

УДК 796.012:796.325

Архипов О.А., Носко М.О.

БІОКІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРЯМОГО НАПАДАЮЧОГО УДАРУ
У ВОЛЕЙБОЛІ

У роботі наведено алгоритм розрахунків та практичні висновки сучасного біокінематичного аналізу на прикладі прямого нападаючого удару у волейболі. В результаті біокінематичного аналізу прямого нападаючого удару у волейболі отримані наступні дані:

1. Головним інтегральним показником часових характеристик є визначення співвідношення фаз, тобто ритм руху. Отже за даними розрахунків ритм дій нападаючого удару волейболіста виглядає наступним чином: 1,5/1/2,5/1,5. Це означає, що 1, 3 і 4 фази більші за 2 фазу. 1 і 4 фази у півтора рази більші за 2, а 3 фаза у 2,5 рази. Отже якість виконання руху (прямого нападаючого удару) є високою.

2. Зміна закону руху зі прискореного на сповільнений відбувається наприкінці 4-го кадру, тому в цей момент часу лінійне прискорення лівого передпліччя волейболіста дорівнює 0.

3. Порівнявши максимальні показники лінійної та кутової швидкостей, лінійного та кутового прискорень, ми бачимо, що кутова швидкість у 1,83 рази більша за лінійну. Кутове прискорення в 8,9 разів більше за лінійне. Отже, закон руху лівого передпліччя волейболіста обертально - поступальний.

Ключові слова: біомеханічне моделювання, закони рухів, біокінематичний аналіз, прямий нападаючий удар у волейболі.

Біокінематика (від грецького *bios* – життя, *kinematos* – рух) – розділ біомеханіки, який вивчає зовнішні закономірності рухів ОРА тіла людини та його окремих біоланок. [2].

Вивчення біокінематичних характеристик руху починається з систем відліку на площині у просторі. В теоретичній механіці відомі два шляхи вивчення рухів матеріальної точки: векторний та координатний. При визначенні руху ОРА ці шляхи зберігаються, але визначається закономірність системи рухів матеріальних точок (ЦМ кожної біоланки розуміється як окрема точка). Координатний метод визначення рухів полягає у тому, що тіло рухається у тривимірній системі координат (вісь X – абсцис, вісь Y – ординат, вісь Z – аплікват), та відповідно у трьох площинах: ZOХ – фронтальна площина; ZOУ – сагітальна площина; YOХ – горизонтальна площина.

Системи відліку. Вивчити просторові та часові характеристики можливо тільки тоді, коли відомі точки та системи відліку. В сучасному біокінематичному аналізі існує: *нерухома система відліку* пов'язана з поверхнею землі – *інерціальна*; *рухома система відліку* пов'язана з переміщенням біоланок відносно ЗЦМ, який проходять через точку L_5 чи, (за новою класифікацією: точка між 20-21 парами хребта) – *соматична* системою координат. Так, в роботі застосована нерухома система відліку.

Біокінематична схема, модель тіла людини, де кожне статичне положення біоланки – це відрізок прямої, суглоб – крапка, голова – умовна куля, стопа – опорний трикутник. Згідно з цим при вивченні руху в одній площині – сагітальній, при великих масштабах зменшення, 1:10 та менше, ЗЦМ моделюється в точці кульшового суглобу.

Закони рухів ОРА тіла людини [1, 2, 8]:

I. *Прямолінійний рух*:

1. Прямолінійний – поступальний: $a = 0$ ($V = \text{const}$).
2. Прямолінійний – прискорений: $a > 0$.
3. Прямолінійний – сповільнений: $a < 0$.

II. *Обертальний рух*:

4. Обертальний – відцентровий (прискорений) – закон конусу $\varepsilon > 0$.
5. Обертальний – доцентровий (сповільнений) – закон воронки: $\varepsilon < 0$.
6. Рух маятника (змішаний, коливальний): $\varepsilon = 0$; $\varepsilon > 0$; $\varepsilon < 0$.

III. *Складний рух*:

7. Поступально-обертальний: $a > \varepsilon$.
8. Обертально-поступальний: $\varepsilon > a$.
9. Локомоторні рухи – циклічні і ациклічні.

IV. *Ударні взаємодії* (прості, складні, змішані):

10. Людина-опора. 11. Людина-людина. 12. Людина (спортсмен)-снаряд.

Визначення просторово – часових характеристик:

1) Координата (A) – розташування (локалізація) точки: на площині (x ; y); у тривимірному просторі (x ; y ; z);

2) Траєкторія (T) – геометричне місце ЦМ від початку до кінця відліку.

3) Відстань, довжина (L) – характеризує координати біоланок чи їх розмір пози тіла відносно нерухомого положення.

4) Переміщення (S) – характеризує зміну координат руху ЦМ біоланки від початку до кінця відліку.

Поєднання руху у просторі і часі характеризується швидкістю руху – *лінійна швидкість*: $V = S/t$ (м/с);

У біомеханічному аналізі рухових дій людини найчастіше оцінюється рух не тільки окремих точок, але й усієї системи точок тіла. Найпростішим рухом усього тіла людини, як абсолютно твердого тіла є *поступальний прямолінійний* (рівномірний, прискорений, сповільнений) рух (усі точки тіла при цьому мають однакові траєкторії). Тому, найбільш важливим у біомеханічному аналізі, являється визначення прискорення – зміна швидкості в одиницю часу.

Отже прискорення поступального руху визначається, як: $a = \Delta V / \Delta t$ (м/с²).

Одним з найпоширеніших рухів точок тіла людини є *криволінійний рух*. Вектор швидкості точки у криволінійному русі безперервно змінює свій напрямок відповідно до форми її траєкторії, залишаючись постійно дотичною до неї. Прискорення, що характеризує зміни вектора швидкості за напрямком, називається *нормальним* або *доцентровим* прискоренням.

Більш складним є *обертальний рух* тіла (усі точки тіла при цьому описують кола різного радіуса, але мають одну загальну вісь обертання). Цей рух також може бути рівномірним та перемінним. Біокінематичними характеристиками цього руху є кутові переміщення α , кутова швидкість: $\omega = \alpha/t$ (рад/с) та кутове прискорення: $\varepsilon = \Delta \omega / \Delta t$ (рад/с²). У практиці, зокрема при аналізі деяких гімнастичних вправ, швидкості обертання тіла виражають числом обертів за одиницю часу. Оскільки при одному оберті тіло повертається на кут у 2π радіан, то для тіла, що зробило n обертів за час t , кутова швидкість визначається за формулою: $\omega = 2\pi n / t$; де, відношення n/t , що дорівнює числу обертів на секунду, називають частотою обертання.

При обертальному русі кожна точка тіла людини описує коло і проходить відповідний шлях, величина якого за одиницю часу характеризує лінійну швидкість (V) даної точки, яка тим більша, чим на більшій відстані від осі обертання (r) вона знаходиться (лінійна швидкість точки тіла при даній кутовій швидкості прямо пропорційна її відстані до центра обертання тіла): $V = \omega \cdot r$.

Рівномірний обертальний рух тієї чи іншої точки тіла, яка вивчається, характеризується нормальним лінійним прискоренням (a_n), яке дорівнює відношенню квадрата її лінійної швидкості до радіуса обертання: $a_n = V^2/r$. У цьому виразі можна замінити лінійну швидкість на кутову, тоді отримаємо: $a_n = \omega^2 \cdot r$. У тому випадку, якщо обертання тіла перемінне, то його швидкість змінюється за величиною та напрямком, і тоді воно характеризується також дотичним прискоренням: $a_T = dv / dt$ $\varepsilon_T = dw / dt$. Оскільки відношення кутової швидкості до часу є кутовим прискоренням, то можна записати: $a_T = \varepsilon \cdot r$. Тоді повне прискорення даної точки тіла людини, яке обертається, дорівнює геометричній сумі нормального та дотичного прискорень:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_T^2} = \sqrt{(w^2 r) + (\varepsilon r)^2} \quad \text{або} \quad a = r \sqrt{w^4 + \varepsilon^2}$$

У ряді випадків тіло людини може здійснювати так звані плоско-паралельні рухи. Це спостерігається тоді, коли усі його точки рухаються у площинах, паралельних одній нерухомій площині (наприклад, з певними допущеннями таким рухом можна вважати біг спортсмена по дистанції, який

регламентується вертикальним положенням та простором, обмеженим біговою доріжкою). При цьому усі точки його тіла мають неоднакові траєкторії та швидкості (на відміну від поступального руху). Такий рух може бути проаналізований шляхом розкладання його на складові руху: поступальний зі швидкістю будь-якої довільно взятої точки тіла та обертальний рух інших точок його тіла навколо цієї точки. Дана точка у механіці називається полюсом обертання. Якщо за полюс приймається така точка, швидкість у якій у даний момент часу дорівнює нулю, то полюс є миттєвим центром. Миттєвий центр швидкостей у плоско-паралельному русі описує лінію, що називається *центроїдою*. Положення цього полюса на центроїді у кожний момент часу називається миттєвим центром обертання тіла людини. Рух полюса відносно нерухомої площини розглядається як переносний рух. Рух точок навколо полюса у такому випадку вважається відносним рухом.

Важливим у біомеханіці є взаємозв'язок швидкостей та прискорень в поступально-обертальному та в обертально-поступальному рухах:

1) якщо середні показники швидкості та прискорення поступального руху більші середніх показників швидкості та прискорення обертального руху, то тіло буде рухатись по *поступально-обертальній* траєкторії.

2) якщо середні показники швидкості та прискорення поступального руху менші середніх показників швидкості та прискорення обертального руху, то тіло буде рухатись по обертально-поступальній траєкторії.

Далі на конкретних прикладах надано визначення та теоретичний зміст просторово-часових характеристик та законів руху. Для прямого нападаючого удару, (сагітальна площина) пропонується наступний алгоритм [3, 4, 5, 6, 7, 9, 10]:

1. Побудувати біокінематичну модель прямого нападаючого удару (рис. 1) та визначити індивідуальний масштаб зменшення.



Рис. 1. Біокінематична модель прямого нападаючого удару, сагітальна площина (масштаб зменшення: 1/20, $V=25$ м/с)

2. Зробити фазовий аналіз (найменший часовий елемент, який повністю вирішує конкретну рухову задачу): I розбіг (1-2-3 кадри), II відштовхування (4-5 кадри), III виліт-замах-удар (6-10 кадри), приземлення (11-14 кадри). Розрахунок часу фаз ($V_{\text{відео}} = 25$ м/с): 1 кадр = $1/25$ с = 0,04 с. Час всього руху: $0,12 + 0,08 + 0,2 = 0,4$ с.

3. Розрахувати часові характеристики (табл. 1).

4. Розрахувати ритм руху та зробити висновок за часовими характеристиками: Дорівнюємо час 2-ї фази до 1, тоді:

1 фаза = $0,12/0,08 = 1,5$. 3 фаза = $0,2/0,08 = 2,5$. 4 фаза = $0,12/0,08 = 1,5$

Ритм: = $1,5:1:2,5:1,5$

5. Розрахувати просторові характеристики (рис. 2, а; табл. 2)

Часові характеристики фазового аналізу

№ з/п	Фаза	Момент часу		Час фази (с)
		початок	кінець	
I.	Розбіг (3 кадри)	0	0,12	0,12
II.	Відштовхування (2 кадри)	0,12	0,2	0,08
III.	Виліт -замах-удар (5 кадрів)	0,2	0,4	0,2
IV.	Приземлення (3 кадри)	0,4	0,52	0,12

Головним інтегральним показником часових характеристик є визначення співвідношення фаз, тобто ритму руху. Таким чином за даними розрахунків ритм дій волейболіста 1,5/1/2,5/1,5. Це означає, що 1, 3 і 4 фази більші за 2 фазу. 1 і 4 фази у півтора рази більша за 2, а 3 фаза у 2,5 рази. Отже якість виконання руху (прямого нападаючого удару) є високою.

6. Розрахувати просторово-часові характеристики рухової дії лівого передпліччя волейболіста (табл. 2).

Таблиця 2

Вимірювання просторово-часових характеристик рухової дії біоланки (лівого передпліччя волейболіста)

№ з/п	ХАРАКТЕРИСТИКИ	КАДРИ (№№)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лінійне переміщення S_x (мм)	20	19	26	30	29	28	24	18	14	9
2	Лінійне переміщення S_x (м)	0,4	0,38	0,52	0,6	0,58	0,56	0,48	0,36	0,28	0,18
3	Час кадру t (с)	0,04									
4	Лінійна швидкість, V (м/с)	0	9,5	13	15	14,5	14	12	9	7	4,5
5	Різниця швидкостей, ΔV (м/с)	0	9,5	3,5	2	-0,5	-0,5	-2	-3	-2	-2,5
6	Лінійне прискорення, a (м/с ²)	0	0	87,5	50	-12,5	-12,5	-50	-75	-50	-62,5
7	Кутове переміщення, α (град.)	0	-39	32	29	14	63	-6	-30	-34	-21
8	Кутове переміщення, α (рад)	0	-0,68	0,56	0,51	0,24	1,1	-0,1	-0,52	-0,59	-0,37
9	Кутова швидкість, ω (рад/с)	0	-17	14	12,75	6	27,5	-2,5	-13	-14,8	-9,25
10	Різниця швидкостей, ω (рад/с)	0	-17	31	-1,25	-6,75	21,5	-30	-10,5	-1,75	5,5
11	Кутове прискорення, ε (рад/с ²)	0	0	775	-31,3	-169	537,5	-750	-263	-43,8	137,5

7. Побудувати графіки змін лінійної швидкості та лінійного прискорення (рис. 2, б).

8. Зробити висновок, в якому кадрі відбувається зміна закону руху:

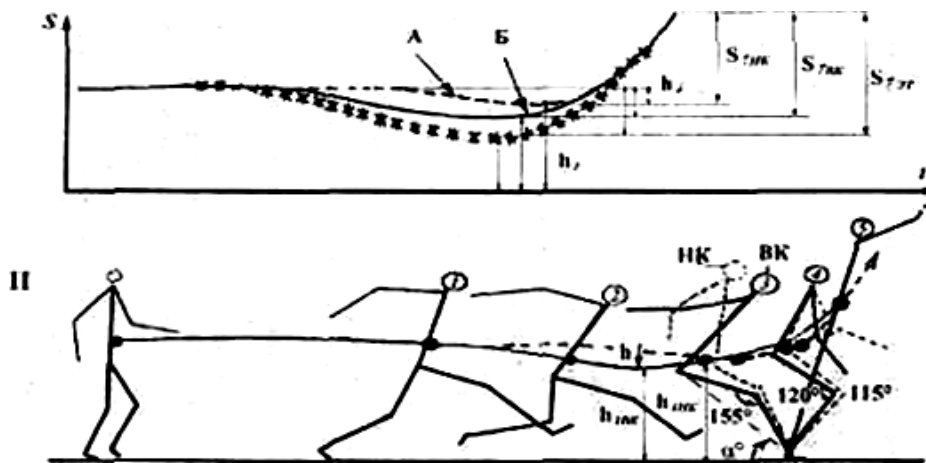


Рис. 2, а. Кінематика нападаючого удару

I – траєкторія ЗЦМ тіла спортсменів вищої (—) і низької (- - - -) кваліфікації;
 II – h_1, h_2 – висота ЗЦМ тіла над опорою у момент взаємодії стопи з опорою
 (А - - - - , низька кваліфікація, Б — вища кваліфікація, ***** – еталон техніки).

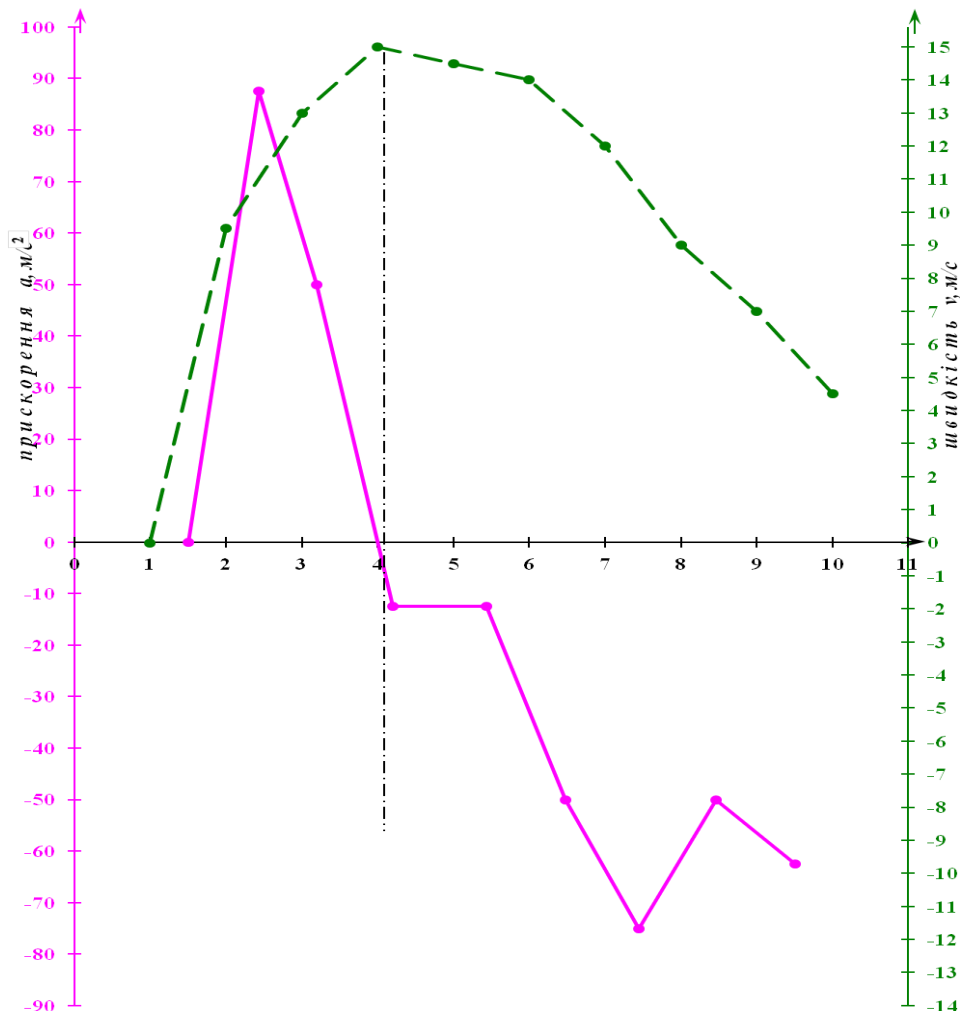


Рис. 2, б. Графік лінійної швидкості (V м/с ---) та лінійного прискорення (a м/с² —) лівого передпліччя волейболіста

Зміна закону руху зі сповільненого на прискорений відбувається в 5 кадрі, тому в цей момент часу лінійне прискорення лівого передпліччя волейболіста дорівнює 0.

9. Зробити загальний висновок про закон руху, порівнявши максимальні показники лінійних та кутових швидкостей та прискорень

Висновок 2. Зміна закону руху зі прискореного на сповільнений відбувається наприкінці 4-го кадру, тому в цей момент часу лінійне прискорення лівого передпліччя волейболіста дорівнює 0.

Максимальна лінійна швидкість $V=15$ м/с

Максимальне лінійне прискорення $a = 87,5$ м/с²

Максимальна кутова швидкість $\omega = 27,5$ рад/с

Максимальне кутове прискорення $\varepsilon = 775$ рад/с²

$\omega > V$ у 1,83 рази $\varepsilon > a$ у 8,9 раз.

Висновок 3. Порівнявши максимальні показники лінійної та кутової швидкостей, лінійного та кутового прискорень, ми бачимо, що кутова швидкість у 1,83 рази більша за лінійну. Кутове прискорення в 8,9 разів більше за лінійне. Отже, закон руху лівого передпліччя волейболіста *обертально-поступальний*.

Використані джерела

1. Архипов О.А. Біомеханічний аналіз : [навч. посібник, 2-ге вид] / О.А. Архипов. – Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2014. – 242 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. Волейбол: Книга тренера / Ю.Н. Клещев и др. – Ташкент, 1995. – 187 с.
4. Железняк Ю.Д. Спортивные игры: техника, тактика, методика обучения: учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности 033100 / под ред. Ю. Д. Железняка, Ю. М. Портнова. – 5-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 518 с.
5. Жула В.П. Развитие двигательных умений студентов при выполнении передачи мяча двумя руками снизу в процессе занятий волейболом / В.П. Жула // Физическое воспитание студентов: Сборник. – Харьков, 2014. – № 6. С. 13-16. doi: 10.15561 / 20755279. 2014. 0603.
6. Носко Н.А. Педагогические основы обучения молодежи и взрослых движениям со сложной биомеханической структурой / Н. А. Носко. – К. : Наук. світ, 2000. – 336 с.
7. Носко Н.А. Формирование навыков ударных движений у волейболистов различных возрастных групп : дис... канд. пед. наук : 13.00.04. – теорія і методика фізичного виховання і спорту / Н.А. Носко. – К., 1986. – 228 с.
8. Arkhypov O.A. Videocomputer Modeling of Technique for Elite Athletes Proceedings of FISU/CESU Conference, the 18th Universiade. – 24 August, Fukuoka, Japan, 1995, p. 370-371.
9. Doring F., Karbe S., Loscher A. Volleyball. – Sportverlag, Berlin, 1981. – 136 s.
10. Fiedler M. Volleyball. – Sportverlag, Berlin, 1973. – 247 s.

Arkhypov O., Nosko M.

BIOKINEMATICS ANALYSIS OF STRAIGHT ATTACKING BLOW IN VOLLEYBALL

The way of calculations and practical conclusion of modern biokinematics analysis based on the example of straight attacking blow in volleyball are presented in the scientific work.

At the result of biokinematics analysis of straight attacking blow in volleyball following data are obtained:

1. The main integral index of time characteristics is the determination of phases, it means the rhythm of movement. So, according to the data of calculations, volleyball player's rhythm of actions of attacking blow is the following: 1,5/1/2,5/1,5. It means that the 1-st, the 3-rd and the 4-th phases are longer than the 2-nd phase. The 1-st and the 4-th phases are one and a half times longer than the 2-nd one, and the 3-rd phase is two and a half times longer. So, the quality of making the movement (straight attacking blow) is high.

2. The change of the law of movement from quick to slow takes place at the end of the 4-th still, that is why at this moment linear acceleration of volleyball player's left forearm is 0.

3. Having compared the maximum indexes of linear and corner speed, linear and corner speed gathering, we can see, that corner speed is 1,83 times higher than linear speed. Corner speed gathering is 8,9 times higher than linear one. So, the law of movement of volleyball player's left forearm is rotatory-forward.

Key words: *biomechanical modeling, the laws of movements, biokinematics analysis, straight attacking blow in volleyball.*

Стаття надійшла до редакції 09.03.2015