

# МОДЕЛЮАННЯ СКЛАДНИХ БІОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У СФЕРІ СПОРТУ І ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ

УДК 796.925

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ДОВЖИНИ СТИБКА НА ЛИЖАХ З ТРАМПЛІНА ВІД ПОЗИ ТІЛА ЛИЖНИКА НА ПОЧАТКУ ВІДШТОВХУВАННЯ

**Банах В.І., Заневський І.П.**

Львівський державний університет фізичної культури

**Анотація.** Запропоновано кінематичну модель тіла лижника стрибку з трампліна на столі відштовхування. Створено методику вимірювання координат точок тіла лижника на основі відеозйомки та офісних інформаційних технологій. З використанням результатів спортивних змагань 33-х стрибунів з трампліна визначено кінематичні параметри пози тіла лижника на початку відштовхування. В результаті кореляційного аналізу виявлено п'ять параметрів пози, від яких статистично істотно ( $p < 0,02$ ) залежить довжина стрибка, обґрунтовано два варіанти пари модельних характеристик пози тіла. Сформульовано рекомендації стосовно оптимізації пози тіла лижника на початку відштовхування.

Ключові слова: стрибки на лижах з трампліна, поза тіла, кінематичні параметри.

**Постановка проблеми.** Особливе місце в системі підготовки спортсменів посідає технічна підготовка — процес, що спрямований на оволодіння технікою виконання спортивної вправи. Потреба об'єктивізації критеріїв оцінки рівня технічної майстерності спортсменів належить до найважливіших проблем теорії і практики сучасного спорту. Без об'єктивної оцінки неможливо забезпечити інтенсивність процесу формування й вдосконалення техніки рухових дій при виконанні змагальних вправ. Ефективний контроль та управління тренувальним процесом, в частині технічної підготовки має ґрунтуватися, зокрема, на об'єктивних кінематичних характеристиках вправи, отриманих в результаті біомеханічного аналізу техніки виконання рухів [12].

Стрибки на лижах з трампліна — це один зі складнокоординатійних та високотехнічних видів спорту, тому для досягнення високих спортивних результатів необхідно забезпечити відповідний рівень технічної підготовленості літаючого лижника. Модернізація спортивних споруд та інвентарю суттєво впливають на техніку виконання стрибка на лижах з трампліна. Зокрема, відбувається пошук шляхів до оптимізації пози лижника-стрибуна в стійці розгону й на початку вистрибування, від якої значною мірою залежить спортивний результат [4]. Виявлення кореляційних взаємозв'язків між спортивним результатом і параметрами техніки ви-

конання спортивної вправи є одним зі шляхів до визначення модельних характеристик особливо у видах спорту зі складною технікою рухів. Оскільки об'єктивною складовою спортивного результату у стрибках на лижах з трампліна є довжина стрибка, модельні характеристики спортивної вправи, перш за все, треба шукати шляхом виявлення кореляційних залежностей із довжиною стрибка [3, 5].

Висока швидкість рухових дій, значна кількість складових цілісної вправи, швидкоплинність виконання окремих елементів відштовхування — все це ускладнює процес отримання достовірних результатів спостереження за виконанням стрибків. В техніці стійки лижника під час розгону й на початку відштовхування часто виникають типові помилки, які суттєво знижують ефективність виконання відштовхування, а як наслідок — стрибка в цілому [8]. Оскільки поза лижника безпосередньо перед початком відштовхування має значний вплив на довжину стрибка, виникає нагальна потреба визначити об'єктивні параметри виконання стійки розгону, що є актуальною проблемою теорії і методики спортивних стрибків на лижах з трампліна.

Дослідження проводились в рамках завдань НДР по темі 2.2.5 «Моделювання процесів взаємодії тіла людини зі спортивним приладдям» Зведеного плану науково-дослідної роботи у сфері фізичної культури і спорту на 2006—2010 роки (№ держ. реєстрації 0106U012607).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Головним завданням тренерів у стрибках на лижах з трампліна є коригування рухів спортсмена. Виконання цього завдання неможливе без наявності якісної інформації стосовно стрибка. Кінематичний аналіз визнається основою для отримання такої інформації [2, 7].

Найскладнішою, з технічної точки зору, фазою стрибка на лижах з трампліна вважається перехід від паралельного положення лиж до V-подібного. Визначальною умовою успішного виконання цього руху вважається володіння відповідною технікою відштовхування. Необхідними параметрами для аналізу техніки виконання відштовхування у стрибках на лижах з трампліна визначено кути в гомілковостопному, колінному, кульшовому, плечовому, ліктьовому і променево-зап'ястковому суглобах, кут нахилу відрізка прямої лінії, яка сполучає вісь гомілковостопного суглоба із загальним центром мас тіла лижника, до напрямку руху, а також кут нахилу голови відносно тулуба. Окрім того, розглядаються кути нахилу відрізків прямих ліній, що сполучають вісь гомілковостопного суглоба з віссю кульшового та віссю плечового суглоба, до напрямку руху [4, 5].

В ряді досліджень змагальної діяльності висококваліфікованих та елітних спортсменів виявлено ряд параметрів виконання спортивної вправи (кінематичних, силових та енергетичних), які мають статистично істотний кореляційний взаємозв'язок із довжиною стрибка. Перш за все, з довжиною стрибка сильно корелює швидкість розгону, яка офіційно фіксується як середня швидкість на останніх восьми метрах криволінійної ділянки розгону. То саме стосується швидкості лижника в момент відриву від стола трампліна [8, 10].

Статистично істотну кореляцію з довжиною стрибка зафіксовано для параметрів пози тіла лижника наприкінці ранньої фази польоту (17 метрів від стола трампліна), а саме для кута між лижами, кута нахилу площини лиж до горизонту, для кута між нижніми кінцівками й кута нахилу тулуба до горизонту. Обґрунтовується гіпотеза про те, що ключем для досягнення «правильної» пози в польоті є «правильність» виконання відштовхування [9].

Вважається, що з точки зору практичної придатності й зрозумілості для тренерів моделі відштовхування у стрибках на лижах з трампліна

краще будувати на основі суглобних кутів, які є більш наочними й простими параметрами, ніж силові або енергетичні характеристики [1, 6, 7].

Однак нами не знайдено наукових публікацій з результатами досліджень залежності довжини стрибка на лижах з трампліна від пози, яку приймає лижник на початку фази відштовхування.

**Метою** роботи є вивчення залежності довжини стрибка на лижах з трампліна від пози тіла лижника на початку фази відштовхування й розробка відповідної моделі пози.

**Методика дослідження.** Під час змагань у польському Щирку, які відбулися 30 січня 2010 року, було зафіксовано зображення спортсменів на столі трампліна HS-77 у стрибках першої спроби. (табл. 1). Для відеозапису використано цифрову камеру CANON S3 IS з частотою 60 Гц. В результаті опрацювання кадрів відеозаписів було обчислення величину суглобних кутів. Первинні результати змагань 33-х спортсменів за довжиною стрибка у першій спробі та опрацьовані результати відео аналізу параметрів пози тіла наведено в додатку (табл. Д1).

Похибка при визначенні кутів залежить від роздільної здатності зображення лижника на робочому полі графічного редактора. В редакторі Paint програми Windows XP зображення лижника займає прямокутну область робочого поля 1000 × 600 пікселів. Відстань між осями суглобів приблизно  $l = 300$  пікселів. Крок зображення суглобного кута визначається формулою:

$$2^* = \Delta = \arctg \frac{1}{l} \quad 0,0033 \text{ рад.} = 0,19^\circ.$$

Згідно із цим виразом маємо, що похибка визначення кутів знаходиться в межах  $\Delta < 0,1^\circ$ . Отже, розроблена методика опрацювання результатів відеозйомки лижника на початку відштовхування на столі трампліна може бути рекомендована для застосування у спортивній практиці, оскільки дозволяє визначати кутові параметри пози тіла з прийнятною похибкою та є доступною для широкого кола спортсменів і тренерів завдяки використанню офісних інформаційних технологій Paint та Excel.

Для статистичного опрацювання результатів вимірювань використано метод Колмогорова-Смірнова в адаптації Ліллефорса, за яким оцінено

Таблиця 1

Вік учасників змагань ( $N = 33$  лижника), довжина стрибка ( $L_1$ ) та його оцінка в балах ( $O_1$ ) у першому колі й загальна оцінка змагань ( $O_\Sigma$ )

Параметри	Роки	$L_1$ , м	$O_1$	$O_\Sigma$
$M$	16,8	63,4	94,1	188,5
$SD$	0,8	8,2	24,1	47,9

нормальність закону розподілу довжини стрибка й параметрів пози тіла лижника. Аналіз форми кореляційного взаємозв'язку зазначених параметрів проведено з використанням критерію лінійності взаємозв'язку і t-критерію Стьюдента. Для оцінки тісноти взаємозв'язку застосовано парний лінійний коефіцієнт кореляції Браує-Пірсона. Загальний внесок фактора пози лижника на початку відштовхування у варіацію довжини стрибка визначався методом множинної кореляції. При формуванні кластерів параметрів пози тіла лижника застосовано метод частинної кореляції [11]. Для статистичного опрацювання з використанням зазначених методів застосовано комп'ютерні програми Excel і Statistica.

Результати дослідження. Виходячи з техніки виконання розгону й відштовхування у стрибках на лижах з трампліна можна вважати, що тіло лижника знаходиться у позі, симетричній відносно сагітальної площини. Тоді за структурну схему тіла лижника можна взяти плоский розгалужений шарнірно-стрижневий ланцюг у складі восьми ланок: стопи з лижами, гомілки, стегна, тулуб, голова, плечі, передпліччя й руки. Ланки тіла утворюють між собою суглоби, які моделюємо кінематичними парами п'ятого класу:  $p$  — гомілковостопний;  $s$  — колінний;  $f$  — кульшовий;  $b$  — плечовий;  $b'$  — шийний;  $a$  — ліктьовий;  $m$  — променезап'ястковий суглоби (рис. 1). Оскільки відштовхування відбувається на столі трампліна, можна вважати, що лижі знаходяться в положенні, паралельному до площини стола.

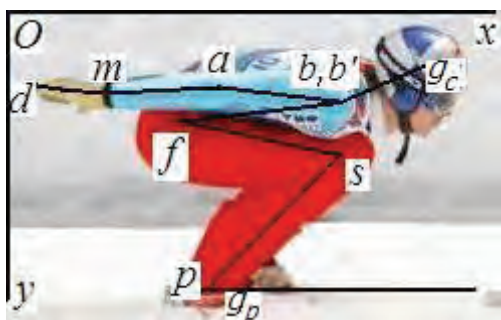


Рис. 1. Зображення стрибуна з трампліна зі структурною схемою його тіла в прямокутній системі координат  $Oxy$  робочого поля графічного редактора Paint

Опишемо позу тіла лижника відносно лиж, приймаючи стопи за умовно нерухому ланку. Тоді кількість ступенів свободи тіла можна визначити за формулою для плоского кінематичного ланцюга [14]:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 7, \quad (1)$$

де  $n = 7$  — кількість рухомих ланок (гомілки, стегна, тулуб, голова, плечі, передпліччя й руки);  $P_5 = 7$  — кількість кінематичних пар п'ятого класу

(гомілковостопний, колінний, кульшовий, плечовий, шийний, ліктьовий й променезап'ястковий суглоби);  $P_4 = 0$  — кількість кінематичних пар четвертого класу.

Отож для визначення пози тіла лижника необхідно мати сім параметрів. Оскільки кількість кінематичних пар п'ятого класу дорівнює семи, за ці параметри можна взяти відповідні суглобні кути  $(\alpha, \beta, \gamma, \theta, \psi, \phi, \tau)$ , які зображено на кінематичній схемі тіла лижника (рис. 2). Окрім цих семи візьмемо додатково ще чотири параметри, якими доцільно характеризувати позу стрибуна. Це кути нахилу до напрямку руху лижника (на столі трампліна — це з нахилом у  $10 \div 12^\circ$  до горизонталі) відрізків прямих ліній, які проходять через осі гомілковостопного й плечового суглобів (кут  $\omega$ ), гомілковостопного й кульшового суглобів (кут  $\nu$ ), через вісь гомілковостопного суглоба й центр мас тіла (кут  $\zeta$ ), а також через осі кульшового й плечового суглобів (кут  $\kappa$ ).

Для обчислення величини цих кутів використаємо координати осей семи суглобів, які розглядаються (точки  $p, s, f, b, b', a, m$ ) й координати кінця середніх пальців рук (точка  $d$ ), центра маси голови (точка  $g_c$ ) й загального центра мас тіла (точка  $C$ ). Координати загального центра мас тіла визначимо за відомими формулами:

$$x_C = \sum \mu_i x_i; y_C = \sum \mu_i y_i, \quad (2)$$

де  $\mu_i$  — відносна маса ланок тіла (додаток: табл. Д2);  $x_i, y_i$  — координати центрів мас ланок тіла;  $i = 1, 2 \dots 8$  — номер окремої ланки.

Координати центрів мас шести ланок (гомілки, стегна, тулуба, плеча, передпліччя й руки) тіла визначаємо з використанням координат осей пари суглобів, у створенні яких задіяна відповідна ланка:

$$\begin{aligned} x_i &= x_{prox.i} + \lambda_i (x_{dist.i} - x_{prox.i}); \\ y_i &= y_{prox.i} + \lambda_i (y_{dist.i} - y_{prox.i}), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $x_{prox.i}, y_{prox.i}$  — координати центра проксимального суглобу ланки тіла;  $x_{dist.i}, y_{dist.i}$  — координати центра дистального суглобу ланки тіла;  $\lambda_i$  — відносна відстань центру мас ланки від осі проксимального суглобу (див. табл. Д2).

Координати центрів мас голови й стопи визначаємо за відповідними маркерами на шлемі (точка  $g_c$ ) й черевіку (точка  $g_p$ ) лижника (див. рис. 1, 2).

Сім суглобних кутів, а також іще чотири кути, які використовуються як параметри пози тіла лижника, визначаємо за тригонометричними формулами (див. рис. 2). Кут у гомілковостопному суглобі

$$-\alpha = \arctg \frac{y_p - y_s}{x_s - x_p}. \quad (4)$$

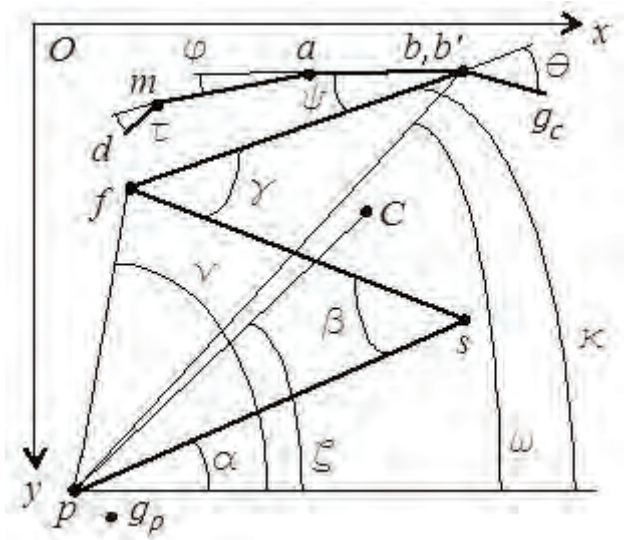


Рис. 2. Кінематична схема тіла лижника

Кут у колінному суглобі –

$$\beta = \alpha + \arctg \frac{y_s - y_f}{x_s - x_f} \quad (5)$$

Кут у кульшовому суглобі –

$$\beta = \alpha + \arctg \frac{y_s - y_f}{x_s - x_f} \quad (6)$$

Кут нахилу тулуба, тобто відрізка прямої, яка проходить через осі кульшового й плечового суглобів, до напрямку руху лижника (горизонталі) –  $\kappa = \gamma + \alpha + \beta$ . (7)

Кут нахилу голови відносно тулуба –

$$\theta = \kappa + \arctg \frac{y_e - y_b}{x_e - x_b} \quad (8)$$

Кут у плечовому суглобі –

$$\psi = \kappa - \arctg \frac{y_a - y_b}{x_b - x_a} \quad (9)$$

Кут у ліктьовому суглобі –

$$\phi = \arctg \frac{y_m - y_a}{x_a - x_m} + \psi - \kappa \quad (10)$$

Кут у променезап'ястковому суглобі –

$$\tau = \psi - \phi - \kappa + \arctg \frac{y_d - y_m}{x_m - x_d} \quad (11)$$

Кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба –

$$\zeta = \arctg \frac{y_p - y_c}{x_c - x_p} \quad (12)$$

Кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через осі кульшового й гомілковостопного суглоба –

$$v = \arctg \frac{y_p - y_f}{x_f - x_p} \quad (13)$$

Кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через осі гомілковостопного й плечового суглобів –

$$\omega = \arctg \frac{y_p - y_b}{x_b - x_p} \quad (14)$$

За позу лижника на початку відштовхування було прийнято позу тіла, зафіксовану на кадрі, попередньому до кадру, де має місце піднесення положення загального центру мас тіла лижника на столі трампліна. Статистичні параметри довжини стрибка на лижах з трампліна й кутів, які визначають позу лижника перед початком відштовхування, зведені в табл. 2:  $M$  — середнє арифметичне;  $SD$  — середнє квадратичне відхилення;  $r$  — парний лінійний коефіцієнт кореляції довжини стрибка з параметрами пози тіла;  $p$  — рівень істотності, на якому може бути відхилена статистична гіпотеза про відсутність такої кореляції (значення рівня істотності, менші за 0,05, надруковано в таблиці жирним шрифтом);  $\eta$  — кореляційне відношення параметру пози до довжини стрибка;  $\Gamma$  — критерій лінійності зв'язку;  $p_\Gamma$  — рівень істотності, на якому може бути відхилена статистична гіпотеза про відсутність лінійної форми кореляції;  $D$  — критерій нормальності розподілу Колмогорова-Смірнова.

Нормальність закону розподілу визначалася за критерієм Колмогорова-Смірнова в адаптації Ліллефорса  $D$  [8]. Оскільки розрахункові значення критерію ( $D = 0,079 \div 0,152$ ;  $D_{L1} = 0,123$ ) не перевищують критичного значення ( $D_{0,05} = 0,159$ ), можна прийняти нульову гіпотезу про нормальність розподілу в генеральних сукупностях, з яких отримано піддані тестуванню вибіркові сукупності.

Оцінку форми кореляційного взаємозв'язку проведено з використанням критерію лінійності зв'язку [13]:

$$\Gamma = \eta^2 - r^2, \quad (15)$$

де  $\eta$  — коефіцієнт нелінійної кореляції, який дорівнює середньому геометричному пари кореляційних відношень;  $r$  — коефіцієнт лінійної кореляції Брауе-Пірсона.

Стандартна похибка середнього арифметичного критерію лінійності зв'язку визначається за формулою:

$$m_\Gamma = 2\sqrt{\frac{\Gamma[1 + (1 - \eta^2)^2 - (1 - r^2)^2]}{N}}, \quad (16)$$

де  $N$  — обсяг сукупності.



Параметри пози лижника перед початком відштовхування

Стат.	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\gamma^\circ$	$\psi^\circ$	$\phi^\circ$	$\theta^\circ$	$\kappa^\circ$	$\zeta^\circ$	$\omega^\circ$	$\nu^\circ$	$\tau^\circ$
<i>M</i>	52,8	74,1	34,5	9,6	8,3	-3,7	13,5	74,4	60,7	100,6	4,4
<i>SD</i>	4,3	7,6	4,3	4,4	4,7	8,3	5,6	3,5	3,5	3,2	5,8
<i>r</i>	-0,614	-0,596	-0,437	0,126	-0,050	0,103	0,038	-0,556	-0,402	-0,250	-0,063
<i>p</i>	0,000	0,000	0,011	0,486	0,782	0,568	0,834	0,001	0,020	0,161	0,727
$\eta$	0,625	0,608	0,462	0,159	0,117	0,161	0,205	0,563	0,402	0,288	0,162
$\Gamma$	0,015	0,015	0,023	0,010	0,011	0,015	0,041	0,008	0,000	0,021	0,022
$m_\Gamma$	0,042	0,042	0,051	0,034	0,036	0,042	0,067	0,031	0,001	0,049	0,051
$t_\Gamma$	0,350	0,351	0,440	0,284	0,307	0,361	0,605	0,257	0,110	0,420	0,439
$p_\Gamma$	0,729	0,728	0,663	0,778	0,761	0,721	0,550	0,799	0,992	0,677	0,664
$D^*$	0,140	0,152	0,089	0,100	0,110	0,112	0,079	0,104	0,117	0,131	0,140

\*  $D_{0,05} = 0,159$ .

Розрахункове значення *t*-критерію Стьюдента обчислюється за відомим відношенням:

$$t_\Gamma = \frac{\Gamma}{m_\Gamma}, \quad (18)$$

Результати проміжних обчислень за формулами (16)÷(18) зведено в таблицю 2, після чого визначено рівень істотності для  $t_\Gamma$  й числа ступенів свободи ( $N - 2 = 31$ ), на якому може бути відкинута нульову гіпотезу про лінійність форми взаємозв'язку довжини стрибка на лижах з трампліну з параметрами пози лижника на початку відштовхування. Оскільки відповідні значення рівня істотності знаходяться в межах  $p_\Gamma = 0,110 \div 0,605$ , можна прийняти гіпотезу про лінійність форми взаємозв'язку спортивного результату й параметрів пози тіла.

Загальний внесок фактора пози лижника на початку відштовхування у варіацію довжини стрибка визначається коефіцієнтом детермінації, обчисленим як квадрат коефіцієнта множинної кореляції між довжиною стрибка і параметрами пози лижника. Обчислення проведені з використанням функції «Statistics → Multiple Linear Regression» програми Statistica. Оскільки сім суглобних кутів ( $\alpha, \beta, \gamma, \theta, \psi, \phi, \tau$ ) однозначно визначають позу для моделі тіла із сімома ступенями свободи (1), їх і прийнято за ці параметри. Між довжиною стрибка й параметрами пози лижника на початку відштовхування зафіксовано тісний статистичний взаємозв'язок. Його тісноту можна характеризувати як проміжну між середньою і сильною: коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,727 ( $p < 0,005$ ) і коефіцієнт детермінації — 0,529. Це означає, що майже 53 % варіації довжини стрибка залежить від параметрів пози лижника, а решта 47 % варіації результату зумовлена впливом інших факторів.

Для п'яти параметрів пози ( $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \omega$ ) виявлено істотний кореляційний взаємозв'язок із довжиною стрибка ( $p = 0,000 \div 0,020$ ). Треба відзначити, що спрямованість взаємозв'язку для всіх п'яти параметрів від'ємна (див. значення *r* в табл. 2), що вказує на збільшення довжини стрибка при зменшенні зазначених параметрів.

Дослідження статистичних взаємозв'язків між параметрами пози лижника проведено з використанням функції «Кореляція» пакету аналізу програми Excel. Вірогідність взаємозв'язку визначалася за критерієм Стьюдента:

$$t = \frac{|r| \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (19)$$

За абсолютною величиною парного лінійного коефіцієнта кореляції ( $|r| = 0,402 \div 0,614$ ) можна визнати існування середнього за силою статистичного взаємозв'язку довжини стрибка з п'ятьма параметрами пози тіла лижника, а саме з кутами у гомілковостопному ( $p < 0,001$ ), колінному ( $p < 0,001$ ) й кульшовому ( $p < 0,012$ ) суглобах, з кутом нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба ( $p < 0,001$ ), а також із кутом нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через осі гомілковостопного й плечового суглобів ( $p < 0,03$ ).

Щоб створити модель пози лижника, треба виявити найбільш інформативні її параметри. Для цього побудуємо кореляційну таблицю для п'яти визначених вище параметрів ( $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \omega$ ). Коефіцієнти парної кореляції й відповідні до них рівні істотності наведено в табл. 3.

Оскільки між параметрами у дев'яти із загальної кількості десяти пар виявлено статистично істотну кореляцію ( $p = 0,000 \div 0,039$ ), при тому, що в тій

Коефіцієнт кореляції (зліва внизу) та рівень істотності (з права вверху) параметрів пози лижника перед початком відштовхування

Параметри	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\zeta$	$\omega$
$\alpha$	–	0,000	0,039	0,000	0,000
$\beta$	0,615	–	0,010	0,014	0,086
$\gamma$	0,361	0,440	–	0,025	0,003
$\zeta$	0,781	0,425	0,390	–	0,000
$\omega$	0,659	0,303	0,500	0,865	–

десятій парі ( $\beta \leftrightarrow \gamma$ ), рівень істотності також можна вважати прийнятним ( $p < 0,1$ ), кількість параметрів моделі може бути зменшена за рахунок частини тих параметрів, які мають між собою виразний взаємозв'язок.

Для формування кластерів параметрів застосовано частинну кореляцію між довжиною стрибка й п'ятьма визначеними вище параметрів. Привертає до себе увагу трійка параметрів з найвищою тісністю взаємозв'язку між собою:  $\alpha, \zeta, \omega$  ( $r = 0,659; 0,781; 0,865$ ). Очевидно, що в конкретній моделі немає сенсу використовувати більше одного з цих трьох параметрів. Із врахуванням цього нами було виявлено дві пари параметрів, частинна кореляція кожної з яких із довжиною стрибка була істотно вірогідною ( $p < 0,05$ ). Результати кореляційного аналізу подано в табл. 4. Перша пара параметрів — це кути в гомілковостопному і колінному суглобах, а друга — це кут в колінному суглобі та кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба.

Обговорення результатів дослідження. Порівнюючи між собою розроблені дві пари модельних параметрів, можна відзначити дещо вищий рівень достовірності другої з них ( $p < 0,02$ ). Обидва коефіцієнти частинної кореляції другої пари параметрів за абсолютною величиною ( $|r_{part}| = 0,390; 0,351$ ) є більшими від абсолютної величини ( $|r_{part}| = 0,478; 0,417$ ) коефіцієнтів кореляції другої пари (див. табл. 4).

Таким чином, точнішою для побудови моделі пози тіла є друга пара параметрів. Однак, з практичної точки зору, використання параметра  $\zeta$  значно ускладнює підготовчі обчислювальні процедури, оскільки це є кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба. Обчислення ж координат загального центру мас тіла потребує врахування всіх ланок тіла. З другого боку, для побудови моделі на основі першої пари параметрів достатньо визначити координати лише трьох точок — осей гомілковостопного, колінного і кульшового суглобів. З практичної

точки зору різниця у точності побудови моделей на основі першої та другої пар параметрів не є значною. Варіація другої пари параметрів ( $\beta$  і  $\zeta$ ) на 43,1 % ( $R^2 \times 100$  %) зумовлює варіацію довжини стрибка порівняно з 42,3 %, які зумовлює варіація першої пари параметрів ( $\alpha$  і  $\beta$ ).

Отримані результати показали придатність та практичну доцільність використання кутових параметрів пози тіла лижника для дослідження техніки виконання стрибка на лижах з трампліна, що підтверджується успішним застосуванням такого підходу у відомих роботах [4].

Оскільки спрямованість взаємозв'язку довжини стрибка із параметрами пози тіла лижника ( $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \omega$ ) на початку відштовхування від'ємна (див. значення  $r$  в табл. 2), можна говорити про збільшення довжини стрибка при зменшенні величини зазначених параметрів. Тобто, чим нижче згруповано ланки тіла стрибуну, тим вищою є ймовірність досягнення кращого спортивного результату. Цьому можна знайти пояснення щонайменше з двох точок зору. По-перше, компактна поза з аеродинамічної точки зору пов'язана з меншим опором повітря при розгоні. Наслідком менших витрат, викликаних розсіянням потенціальної енергії тіла спортсмена стає більша швидкість на столі трампліна, а отже, й більша довжина стрибка.

По-друге, компактна поза потенційно дає можливість стрибуну вище вистрибнути на столі трампліну. А чим у вищій позиції знаходиться лижник, тим більшим може бути час польоту (зниження), а отже, й довжина стрибка.

На закругленій ділянці гірки трампліна вага тіла лижника складається з суми двох сил: нормальної (до поверхні гірки) складової гравітаційної сили, яка дорівнює добутковій маси тіла на прискорення вільного падіння й на косинус кута нахилу поверхні гірки до горизонту, й відцентрової сили, яка дорівнює добутковій маси тіла на відцентрове прискорення. В момент в'їзду на стіл трампліна зникає відцентрове пришвидшення, що в термінах динаміки означає миттєве зменшення ваги тіла лижника (рис. 3).

Модельні параметри пози тіла лижника

Модель	Параметри	$r_{\text{part}}$	$t$	$p$	$R^*$
1	$\alpha$	-0,390	2,322	0,027	0,673
	$\beta$	-0,351	2,054	0,049	
2	$\beta$	-0,478	2,979	0,006	0,683
	$\zeta$	-0,417	2,510	0,018	

\*  $R$  — коефіцієнт множинної кореляції

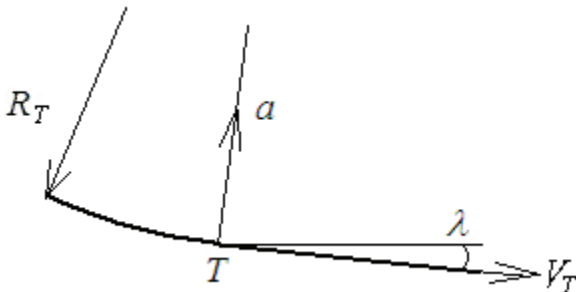


Рис. 3. Доцентрове прискорення лижника в момент в'їзду на стіл трампліна

Доцентрове прискорення лижника на закругленій ділянці гірки трампліна визначається виразом:

$$a = \frac{V_T^2}{R_T}, \quad (20)$$

де  $V_T$  — швидкість лижника;  $R_T$  — радіус закругленої ділянки гірки трампліна.

Цей висновок про перевагу низької пози тіла на початку відштовхування узагальнює висновок роботи [5] стосовно існування статистично істотної ( $p = 0,05$ ) кореляції між кутом згинання колінного суглоба, яке має місце безпосередньо перед початком відштовхування, і довжиною стрибка. Наш висновок є більш загальним, оскільки стосується пози тіла загалом, а величина згинання в колінному суглобі є одним з показників низької пози тіла.

Рекомендації стосовно оптимізації пози тіла лижника перед початком відштовхування ґрунтуються на виявленій в ході дослідження статистично істотної та суттєвій залежності довжини стрибка з трампліна від параметрів пози тіла лижника. Критерієм оптимізації, зрозуміло, є довжина стрибка. Параметрами задачі оптимізації — кути, що визначають позу тіла. У першому наближенні можна рекомендувати стрибунам з трампліна приймати перед початком відштовхування якомога нижчу позу тіла. Це дозволяє, зокрема, здійснити пружну акумуляцію у нижніх кінцівках тіла кінетичної енергії на закругленій ділянці гори. Чим нижча поза, тим меншим є величина згинання у

суглобах, а як наслідок — меншими втрати енергії при розтягуванні м'язів.

Напрямки подальших досліджень, перш за все, слід пов'язати із розглядом двох проблем, що могло би розширити й поглибити розуміння важливості техніки виконання відштовхування для досягнення більшої довжини стрибка на лижах з трампліна. Перша з них — це стабільність пози тіла лижника на початку відштовхування. Представлені в цій статті результати ґрунтуються на одній спробі змагань групи спортсменів. Цікавим і корисним як в теоретичному, так і практичному сенсі було б дослідити індивідуальну варіацію параметрів пози тіла, перш за все, у двох залікових стрибках змагань, а також під час серії тренувальних стрибків та контрольних змагань.

Друга проблема — це кількісний аналіз процесу відштовхування на столі трампліна. Якщо аналіз пози тіла лижника — задача статичної (або псевдо статичної, оскільки переміщення тіла й зміни пози в цьому аналізі еліміновані), то для аналізу відштовхування треба формулювати й розв'язувати задачу динаміки, а саме дослідити закономірності зміни параметрів пози в часі та виявити їхній вплив, якщо він існує, на довжину стрибка.

## Висновки

Запропонована в роботі восьмиланкова кінематична модель тіла лижника показала свою придатність для аналізу залежності довжини стрибка на лижах з трампліна від пози лижника на початку відштовхування. За результатами множинного кореляційного аналізу встановлено, що внесок варіації параметрів моделі у варіацію довжини стрибка дорівнює майже 53 %, а тіснота взаємозв'язку є досить високою ( $R = 0,727$ ;  $p < 0,005$ ).

Розроблена методика опрацювання результатів відеозйомки лижника на початку відштовхування на столі трампліна може бути рекомендована для застосування у спортивній практиці, оскільки дозволяє визначати кутові параметри пози тіла з абсолютною похибкою в межах  $0,1^\circ$  і є доступною для широкого кола спортсменів і тренерів завдяки

## Додатки

Таблиця Д1

Довжина стрибка (перша змагальна спроба) на лижах з трампліна тридцяти трьох спортсменів і кути, які визначають позу лижника перед початком відштовхування

№	L, м	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\gamma^\circ$	$\psi^\circ$	$\phi^\circ$	$\theta^\circ$	$\kappa^\circ$	$\zeta^\circ$	$\omega^\circ$	$\nu^\circ$	$\tau^\circ$
1	44,5	61,2	88,9	43,1	9,4	11,1	-1,3	15,4	79,4	65,5	101,4	1,4
2	46,5	60,2	91,2	34,0	3,8	6,1	-9,6	3,0	77,2	59,9	101,2	2,5
3	48,0	52,2	68,8	35,7	8,1	3,6	-3,8	19,1	74,3	61,3	101,0	1,9
4	51,5	58,5	76,7	42,0	16,4	5,2	6,2	23,8	80,5	67,6	104,3	8,7
5	52,0	57,4	76,7	31,7	13,8	14,5	-20,7	12,4	77,3	61,3	103,8	8,5
6	53,5	53,7	83,3	43,6	8,9	12,5	-9,5	14,0	72,8	59,1	96,9	10,4
7	58,0	49,3	74,2	32,0	5,1	3,9	-8,2	7,1	74,2	59,4	100,7	5,2
8	58,0	62,8	89,4	35,5	4,4	3,3	-9,2	8,8	82,9	67,4	105,7	-0,8
9	59,0	53,1	71,5	32,8	8,8	12,1	0,8	14,4	75,6	62,4	101,2	4,4
10	60,0	50,3	72,0	39,7	7,9	7,0	2,7	18,0	76,6	63,2	104,6	0,3
11	61,0	56,4	87,7	38,1	1,5	6,6	-9,3	6,8	76,5	62,2	99,4	2,5
12	62,5	56,8	81,6	34,1	11,8	7,9	-3,7	9,2	73,9	58,6	97,9	0,9
13	63,0	53,3	65,9	27,5	7,6	8,8	-2,2	14,9	73,9	58,7	102,1	9,4
14	63,5	46,1	82,3	33,4	9,0	12,9	-5,3	-2,8	67,2	54,2	89,5	9,8
15	64,0	52,8	70,2	33,3	13,4	20,9	-2,8	15,9	74,9	60,7	103,2	8,0
16	64,5	57,7	72,5	36,5	13,7	8,2	14,0	21,6	78,1	64,5	105,1	6,1
17	64,5	47,0	68,4	32,7	7,7	6,8	-10,6	11,2	73,5	59,4	101,6	8,7
18	64,5	54,4	76,6	37,9	11,4	13,8	-4,6	15,7	75,9	63,2	99,5	22,7
19	67,5	48,8	71,3	28,2	15,9	15,4	-2,6	11,6	73,1	58,5	101,0	-3,4
20	67,5	47,5	65,5	37,5	17,9	3,1	-0,3	19,5	74,4	63,2	100,5	-9,1
21	67,5	52,1	73,2	40,6	8,8	6,3	7,2	16,0	74,2	60,4	101,2	1,5
22	67,0	58,5	66,4	30,9	3,1	1,1	8,9	23,0	77,5	65,4	105,8	2,2
23	69,0	50,0	77,7	35,0	6,1	9,0	-14,4	13,0	73,5	60,4	97,2	-0,8
24	70,0	51,3	75,7	29,8	7,7	8,5	-3,7	9,7	76,5	62,9	101,2	0,9
25	70,0	49,3	68,1	31,2	5,9	-0,1	-15,4	10,2	71,2	56,2	101,1	7,1
26	70,5	49,6	61,7	28,3	11,8	8,6	-10,6	16,6	69,6	52,8	99,1	-2,8
27	71,5	49,6	64,0	37,1	2,2	16,6	-12,5	13,9	72,7	58,6	99,9	12,0
28	71,5	49,0	69,7	28,3	17,3	5,3	5,9	16,3	72,1	59,5	98,0	2,3
29	72,0	50,2	69,1	34,4	16,0	5,2	8,1	15,5	73,5	59,6	101,8	0,1
30	72,0	50,4	71,2	33,4	11,1	9,5	0,3	12,6	66,0	58,8	101,2	12,4
31	72,0	53,4	72,3	37,8	12,6	9,7	8,8	18,9	75,6	64,5	98,7	3,4
32	72,5	49,3	68,1	30,3	10,9	8,8	-9,7	11,5	70,5	57,6	94,8	5,4
33	74,5	49,7	73,0	32,3	5,6	2,2	-14,5	8,9	70,4	55,0	98,7	2,3

використанню офісних інформаційних технологій Paint та Excel.

Виявлено статистично істотний взаємозв'язок довжини стрибка з п'ятьма параметрами пози тіла лижника, а саме з кутами у гомілковостопному ( $r = -0,614$ ;  $p < 0,001$ ), колінному ( $r = -0,596$ ;  $p < 0,001$ ) й кульшовому ( $r = -0,437$ ;  $p < 0,012$ ) суглобах, з кутом нахилу до напрямку руху лижника

відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба ( $r = -0,556$ ;  $p < 0,001$ ), а також із кутом нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через осі гомілковостопного й плечового суглобів ( $r = -0,402$ ;  $p < 0,03$ ).

Оскільки спрямованість взаємозв'язку для всіх п'яти параметрів пози тіла лижника з довжиною



Параметри розподілу маси тіла людини (студенти спортсмени [12])

i	Назва ланки тіла	Відносна маса ланки ( $\mu_i$ )	Відносна дистальна відстань центру мас ланки ( $\lambda_i$ )
1	Голова	0,069	0,494
2	Тулуб	0,435	0,430
3	Плечі	2×0,027	0,436
4	Передпліччя	2×0,016	0,427
5	Руки	2×0,006	0,369
6	Стегна	2×0,142	0,437
7	Гомілки	2×0,043	0,434
8	Стопи	2×0,014	0,441

стрибка від'ємна, можна зробити висновок про те, що чим нижче згруповано ланки тіла стрибача, тим вищою є ймовірність досягнення кращого спортивного результату.

Для побудови найточнішої двопараметричної моделі пози тіла лижника на початку відштовхування на столі трампліна доцільно використовувати кут в колінному суглобі і кут нахилу до напрямку руху лижника відрізка прямої лінії, яка проходить через загальний центр мас тіла й вісь гомілковостопного суглоба ( $R^2 = 43,1\%$ ). З практичної точки зору простіше використовувати з цією метою кути в гомілковостопному і колінному суглобах ( $R^2 = 42,3\%$ ).

### Список літератури

1. Arndt A., Bruggeman G., Virnavirta M. Techniques used by Olympic ski jumpers in the transition from take-off to early flight // *Journal of Applied Biomechanics*, 1995, 11 (2). — P. 224—237.
2. Ettema G. J. Dynamics of the In-Run in Ski Jumping: A Simulation Study / G. J. Ettema, S. Braten, M. F. Bobbert // *Journal of Applied Biomechanics*. — 2005. — 21 (3). — P. 247—259.
3. Janura M. A comparison of the take-off and the transition phase of the ski jumping between the group of the ski jumpers and the competitors in Nordic combined / M. Janura, M. Lehnert, M. Elfmark, Fr. Vaverka. // *Gymnica*. — 1999. — Vol. 29, — № 2. — P. 7—13.
4. Janura M. A longitudinal study of intra-individual variability in the execution of the in-run position in ski jumping / M. Janura, Fr. Vaverka, M. Elfmark, J. Salinger // *Proceedings of the 16th International Symposium on Biomechanics in Sports* / H.J Riehle, M.M. Vieten (Eds.) — Konstanz: Universitätsverlag Konstanz, 1998. — P. 124—127.
5. Komi P. V. Ski-jumping take-off performance: Determinants factors and methodological advances / P. V. Komi, M. Virnavirta / *Science in skiing*. / E. Muller (Ed.). — 2008. — P. 3—26. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/bookhome/117934320?CRETRY=1&SRETRY=0>
6. Nowak S. Controlling of upright position and its development in the process of physical education. — Radom: PR, 2005. — 216 p.
7. Paradis S. The relationship between knee joint angle, stretch-shorten cycle performance, and jump distance in ski jumping. / S. Paradis, J. McBride, C. Foster, T. Kirnozeck, S. Lephart, F. Fu / *Proceedings of American Society of Biomechanics Annual Meeting*. — San Diego: University of California, 2001. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [www.asbweb.org/conferences/2001/2001.html](http://www.asbweb.org/conferences/2001/2001.html).
8. Pegotti R. Evaluation of Biomechanical Motor Patterns in Ski Jumpers during Simulation of Takeoff // *Biomechanics X-B*, 1987. — P. 679—684.
9. Sasaki T. Three techniques of ski jump take-off modeled by changes of joint angle / T. Sasaki, K. Tsunoda, H. Hoshino // *Proceedings of the 16th International Symposium on Biomechanics in Sports* / H.J Riehle, M.M. Vieten (Eds.) — Konstanz: Universitätsverlag Konstanz, 1998. — P. 233—236.
10. Vaverka Fr. Inter- and Intra-Individual Variability of the Ski-Jumper's Take-off. / Fr. Vaverka, M. Janura, M. Elfmark, J. Salinger, M. McPherson / *Science in Skiing* / E. Müller et al. (Eds.) — London: E&FN Spon. — 1997. — P. 61—71.
11. Vincent W. J. Statistics in Kinesiology. / W. J. Vincent. — Champaign, Il.: Human Kinetics, 2001. — 276 p.
12. Zatsiorsky V. M. Kinetics of human motion / V. M. Zatsiorsky. — Champaign, Il.: Human Kinetics, 2002. — 654 p.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. — М.: Высшая школа, 1968. — 288 с.
14. Лапутін А. М. Біомеханіка спорту / А. М. Лапутін, В.В. Гамалій, О. А. Архипов, В. О. Кашуба, М. О. Носко, Т. О. Хабінець. — К.: Олімпійська література, 2005. — 320 с.

Надійшла до редакції 20.02.2011 р.

**Банак В.И., Заневский И.Ф.** Зависимость длины прыжка на лыжах с трамплина от позы лыжника в начале отталкивания.

Предложена кинематическая модель тела лыжника прыгуна с трамплина на столе отталкивания. Создана методика измерений координат точек тела лыжника на основе видеосъёмки и офисных информационных технологий. С использованием результатов спортивных соревнований 33-х прыгунов с трамплина определены кинематические параметры позы тела лыжника в начале отталкивания. В результате корреляционного анализа выявлено пять параметров позы, от которых статистически значимо ( $p < 0,02$ ) зависит длина прыжка, обоснованы два варианта пары модельных характеристик позы тела. Сформулированы рекомендации относительно оптимизации позы тела лыжника в начале отталкивания.

**Ключевые слова:** прыжки на лыжах с трамплина, поза тела, кинематические параметры.

**Banakh V.I. Zanevskyy I.P.** Dependence of a ski jump's length from a skier's pose at the beginning of pushing away. A kinematical model of a body pose of a ski jumper at the beginning of pushing away is proposed. A method of measuring of skier's body coordinates based on the results of video recordings and office information technologies is created. Kinematical parameters of a skier's body pose at the beginning of pushing away are determined using sport competition results of 33 ski jumpers. Five parameters a pose which correlate statistically confidential ( $p < 0.02$ ) with length of a jump are revealed; two variants of a pare model parameters of a body's pose are substantiated. Recommendations regarding optimization of a body's pose at the beginning of pushing away are formulated.

**Key words:** ski jumps from trampoline, body's pose, kinematical parameters.



X98

**Худолій О.М.**

Основи методики викладання гімнастики: Навч. посібник. У 2-х томах. — 4-е вид., випр. і доп. — Харків: «ОВС», 2008. — Т. 1. — 408 с: іл.

ISBN 966-7858-54-5.

ISBN 966-7858-55-3(I).

У першому томі навчального посібника розглянуті загальні питання теорії гімнастики, а також засоби і методика розвитку рухових здібностей та методика навчання гімнастичним вправам.

Навчальний посібник рекомендовано викладачам і студентам факультетів фізичного виховання педагогічних університетів та вчителям фізичної культури середніх загальноосвітніх шкіл..



X98

**Худолій О.М.**

Основи методики викладання гімнастики: Навч. посібник. У 2-х томах. — 4-е вид., випр. і доп. — Харків: «ОВС», 2008. — Т. 2. — 464 с: іл.

ISBN 966-7858-54-5.

ISBN 966-7858-56-1(II).

У навчальному посібнику розглянута методика викладання гімнастики в школі і ДЮСШ, а також методика організації і проведення змагань зі спортивної гімнастики.

Посібник рекомендовано викладачам і студентам факультетів фізичного виховання вищих педагогічних навчальних закладів III—IV рівня акредитації та вчителям фізичної культури середніх загальноосвітніх шкіл.

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів  
(лист № 14/18.2—1928 від 17.11.03)