

БІОМЕХАНІЧНА ТА КІНЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ САЛЬТО НАЗАД ЗІГНУВШИСЬ У СТРИБКАХ НА БАТУТІ

Пимоненко М. М.

викладач,

здобувач вищої освіти доктора філософії кафедри кінезіології

та фізкультурно-спортивної реабілітації

факультету спорту та менеджменту

Національний університет фізичного виховання та спорту України

вул. Фізкультури 1, м. Київ, Україна

orcid.org/0000-0002-2399-6424

nikolai_pimonenko@ukr.net

Гамалій В. В.

кандидат педагогічних наук,

професор кафедри кінезіології та фізкультурно-спортивної реабілітації

факультету спорту та менеджменту

Національний університет фізичного виховання та спорту України

вул. Фізкультури 1, м. Київ, Україна

orcid.org/0000-0002-8389-0832

gamali@ua.fm

Ключові слова: батут,
спортсмени, біомеханіка,
кінематика, модельні
характеристики,
підготовка.

Технічна підготовка спортсменів, які займаються стрибками на батуті на етапі спеціалізованої базової підготовки дуже важлива для подальшого спортивного удосконалення. Спортсменам необхідно опанувати технічно правильною базою рухів, яку на подальших етапах підготовки можна вдосконалювати та індивідуалізувати. Цьому допоможе вивчення тезніки вправ на основі модельних показників, зіставлення виконання вправ спортсменами, які займаються на етапі спеціалізованої базової підготовки з еталонним виконанням досвідченими спортсменами, детальне пояснення щодо виконання вправ. У зв'язку з цим, метою статті є дослідження, аналіз та детальний опис біомеханічної моделі вправи стрибок на батуті – сальто назад зігнувшись ("Елемент 314С"). Для досягнення мети було використано метод відеоаналізу з допомогою програми «Kinovea», створення біомеханічних моделей та вивчення часових, просторових характеристик вправи стрибок на батуті – сальто назад зігнувшись ("Елемент 314С"). Відеоаналіз виконання сальто назад зігнувшись проведено на основі відеозапису виконання двома фіналістами Олімпійських ігор 2016 року. Визначено загальну тривалість виконання спортсменами елемента 314С, який становив 2,36–2,40 с, час польоту від нижньої точки продавлювання батута до верхньої точки зависання становив 0,92с – 1,00 с, час другого періоду – від максимальної точки зависання в повітрі до максимального продавлювання батута – 1,52с – 1,40 с. Досліджено загальну висоту зльоту спортсменів – 7,42 м, та швидкість приходу на сітку батута – 12,06 м/с. На основі цих даних отримано біомеханічну модель виконання елемента 314С, що дозволяє використовувати її під час вивчення та вдосконалення вправи спортсменами, які займаються стрибками на батуті на етапі спеціалізованої базової підготовки. Це дозволяє порівнювати техніку виконання елемента спортсменами на етапі спеціалізованої базової підготовки з модельними показниками, вивчати окремі положення тіла, положення рук та ніг спортсменів під час удосконалення техніки даного елемента.

BIOMECHANICAL AND KINEMATIC MODEL OF BENDING BACKFALLS IN TRAMPOLINE JUMPS

Pymonenko M. M.

Lecturer,

*Recipient of Higher Education of Doctor of Philosophy at the Department
of Kinesiology and Physical Culture and Sports Rehabilitation
of the Faculty of Sports and Management
National University of Physical Education and Sports of Ukraine
Physical Education str., 1, Kyiv, Ukraine,
orcid.org/0000-0002-2399-6424
nikolai_pimonenko@ukr.net*

Gamalii V. V.

Candidate of Pedagogical Sciences,

*Professor at the Department of Kinesiology and Physical Culture
and Sports Rehabilitation of the Faculty of Sports and Management
National University of Physical Education and Sports of Ukraine
Physical Education str., 1, Kyiv, Ukraine
orcid.org/0000-0002-8389-0832
gamali@ua.fm*

Key words: *trampoline,
athletes, biomechanics,
kinematics, model
characteristics, training.*

Technical training of athletes engaged in jumping on a trampoline at the stage of specialized basic training is very important for further sports improvement. Athletes need to master a technically correct base of movements, which can be improved and individualized at further stages of training. This will be helped by the study of the exercise technique based on model indicators, a comparison of the performance of exercises by athletes who are engaged in the stage of specialized basic training with reference performance by experienced athletes, a detailed explanation of the performance of exercises. In this regard, the purpose of the article is research, analysis and detailed description of the biomechanical model of the exercise of jumping on a trampoline – somersault back bending ("Element 314C"). To achieve the goal, the method of video analysis using the "Kinovea" program was used, creating biomechanical models and studying the temporal and spatial characteristics of the exercise of jumping on a trampoline - somersaults with a bent back ("Element 314C"). The video analysis of the back somersault performed by two finalists of the 2016 Olympic Games was performed on the basis of a video recording. The total duration of the athletes' performance of element 314C was determined, which was 2.36 – 2.40 s, the flight time from the lower point of the trampoline's push to the upper point of suspension was 0.92 s – 1.00 s, the time of the second period – from the maximum point of suspension in the air to the maximum pushing of the trampoline – 1.52 s – 1.40 s. The total take-off height of the athletes was 7.42 m, and the speed of landing on the trampoline net was 12.06 m/s. A biomechanical model of element 314C performance was obtained, which allows using it during the study and improvement of the exercise by younger athletes. This allows to compare the technique of performing an element by athletes at the stage of specialized basic training with model indicators, to study individual body positions, positions of the hands and feet of athletes during the improvement of the technique of this element.

Вступ. Сьогодні в Україні стрибки на батуті, які є Олімпійським видом спорту, привертають до себе велику увагу [1]. Розвиток батутного спорту має великі перспективи в Україні [2]. Для успішного розвитку цього виду спорту нашої країні особливе значення має підготовка молодих спортсменів-батутистів. Як показує реальний тренерський досвід та практика, а також дані літератури це особливо важливо для періоду підготовки молодих спортсменів-батутистів на етапі спеціалізованої базової підготовки (СБП) [2, 3]. Практичні підходи до навчання юних спортсменів на етапі СБП вимагають удосконалення методичної та технічної підготовки тренерів та спортсменів, удосконалення прийомів та методів їх навчання, заснованих на глибокому пізнанні теорії рухів та нових авторських методиках тренування юних спортсменів як на батуті так і на гімнастичних снарядах.

Постановка проблеми. Першочерговою проблемою, яку необхідно вирішити при вдосконаленні технічної підготовки спортсменів батутистів, у тому числі і особливо на етапі СБП, є оптимізація методики та засобів їхньої спеціальної підготовки, яка має здійснюватися відповідно до науково обґрунтованих біомеханічних вимог до специфіки вправ, які вивчаються [4, 10]. Для цього необхідно дослідження та створення точних біомеханічних моделей виконання батутистами базових елементів та навчання юних спортсменів цим елементам з урахуванням точних наукових даних.

Теоретичне обґрунтування та розробка технологій впровадження цього процесу у практику мають становити основу сучасної технічної підготовки у батутному спорті [4]. Одним із найбільш часто використовуваних базових елементів у тренувальних та змагальних програмах спортсменів як 1-го розряду, так і спортсменів найвищого рівня майстерності є стрибок на батуті – сальто назад зігнувшись. Він позначається умовним спортивним символом – "Елемент 314С" [5, 6].

Аналіз біомеханічної та кінематичної моделі виконання цього елемента є важливим для процесу вдосконалення технічної підготовки молодих спортсменів на етапі СБП. Він дозволить ефективно навчати молодих спортсменів базовим вправам, і контролювати їхнє правильне технічне виконання.

Метою цієї роботи є дослідження, аналіз та детальний опис біомеханічної моделі вправи стрибок на батуті – сальто назад зігнувшись ("Елемент 314С"), що включає механічну, кінематичну та анатомічну складову для ефективного та найбільш оптимального варіанту його виконання.

Методи. Дослідження проведено на основі відеоаналізу виконання елемента 314С двома досвідченими спортсменами-фіналістами XXXI Олімпійських ігор, які виконували цей елемент

у своїх перших довільних програмах змагань. За допомогою відеоаналізу здійснено біомеханічний та кінематичний аналіз елемента 314С, визначено основні біомеханічні, кінематичні та анатомічні параметри рухів спортсменів, та побудовано біомеханічну модель його виконання.

Умовно у статті позначено цих спортсменів із різних країн – «спортсмен А» та «спортсмен В». Для виконання цієї роботи використано комп'ютерну програму аналізу відеозображень «Kinovea» [8].

Для оцінки виступів спортсменів використовувався спеціальний дискретний поетапний та фазовий аналіз виконання елемента 314С. В основу поетапного аналізу вводився принцип дії на спортсмена фізичних сил. Відповідно до цього процес виконання елемента поділявся на два періоди:

Період 1 – рух спортсмена вгору під впливом поштовху сіткою батута. Він поділявся на два етапи: Етап 1-рух спортсмена вгору у взаємодії із сіткою батута від моменту найбільшого прогину сітки до моменту відриву від неї та Етап 2-рух вгору в безпорному стані від моменту відриву від сітки до моменту зависання у верхній точці польоту.

Період 2 – рух спортсмена вниз під впливом гравітації. Він поділявся на два етапи: Етап 3 – рух спортсмена в стані вільного падіння від моменту зависання у верхній точці до зіткнення з сіткою батута та Етап 4 – від зіткнення з сіткою батута до моменту найбільшого прогину сітки батута.

В основу аналізу періодів вводився принцип фізичних дій або рухів, які виконує спортсмен, їх особливості та ефекти, що виникають з різних положень тіла.

Поділ процесу виконання елемента на періоди був таким:

– I-період – Прийняття початкового положення тіла (це біомеханічно раціональне положення тіла для виконання основних періодів вправи), поштовх сітки батута та сприйняття його тілом спортсмена (що визначає подальшу траєкторію польоту) та відрив спортсмена від неї. Період цього періоду знаходився в інтервалі від моменту максимального прогинання сітки на початку виконання елемента до моменту відриву спортсмена від сітки.

– II-період – Рух у початковій стадії польоту нагору, перехід під час зльоту з вертикального положення у положення зігнувшись і обертання тіла спортсмена в сагітальній площині положенні зігнувшись на початок розкриття у пряму лінію.

– III-період – подальший рух спортсмена вгору, здійснення ним розкриття у пряме положення тіла. Початок обертання навколо загального центру мас тіла (ЗЦМТ) [9, 10]. Подальший рух. Проходження найвищої точки зльоту (точки зависання), момент зависання та здійснення оберту навколо загального центру мас тіла

(ЗЦМТ) під час руху вниз, утримання динамічної рівноваги до польоту до сітки та моменту торкання її ногами [10].

– IV-період – від моменту торкання сітки до точки її максимального продавлювання. Рухові дії, що забезпечують стійкість тіла на опорі та створення умов для виконання наступних елементів.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Відео аналіз виконання елемента 314С двома спортсменами, які брали участь у фіналі XXXI Олімпійських ігор може вважатися близьким до еталонного, тобто максимально наближеного до ідеального в технічному відношенні. Ліцензію на право вступу на Олімпійських іграх у стрибках на батуті отримали 18 найкращих спортсменів батутистів із різних країн світу. 8 із них за результатами оцінок виступів (перших двох довільних комбінацій) потрапляють у фінал. Тому критерій вибору оцінки техніки виконання елемента 314С цими спортсменами-фіналістами для побудови за ними біомеханічної моделі був теоретично правильним.

З відеозапису виступів спортсменів [6], у ході якої вони виконували свою програму на Олімпіаді, був вибраний фрагмент, що належить до виконання ними елемента 314С. Надалі цей епізод відеозапису аналізувався у сповільненому покадровому режимі. За відеозаписом аналізували динаміку та кінематику рухів спортсменів за допомогою програми «Kinovea» [8], фіксуючи часові інтервали рухів. По стоп-кадрах вибраних моментів оцінено кути розташування частин тіла і зміни положень частин тіл спортсменів. За отриманими даними, з урахуванням інтервалів часу виконання рухів проведено розрахунки кутових швидкостей частин тіла спортсменів. Ці дослідження проведено як для безопорної частини польоту, так і для положень частин тіла спортсменів при взаємодії з сіткою батута, а також у періоди її максимального прогинання вниз (набір енергії за допомогою пружин сітки для подальшого поштовху спортсмена вгору) та повернення сітки батута у рівне положення (власне поштовху спортсмена сіткою батута вгору).

За повний час виконання елемента прийнято час від моменту прийняття спортсменом вихідного положення перед початком виконання елемента у нижній точці продавленої сітки батута, до прильоту на сітку батута після

виконання елемента, до моменту продавлювання сітки батута до її крайнього нижнього положення. У початковій частині виконання елемента на кадри малювали вертикальну лінію, нижня точка якої була місцем зіткнення стоп спортсмена із сіткою батута і відповідно точкою його відриву від сітки під час зльоту. Лінія слугувала критерієм оцінки зміщення плечового і кульшового суглобів тіла спортсмена, а також загальним центром маси тіла з моменту відриву від сітки та закінчуючи кінцевим приходом на сітку до моменту її продавлювання у нижню точку.

За допомогою програми «Kinovea» було оцінено загальну тривалість виконання спортсменами А та В елемента 314 С (рис. 1).

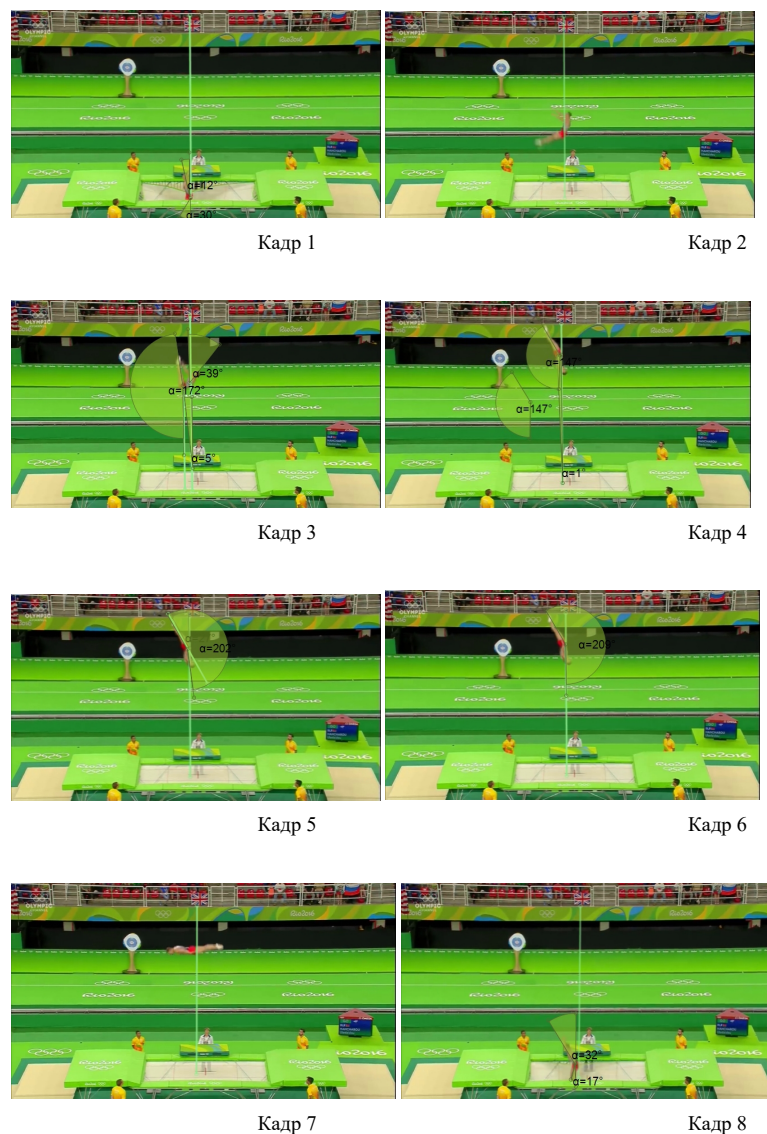


Рис. 1. Фотографії моментів положення тіла спортсмена під час його виступу на Олімпіаді залежно від фази виконання елемента 314С* і значення кутів між частинами тіла щодо вертикалі

Кадр 1. – Кут 1 між вертикальною віссю вгору і корпусом тіла при пусковій позі в момент максимального прогину сітки у фазі I

– Кут 2 – між вертикальною віссю вниз і стегном спортсмена фази I

Кадр 2. Проміжне положення тіла спортсмена при переході в положення зігнувшись.

Кадр 3. – Кут 3 переміщення ніг між вертикаллю вниз від ЗЦМТ та їх положенням у фазі II.

– Кут 4 між ногами та корпусом спортсмена, після прийняття положення зігнувшись у фазі II

– Кут 5 зміщення ЗЦМТ від вертикалі зі стартового положення ЗЦМТ (кут зміщення ЗЦМТ у фазі II)

Кадр 4. – Кут 7 між положенням ЗЦМТ після розкриття і вертикаллю з ЗЦМТ при старті (кут зміщення ЗЦМТ у фазі III)

Кадр 5. – Кут між положенням ніг після розкриття та вертикаллю вгору в початковий період фази III (кут дорівнює 27°)

– Кут між ногами та корпусом після розкриття (кут дорівнює 202°)

Кадр 6. – Кут 6 повороту ніг при прямому корпусі тіла в період від початку фази до її закінчення та торкання спортсменом сітки ногами.

Кадр 7. Проміжне положення тіла спортсмена у фазі III у момент його горизонтального положення у період обертання

Кадр 8 – Кут 8 між вертикальною віссю вгору і корпусом тіла при приході на сітку в момент максимального прогину сітки у фазі IV

– Кут 9 між вертикальною віссю вниз і стегном спортсмена фази IV

* Елемент 314 С був 6-м елементом у першій комбінації його програми змагання

Загальний час виконання елемента у комбінації для спортсменів становив:

- для спортсмена А-2,36 сек,
- для спортсмена В – 2,40 сек.

Час періоду 1 – зльоту від нижньої точки продавливання батута до верхньої точки зависання становило:

– для спортсмена А – 0,92 сек

– для спортсмена В – 1,00 сек

Час періоду 2 – падіння від верхньої точки зависання в повітрі до максимального продавливання батута при приході на сітку становило – 1,52 с для спортсмена А і 1,40 с для спортсмена В.

У таблиці 1 систематизовані та представлені значення вимірних кутових значень розташування частин тіла для спортсменів А і В.

Кут 1. Кут між вертикальною віссю вгору та корпусом тіла при пусковій позі в момент максимального прогину сітки у фазі I (Рис. 1, кадр 1)

Кут 2. Кут між вертикальною віссю вниз та стегном спортсмена фази I (Рис. 1, кадр 1)

Кут 3. Кут переміщення ніг між вертикаллю вниз від ЗЦМТ та їх положенням у фазі II. Підсумкове становище зігнувшись (Рис. 1, кадр 3)

Кут 4. Кут між корпусом тіла та ногами у положенні зігнувшись у фазі II. (Рис. 1, кадр 3)

Кут 5. Кут усунення ЗЦМТ від вертикалі зі стартового положення ЗЦМТ (кут усунення ЗЦМТ у фазі II) (Рис. 1, кадр 3)

Кут 6. Кут переміщення ніг між їхнім положенням у фазі III після розкриття та приходом на сітку. (Мал. 1, кадр 6)

Кут 7. Кут між положенням у польоті ЗЦМТ та вертикаллю з ЗЦМТ при старті (кут зміщення ЗЦМТ у фазі III) (Рис. 1, кадр 4)

Кут 8. Кут між вертикальною віссю вгору та корпусом тіла при приході на сітку в момент максимального прогину сітки у фазі IV (Рис. 1, кадр 8)

Кут 9. Кут між вертикальною віссю вниз та стегном спортсмена фази IV (Рис 1, кадр 8)

* Спортсмен А – спортсмен – учасник Олімпійських ігор

** Спортсмен В – спортсмен – чемпіон Олімпійських ігор

У таблиці 2 представлені дані тимчасових інтервалів і кінетичні характеристики виконання спортсменом фрагментів елемента 314С.

Радіальна швидкість обертання спортсмена визначалася шляхом вимірювання кута обертання (програма "Kinovea"), поділу його для переве-

Таблиця 1

Значення кутів відхилень частин тіла у спортсменів олімпійців у різні фази польоту при виконанні ними елемента 314С

№ пп	Спортсмени	Фази польоту під час виконання елемента 314С і кути відхилень частин тіла, градуси.								
		Фаза I		Фаза II			Фаза III		Фаза VI	
		Кут 1	Кут 2	Кут 3	Кут 4	Кут 5	Кут 6	Кут 7	Кут 8	Кут 9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Спортсмен А*	12	29	175 (3,07 рад.)	35	2	185 (3,25 рад.)	0	35	17
2	Спортсмен В**	12	30	172 (3,00 рад.)	39	5	209 (3,66 рад.)	1	32	17

Таблиця 2

**Кінематичні характеристики рухів спортсмена при виконанні ним елемента 314С
(інтервали часу і радіальні швидкості)**

№	Період виконання елемента	Інтервал дії чи положення спортсмена	Інтервал дії чи положення спортсмена, с (до сотих значень)	Тривалість інтервалу дії спортсмена, с (до сотих значень)	Радіальна швидкість обертання *, Ω рад·сек ⁻¹
1	2	3	4	5	6
1	I	Від максимального продавлювання сітки до відриву про неї	43,65 – 43,82	0,17	-
2	I – II	Від нижньої точки продавлювання сітки до положення зігнувшись	43,65 – 44,16	0,51	-
3	II	Від моменту відриву від сітки до прийняття положення зігнувшись (рух ногами) Кут 4 – 172° (3,00 рад)*	43,82 – 44,16	0,34	8,82
4	II	Від положення зігнувшись до розкриття в лінію Кут – 202° (3,53 рад)*	44,16 – 44,46	0,30	11,8
5	III	Від розкриття в лінію до проходження вертикального положення	44,46 – 44,60	0,14	-
6	III	Зависання у верхній точці польоту	44,60 – 44,70	0,10	-
7	III	Від положення розкриття до торкання сітки батута ногами (Обертання тіла навколо ЗЦМТ) Кут 7 – 209° (3,66 рад)*	44,46 – 45,88	1,42	2,57
8	III	Від проходження точки зависання до торкання сітки батута ногами	44,65 – 45,88	1,23**	-
9	IV	Період продавлювання сітки від торкання до нижньої точки	45,88 – 46,05	0,17	-

* Рух відбувається з кутовим переміщенням або обертанням

дення з градусів у радіани на [9], і поділу на тривалість виконання цього руху в с.

** За цим інтервалом часу за формулами визначення висоти падіння та швидкості падіння в нижній точці приходу на сітку [10] були визначені швидкість падіння в точці приходу на сітку – вона дорівнює 12,06 м · с-1 і висоти зльоту спортсмена над сіткою – вона дорівнює 7,42 м.

Подані на рисунку та у таблицях дані демонструють особливості техніки виконання елемента 314С. З даних видно, що техніка виконання елемента в обох спортсменів досить близька.

Вибір спортсмена для покадрової оцінки техніки виконання елемента 314С і оцінки його тимчасових і кінематичних характеристик рухів був зумовлений вищою оцінкою його вступу порівняно зі спортсменом А, а близькість кутових параметрів і загального часу виступу дозволяла вважати достатнім детальний аналіз кращого з них двох.

За допомогою відеоаналізу та перегляду виконання елементів обома спортсменами досліджено, що техніка виконання елемента в обох спортсменів досить близька. Вибір спортсмена

для покадрової оцінки техніки виконання елемента 314С і оцінки його тимчасових і кінематичних характеристик рухів був зумовлений вищою оцінкою його вступу порівняно зі спортсменом А, а близькість кутових параметрів і загального часу виступу дозволяла вважати достатнім детальний аналіз кращого з них двох.

Загальна висота зльоту спортсмена становила 7,42 м. Швидкість приходу на сітку батута – 12,06 м/с-1.

Досліджені значення радіальних кутових швидкостей обертання ланок тіла спортсмена:

1. ноги спортсмена після прийняття на зльоті положення зігнувшись – 8,82 рад·с-1 (кут повороту 172°, час 0,34 з) (Період I) (Табл. 1).

2. корпус спортсмена при розкритті після групування – 11,80 рад·с-1 (кут повороту 202°, час 0,30 с) (Період II) (Табл. 1).

3. Загальне обертання всього тіла навколо ЗЦМТ під час руху у 3 фазі польоту – 2,57 рад·с-1 (кут повороту 209°, час 1,42 с) (Період III) (Табл. 1).

Сукупність представлених візуальних та кількісних тимчасових та кінематичних даних дозволяє отримати детальне уявлення про біомеханічну

модель виконання спортсменами-батутистами елемента 314С максимально наближено до теоретично ідеальної техніки виконання.

У періоді I у стартовий момент руху тіла спортсмена з нижньої точки максимально продавленої сітки батута вгору, його руки знаходяться в положенні вгору паралельно один одному і трохи відхилені назад за голову (Рис. 1, кадр 1). Корпус нахилений вперед на 120° вертикальної осі від точки відриву від сітки. Ноги в колінах зігнуті, стегна під кутом 30° до вертикальної осі. Стопи паралельно один одному і в контакт з сіткою батута, що рухається вгору. Таке біомеханічне положення оптимально забезпечує балансування тіла спортсмена на опорі, що рухається з прискоренням вгору – сітки батута, що штовхає вгору. Проекція перпендикуляра вниз з ЗЦМТ повинна бути в межах центру прямокутника, що охоплює периметр опори спортсмена по зовнішніх краях одночасно двох його стоп.

Рух сітки батута вгору у періоді I відбувається з прискоренням. Максимальну швидкість поштовху або енергію поштовху сітка батута набирає при наближенні до вихідного горизонтального положення. Передати цю енергію тілу спортсмена виштовхом сітки можна лише у разі, якщо ноги спортсмена будуть повністю випрямлені, тобто, будуть являти собою жорстку біомеханічну конструкцію, здатну оптимально сприйняти і передати всьому його тілу енергію поштовху батута. У зігнутому положенні ноги не зможуть оптимально сприйняти енергію поштовху і зменшать її через свою не жорстку конструкцію.

В процесі руху вгору в опорному I періоді, ноги спортсмена випрямляються в пряму лінію, забезпечуючи необхідну жорсткість його біомеханічної конструкції тіла для ефективного сприйняття поштовху тіла спортсмена сіткою батута.

Все це в сукупності в першій фазі руху забезпечує оптимальні умови для правильного (близького до ідеального) сприйняття тілом спортсмена імпульсу від поштовху його тіла сіткою. Причому як для його загального центру маси тіла так і всього його тіла, і наступний його точний рух вгору по перпендикуляру вгору з точки відриву. Варто зазначити, що час руху сітки при поштовху нею спортсмена нагору становив $0,17$ с (табл. 2).

Основне завдання спортсмена в 1-му періоді руху на опорі, що прискорюється, полягає в умінні правильно і найбільш ефективно сприйняти імпульс і енергію поштовху його тіла сіткою батута. Першочергове значення для цього має правильна техніка, яка у свою чергу визначається правильною, оптимальною біомеханікою його тіла як біомеханічною системою, що знаходиться в контакт з батутутом як механічною системою, що забезпечує поштовх спортсмена вгору.

У другій фазі після поштовху спортсмена сіткою і його відриву від неї стопи відразу змінюють своє положення від положення, яке перпендикулярне до гомілки, до спрямованого чітко вниз. Тим самим подовжується довжина стопи як важеля, що біомеханічно важливо для забезпечення в подальшому в результаті маху ногами вгору імпульсу обертання.

Рухаючись вгору в безопорному стані, спортсмен переходить до виконання елемента – сальто назад зігнувшись. Його руки паралельно один одному з положення вгору переміщуються у бік щиколоток. Ноги стрімко з високою кутовою швидкістю піднімаються нагору, здійснюючи швидкісно-силовий рух. Кутове переміщення стоп від початкового положення становить 172° (рис. 1, табл. 1). Час переміщення – $0,34$ с, кутова швидкість $8,82$ рад·с⁻¹ (табл. 2). Біомеханічно – це швидкісний рух важелів (ніг) на шарнірах (тазостегнових суглобах). Руки спрямовані до гомілковостопних суглобів. Кут між корпусом тіла та ногами – 390° (Рис. 1, кадр 3). Відхід загального центру маси тіла від перпендикуляра з точки відриву вгору становить, у місці закінчення прийняття положення зігнувшись, кут 50° (Рис. 1, кадр 3).

Основне завдання спортсмена у другому періоді виконання вправи – оптимізувати біомеханіку своїх рухів таким чином, щоб, виконавши рух – перехід у положення зігнувшись і задаючи початковий обертальний момент махом ніг для здійснення сальто назад, не дозволити суттєво відхилитися і зміститися вперед ЗЦМТ від лінії вертикального зльоту.

У III періоді спортсмен випрямляється в лінію. При цьому, не змінюючи положення рук, і їх кута щодо вертикалі, він продовжує рух вгору. Розпрямляючи корпус тіла таким чином, що кисті рук переміщуються долонями до стегон і наближаються до тазостегнових суглобів, фіксуючись там з обох боків стегон. Ноги спортсмена трохи відхиляються до горизонту і складають по відношенню до лінії зльоту вгору кут 147° (рис. 1 кадр 4). Тіло продовжує рухатися вгору. У момент максимального розкриття розгинання корпусу спортсмена становить 202° (рис. 1 кадр 5). При цьому його голова нахилена в шиї під невеликим кутом уперед і очі дивляться на пальці ніг. Біомеханічно це знову рух важеля – корпусу тіла на осі – вісь попереково-крижового відділу хребта спортсмена перпендикулярна до сагітальної площини. Швидкість цього куткового переміщення становить – $11,8$ рад·с⁻¹ і відбувається за час $0,30$ с (табл. 2).

Розкриття спортсмена в лінію з зазначеним вище розгином корпусу та легким поштовхом тазом вперед компенсує горизонтальне зміщення центру маси тіла від вертикалі змінюючи його від початкових 50° після прийняття положення зігнув-

шись до 10° після розкриття. Це фактично повертає центру маси тіла перпендикуляр від точки відриву від сітки, практично усуваючи потенційну загрозу ефекту горизонтального зміщення вперед при приході на сітку. Одночасно з цим обидва послідовно вироблені спортсменом біомеханічні рухи (прийняття положення зігнувшись і розгин) забезпечують тілу спортсмена обертальний момент, що призводить до обертання його навколо центру маси тіла у сагітальній площині. Перебуваючи в цьому русі, він більше не робить жодних дій. Спортсмен біомеханічно фіксує це своє підсумкове положення після розкриття і, придбавши від двох обертальних імпульсів зазначений вище крутний момент, продовжує свій рух.

На початку III періоду спортсмен ще деякий час він рухається, обертаючись вгору. Досягає в найвищій точці підйому точку зависання, і після знаходження в ній $0,10$ с починає рух вниз, продовжуючи обертання навколо свого центру маси тіла (табл. 2). Загальні його майбутнє кутове переміщення при обертанні навколо центру маси тіла до моменту приходу на сітку після розкриття становитиме 209° (рис. 1, кадр 6). Цей поворот відбувається з кутовою швидкістю обертання, що дорівнює $2,57 \text{ рад}\cdot\text{с}^{-1}$, за час $1,42 \text{ с}$ (рис. 1, кадр 7). Проходячи на певній висоті точку горизонтального положення тіла, спортсмен не змінюючи положення тіла і, як біомеханічна система, в статодинамічній рівновазі, продовжуючи обертання, наближається до сітки батута, повертаючись до неї ногами.

При наближенні до сітки батута спортсмен переводить руки паралельно один одному від стегон вгору над головою, а ноги згинає в колінних суглобах, переводячи стопи з витягнутого вертикального положення горизонтальне, перпендикулярно до щиколоток. Таким чином, спортсмен готує своє тіло та ноги як його опорну частину до взаємодії із сіткою батута. Необхідність цих дій очевидна і доцільна. На момент торкання сітки спортсмен пролетів від точки зависання $7,42 \text{ м}$ вниз (табл. 2) і набув завдяки своїй масі тіла значну кінетичну енергію. У вільному падінні в момент торкання сітки він має швидкість руху вниз рівну $-12,06 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (табл. 2). Дотик, хоч і зі здатною до прогинання, але досить жорсткою – натягнутою пружинами сіткою, це досить відчутне і потенційно сильне зіткнення. Сила впливу сітки на стопи обернено пропорційна площі об'єкта, з яким вона стикається. Ноги спортсмена згинаються в колінних суглобах для забезпечення необхідної амортизації під час зіткнення та утримання рівноваги на опорі – проекції від центру маси тіла в область периметра площі опори (рис. 1, кадр 8). Ноги розставлені для збільшення площі прямокутника периметра, що охоплює, 2-х стоп. Розставлені ноги забезпечують найкраще потра-

пляння та перебування в ньому проекції від центру маси тіла.

Біомеханічно підготувавши себе таким чином, спортсмен на початку IV періоду виконання елемента 314С стикається як біомеханічна система з сіткою батута як механічною системою. Цей дотик починає процес амортизації падіння тіла, його уповільнення з одночасним переведенням усієї набраної від падіння кінетичної енергії тіла спортсмена, в потенційну енергію розтягування пружин батута.

Завдяки точно виконаним руховим діям у польоті, центр маси тіла спортсмена практично не відхилився від перпендикуляра вгору від точки його відриву від сітки при зльоті. Таким чином, горизонтальне переміщення тіла при завершенні елемента 314С практично відсутнє.

Аж до досягнення нижньої точки прогину сітки, руки спортсмена знаходяться вгорі, але в результаті гальмівного впливу сітки, що амортизує, трохи відхиляються назад за голову, корпус нахилється вперед на 30° від вертикалі, а ноги в колінах зігнуті під кутом 170° до вертикалі. У своєму біомеханічному положенні спортсмен наближається до вихідного положення тіла на початку виконання елемента. Слід звернути увагу, що час продавлювання сітки дорівнює $0,17 \text{ с}$ (табл. 2), що дорівнює часу її руху при поштовху спортсмена вгору за його старті у цій вправі. Це наслідок закону збереження енергії. Енергія початкового поштовху сітки тіла спортсмена, що володіє масою, перетворюється до точки зависання в потенційну енергію, що дорівнює енергії поштовху. Подальший рух вниз на опорі перетворює потенційну енергію спортсмена на кінетичну, викликавши при амортизації на сітку батута (як механічну систему створену саме для такого перетворення), її зворотний перехід знову на потенційну, але вже енергію пружин батута. Це опосередковано доводить мінімальний вплив на біомеханічні та кінетичні параметри руху спортсмена, що сповільнює ефект від тертя його тіла про повітря.

Аналіз участі та дій, що виробляються м'язовою системою тіла спортсмена як цілісною біомеханічною системою, показав, що м'язи тіла спортсмена беруть участь у виконанні ним рухів у всіх фазах польоту. Однак вони беруть участь у цьому по-різному. Є м'язи безпосередньо відповідальні за рухи, які виконуються, і які здійснюють його при значному скороченні та напрузі. І є м'язи, що додатково беруть участь у виконанні руху. Залежно від цього вони поділяються на дві групи: м'язи, що виконують основну роботу (власне рух – зміна та прийняття нового зміненого положення тіла); м'язи, що виконують допоміжний обслуговуючий характер роботи (відносно стабільність динамічної постави).

У першому періоді основну роботу виконують такі групи м'язів: м'язи ніг – великий і середній сідничний м'яз, прямий і латеральний м'язи стегна, м'язи щиколотки, всі м'язи гомілковостопного суглоба та стопи; м'язи тулуба: м'язи пресу – зубчаста, коса, пряма, м'язи спини – трапецієподібна, найширша, м'язи рук (по кожній) – дельтоподібний м'яз; інші м'язи тіла у цій фазі виконують допоміжний обслуговуючий характер роботи.

У другому періоді основний обслуговуючий характер роботи виконують такі групи м'язів: м'язи ніг – чотириголовий та кравецький м'язи стегна, прямий та латеральний м'язи стегна, литковий м'яз та інші м'язи гомілки, м'язи гомілковостопних суглобів; м'язи тулуба: м'язи пресу (зубчаста, коса, пряма); м'язи рук – дельтоподібні, триголові м'язи розгиначів кисті та пальців; інші м'язи тіла у цій фазі виконують допоміжний обслуговуючий характер роботи.

У III періоді основний обслуговуючий характер роботи виконують такі групи м'язів: м'язи ніг: великий і середній сідничні м'язи, прямий і латеральний м'язи стегна, литковий м'яз та інші м'язи гомілки, м'язи гомілковостопного суглоба; м'язи тулуба: м'язи спини – трапецієподібний, найширший, м'язи пресу зубчастий, косий, прямий; м'язи рук – дельтоподібні, триголові, розгиначі кисті та пальців; інші м'язи тіла у цьому періоді виконують допоміжний обслуговуючий характер роботи.

У IV періоді основний обслуговуючий характер роботи виконують такі групи м'язів: м'язи ніг: великий і середній м'язи, сідничні, прямий і латеральний м'язи стегна, двоголовий м'яз стегна, литковий м'яз та інші м'язи гомілки, м'язи гомілковостопного суглоба; м'язи тулубу: м'язи пресу –

зубчастий, косий, прямий, м'язи спини – трапецієподібний, найширший; м'язи рук – дельтоподібні; інші м'язи тіла у цьому періоді вправи виконують допоміжний та обслуговуючий характер роботи.

Висновки і перспективи подальших розробок у цьому напрямку. Проведено дослідження біомеханічних та кінематичних особливостей виконання елемента сальто назад прогнувшись (елемент 314С) двома фіналістами Олімпійських ігор зі стрибків на батуті. На підставі отриманих даних розроблено та описано детальну біомеханічну, кінематичну та м'язову анатомічну модель рухів спортсмена при виконанні цього елемента, яку можна вважати максимально наближеною до ідеальної. Проаналізовано рухи спортсменів у всі періоди та фази виконання цього елемента. Визначено кількісні дані за часом, кутовими швидкостями та переміщенням спортсменів у просторі. Відзначено особливості взаємодії спортсменів батутистів як біомеханічної системи з батутутом як механічною підштовховою системою.

Показано важливість початкового навчання спортсменів батутистів на етапі СБП науково-обґрунтованої правильної техніки виконання базових стрибкових елементів, особливо елемента 314С. Отримані дані можуть бути використані у системі вдосконалення технічної підготовки спортсменів батутистів на етапі спеціалізованої базової підготовки, а саме вивчення технічної структури рухів під час виконання елемента “сальто назад прогнувшись” (314С), виконання підвідних вправ, аналіз та порівняння техніки виконання цього елемента спортсменами на етапі СБП та модельними показниками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пимоненко М., Носова Н. Олімпійська підготовка батутистів в Україні: проблеми і перспективи. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова*. 2022. № 11(157). С. 118-123. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.11\(157\).27](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.11(157).27)
2. Сушко Р., Магомедов, А. Аналіз результатів виступу українських спортсменів у літніх олімпійських іграх. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*. 2019. № 50. С. 112-115.
3. Бурла О. Загальна теорія підготовки спортсменів : курс лекцій і практикум: навч.-метод. посіб. для студентів галузі знань 0102 «Фізичне виховання, спорт і здоров'я людини». та інші. Суми: Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка. 2016. 184 с.
4. Гамалій В. Біомеханічні аспекти раціоналізації процесу навчання рухів у процесі технічної підготовки спортсменів. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2020. № 2. С. 36-41.
5. Горжий В., Салямін Ю., Шуйська Т., Веклюк Р. Стрибки на батуті: навчальна програма для дитячо-юнацьких спортивних шкіл. 2020. 147 с.
6. Men's Trampoline – Gymnastics | Rio 2016 Replays. <https://youtu.be/eEtecRhUxE>
7. Adnan N. M. N., Ab Patar M. N. A., Lee H., Yamamoto S. I., Jong-Young L., Mahmud J. Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. In *IOP conference series: materials science and engineering*. 2018. Vol. 342(1). p. 012097. IOP Publishing.
8. Адашевський В., Лавінський Д. Методика визначення сил, які діють на частини тіла людини, при різних спортивних рухах. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Динаміка і міцність машин. зб. наук. пр.* 2020. № 2. С. 10-13.
9. Швидкість, час, відстань, онлайн розрахунок. <https://uk.calcprofi.com/shvydkist-chas-vidstan-onlayn-rozrakhunok.html>

10. Литвиненко Ю., Альошина А., Бичук О., Петрович В., Долинський Б. Т., Долинський Б. Т., Буховец Б. О. Особливості статодинамічної стійкості тіла гімнастів високої кваліфікації. *Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2019. № 36. С. 124-130.

REFERENCES

1. Pymonenko M., Nosova N. (2022). Olimpiiska pidhotovka batutystiv v Ukraini: problemy i perspektyvy. [Olympic training of trampo players in Ukraine: problems and prospects]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Serii 15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport)*. Vol. 11(157). P. 118-123
2. Sushko R., Mahomedov A. (2019). Analiz rezultativ vystupu ukrainskikh sportsmeniv u litnikh olimpiiskykh ihrakh. [Analysis of the performance results of Ukrainian athletes at the Summer Olympic Games]. *Tendentsii ta perspektyvy rozvytku nauky i osvity v umovakh hlobalizatsii*. Vol. 50. P. 112-115.
3. Burla M. (2016). Zahalna teoriia pidhotovky sportsmeniv: kurs leksii i praktykum: navch.-metod. posib. dlia studentiv haluzi znan 0102 «Fizyчне vykhovannia, sport i zdorovia liudyny» [General theory of training of athletes: a course of lectures and practicum]. 184 p.
4. Hamalii V. (2020). Biomekhanichni aspekty ratsionalizatsii protsesu navchannia rukhiv u protsesi tekhnichnoi pidhotovky sportsmeniv. [Biomechanical aspects of streamlining the process of learning movements in the process of technical training of athletes]. *Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu*. Vol. 2. P. 36-41.
5. Horzhyi V., Saliamin Yu., Shuiska T., Vekliuk R. (2020). Strybky na batuti: navchalna prohrama dlia dyticho-yunatskykh sportyvnykh shkil. [Jumping on a trampoline: curriculum for children's and youth sports schools]. 147 p.
6. Mens Trampoline – Gymnastics | Rio 2016 Replays. <https://youtu.be/eEtecRhIUxE>
7. Adnan N. M. N., Ab Patar M. N. A., Lee H., Yamamoto S. I., Jong-Young L., Mahmud J. (2018). Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *In IOP conference series: materials science and engineering*. Vol. 342(1). P. 012097.
8. Adashevskiy V., Lavinskyi D. (2020). Metodyka vyznachennia syl, yaki diut na chastyny tila liudyny, pry riznykh sportyvnykh rukhakh. [The method of determining the forces that act on parts of the human body during various sports movements]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*. Vol. 2. P. 10-13. <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2020.1.219630>
9. Shvydkist, chas, vidstan, onlain rozrakhunok. [Speed, time, distance, online calculation]. <https://uk.calcprofi.com/shvydkist-chas-vidstan-onlayn-rozrakhunok.html>
10. Lytvynenko Yu., Alosyna A., Bychuk O., Petrovych V., Dolynskiy B., Dolynskiy B., Bukhovets, B. (2019). Osoblyvosti statodynamichnoi stiikosti tila himnastiv vysokoi kvalifikatsii. [Peculiarities of statodynamic stability of the body of highly qualified gymnasts]. *Molodizhnyi naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky*. Vol. 36. P. 124-130.