЖ «Теория и практика физической культуры», 2003. № 6.
Ekimov, V. Yu. (2003). Biomekhanicheskij analiz tekhniki pryzhka v vysotu sposobom «fosberi – flop» [Biomechanical Analysis of the High Jump Technique by the Fosbury Flop Method] Moscow, «Theory and practice of physical culture».
6. Зайцева Л.С. Биомеханические основы строения ударных действий в теннисе. *Юбилейный сборник трудов ученых РГАФК, посвященный 80-летию академии*. Москва: 1998. Т. 3. С. 147–151.
Zajtseva, L. S. (1998). Biomekhanicheskie osnovy stroeniya udarnykh dejstvij v tennisе. [Biomechanical foundations of the structure of shock actions in tennis] *Yubilejnyj sbornik trudov uchenykh RGAFK, posvyashhennyj 80-letiyu akademii – Jubilee collection of works of scientists*. Moscow, Russia.
7. Лапутін А. М., Гамалій В. В., Архипов О. А., Кошуба В. О., Носко М. О., Хабінець Т. О. Біомеханіка спорту. Київ: Олімпійська література, 2005. 320 с.
Laputin, A. M., Namalii, V. V., Arkhyrov, O. A., Koshuba, V. O., Nosko, M. O., and Khabinets, T. O. (2005). Biomekhanika sportu [Biomechanics of sport]. Kyiv, Ukraine: Olympic literature.
8. Ivashchenko, O., Khudolii, O., Iermakov, S., Harkusha, S. (2017). Physical exercises' mastering level in classification of motor preparedness of 11-13 years old boys. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(3), 1031–1036. DOI:10.7752/jpes.2017.03158.

Nosko M.

ORCID 0000-0001-9903-9164
ResearcherID C-6263-2017
Scopus-Author ID 56880089100

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
active member of the National Academy of Pedagogical Sciences
of Ukraine, Honors of Science and Technology of Ukraine,
Rector of T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
(Chernihiv, Ukraine) E-mail: rector@chnpu.edu.ua

Arkhyrov O.

ORCID 0000-0002-8439-5833

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Head of the Department of Physical Education and Sports,
Faculty of Physical Education, Sports and Health,
National Pedagogical Dragomanov University,
(Kyiv, Ukraine) E-mail: archipovnpu@ukr.net

Omelchuk O.

ORCID 0000-0003-1771-730X
Scopus-Author ID 57211339627

Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor
of the Department of Biological Foundations of Physical Education and Sports,
Faculty of Physical Education, Sports and Health,
National Pedagogical Dragomanov University
(Kyiv, Ukraine) E-mail: ovomelchuk@ukr.net

BIOENERGETIC DEPENDENCES OF SHOCK INTERACTIONS IN BIOMECHANICAL ANALYSIS

Article's purpose is to carry out the analysis of literary sources, to analyse the results of the research and to find out certain aspects of the biomechanics of tennis kick, which characterize the main component of the technical training of tennis players.

Methodology. The APAS system was used, digitization and analysis were carried out according to the method of Augulo R. V., Dapena J. and prof. Ariel.

Scientific novelty. It is impossible to control the ball on the stringed surface of the racket due to the fact that the signal travels along nerve fibres to the tennis player's brain through the racket, hand, forearm, shoulder and neck, which takes about 50 ms. At the same time, the interaction of the «racket-ball» subsystem continues for 3-5 ms that is, ten times less than the transmission of a signal along nerve fibres.

Conclusions. The problem of economizing sports equipment belongs to the rational use of energy and energy saving. If athletes, when performing the same motor task, measure energy consumption, then their values may turn out to be sharply different: the same work will be associated with unequal energy consumption.

The effectiveness of a hit in tennis depends on the organization of management processes and the processes of its energy supply. The effectiveness of the impact action is determined by the value of the initial velocity (linear and angular) of the ball flight after impact interaction and the accuracy of its hitting a certain place on the site.

The athlete can control the racket only through the hand and fingers, since they are in direct contact with the racket handle. The biomechanical tennis player's control apparatus includes the links of the biokinematic chain of the tennis player's body, which also includes the hand, forearm, and also the forearm muscles responsible for the movement of the hand. The activity of the antagonist muscles of the tennis player's hand is due to the fact that the rigidity of the connection of the «racket-hand», «hand-forearm» system, as well as the «forearm-shoulder», is needed in order for the living system to approach the mechanical system with its unambiguous movements. Due to the rigidity of the connection between the links under consideration, the momentum of the larger links is transferred almost without loss to the hand and the racket and from them to the ball.

Key words: tennis, impact, elastic impact, impact time, biomechanics.

Стаття надійшла до редакції 21.11.2020 р.

Рецензент: доктор біологічних наук, професор **О. О. Приймаков**