

## Біомеханічний аналіз регуляції просторової організації тіла гімнастів

*Буховець Б. О.<sup>1</sup>, Погорелова О. О.<sup>2</sup>, Литвиненко Ю. В.<sup>3</sup>,  
Прокоф'єва Л. А.<sup>4</sup>, Дишель Г. О.<sup>5</sup>*

Опубліковано	Секція	УДК
28.02.2025	Освіта/Педагогіка	37.037

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15163836>

**Анотація.** У представленому науковому дослідженні відображено результати аналізу статодинамічної стійкості тіла гімнастів високої кваліфікації за положенням його регуляції під час виконання трьох різних рухових тестів (проба «стійка на руках – руки розташовані на відстані ширини плечей», проба Бірюк, проба Ромберга складна). Метою наукового дослідження була оцінка індивідуальних способів регуляції положень тіла гімнастів високої кваліфікації під час виконання завдань на стійкість тіла в рухових тестах. Проводячи аналіз та оцінку отриманих результатів, ми відзначаємо факт дискоординації вертикального положення тіла в більшості випробовуваних у зв'язку з неспецифічністю запропонованого випробуваного тесту – стійка на високих полупальцях.

**Ключові слова:** біомеханічний аналіз, техніка, статодинамічна стійкість, просторова організація, спортсмен, спортивно-технічне мастерство.

### **Biomechanical analysis of the regulation of spatial organization of the body of gymnasts**

**Abstract.** The presented scientific study reflects the results of the analysis of the static dynamic stability of the body of highly qualified gymnasts by the position of its regulation during the performance of three different motor tests (the test "handstand - hands are located at a distance of shoulder width", the Biryuk test, the Romberg test complex) by the initial position of the body and the methods of its regulation. The purpose of the scientific study was

<sup>1</sup> кандидат наук з фізичного виховання і спорту, викладач кафедри гімнастики та спортивних єдиноборств ДЗ Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К. Д. Ушинського ORCID ID: 0000-0003-2386-3995

<sup>2</sup> кандидат філософських наук, доцент кафедри гімнастики та спортивних єдиноборств ДЗ Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К. Д. Ушинського ORCID ID: 0000-0002-6667-162X

<sup>3</sup> доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор Національний університет фізичного виховання і спорту України ORCID ID: 0009-0001-8404-8612

<sup>4</sup> кандидат педагогічних наук, доцент кафедри спортивних ігор і менеджменту фізичної культури ORCID ID: 0000-0002-7293-0958

<sup>5</sup> старший викладач кафедри біології та охорони здоров'я ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К. Д. Ушинського» ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4850-9442>

to evaluate the individual methods of regulating the body positions of highly qualified gymnasts during the performance of tasks on body stability in motor tests.

Analyzing the results of the regulation of body posture during the performance of tasks on body stability in the toe stand (the Biryuk test), two individual methods of regulating the body position were obtained. Macrooscillations were registered in 5 MS and 1 - MSMK) and microoscillations (1 MS and 2 MSMK) of the body. Conducting the analysis and evaluation of the obtained results, we note the fact of discoordination of the vertical position of the body in the majority of the subjects due to the non-specificity of the proposed test - a stand on high half-toes. It is impossible to ignore the reserves of improving the statodynamic stability of athletes, which consist in such elements of coordination training as the development of a "school" of movements at all stages of sports training, the formation of motor skills, long-term maintenance of body balance, improvement of special physical and technical fitness, as well as increasing the vestibular stability and sensitivity of gymnasts.

The structure of COP and COM during the performance of the Biryuk test and Romberg test by the studied gymnasts of MS and MSMK is complex, characterized by indicators of large amplitude of body oscillations and significant energy expenditure. It is also necessary to point out the reserves of improving statodynamic stability, which consist in such elements of coordination training as the development of a "school" of movements at all stages of sports training, the formation of motor skills, long-term maintenance of body balance, improvement of special physical and technical fitness, as well as increasing the vestibular stability and sensitivity of athletes.

**Key words:** biomechanical analysis, technique, statodynamic stability, spatial organization, athlete, sports and technical mastery.

### Вступ

У спортивній гімнастиці важливо дотримуватись принципів виконання композицій, у тому числі статичного та динамічного характеру. Саме вони впливають на техніку виконання. Це один із ключових факторів досягнення високої спортивної майстерності. Деякі використовуються для створення різних умінь та навичок у контролі положення тіла та їх взаємовпливу у структурних компонентах при виконанні заданих рухів [1, 5].

Умови статодинамічної стійкості підвищують ефективність техніки рухів спортсменів. Можна удосконалювати опір в безопорному положенні та демонструвати дострокову рецесію положення, як у простих, так і складських елементах.

Для реалізації покращення статичної гімнастів, необхідно контролювати рівень енергії таким чином, щоб мінімізувати амплітуду навантаження та знизити енерговитрати при вихованні заданих рухів [5, 6]. Такий підхід дозволяє максимально ефективно використовувати рухову програму, що означає мінімальну необхідність налаштування та використання технічних засобів у комбінації. Часті питання стосуються важливості індивідуального стилю дотримання правил, вибору владного способу регулювання положення тіла, що безпосередньо впливає на стабільність і надійність дотримання спортивних правил при виконанні тестів на стійкість [3].

Метою даної статті - оцінка способів регуляції положень тіла гімнастів високої кваліфікації в індивідуальному порядку в процесі рухових тестах при виконанні завдань на стійкість тіла.

Завдання статті : 1. Визначити залежність статодинамічної стійкості тіла кваліфікованих гімнастів від специфіки виконуваних рухових тестів, способів регуляції вихідного положення тіла та рівня спортивної майстерності (МС і MSMK). 2. Дослідити відображення показників витрачання енергії гімнастів високої кваліфікації при виконанні завдань в рухових тестах на стійкість тіла.

Методи статті. Для виконання поставлених завдань наукового дослідження було використано наступні методи: аналіз наукової літератури; педагогічні: рухові тести – проба стійка на руках (руки розташовані на відстані ширини плечей, проба Бірюк, проба Ромберга складна, експертна оцінка; інструментальні (переміщення центру тиску стоп на опору – COP (center of pressure) і руху загального центра мас тіла – COM (center of mass) у функції часу на платформі стабілографічній платформі Kistler (Тип 2812A1-3); математична обробка даних.

Наукове дослідження було виконано з дотриманням основних наукових положень та «Правил етичних принципів проведення наукових досліджень за участю людини», що затверджені Гельсінською декларацією (1964–2013 рр.)

### Результати

Для досягнення високого рівня спортивно-технічних майстерностей гімнаст повинен контролювати правильність вихідного положення і розвивати динамічну силу [1; 7]. Подіями, що залишилися в галузі спортивної науки і практики активно розробляються і впроваджуються ефективні методики для цілеспрямованого дослідження та залучення багатьох систем спортсменів. Для таких підходів передбачені спеціальні методи, локальні програми, відеоматеріали з перевірених технічних засобів, фітнес-тренування, SportKat, степ-платформа, Body-Balance (застосування на рухомих платформах), півсфери BOSU Balance Training та інші.

За таких методик спортсмени можуть тренуватися не тільки на поверхневій м'язи тіла, а і глобальні групи м'язів, які можуть бути різноманітними. Це викликає комплексне збудження нервово-м'язової системи боргу, що є ключовим моментом у підвищенні швидкості, силової підготовки, балансу.

У дослідженні взяли участь спортсмени, які займаються спортивною гімнастикою ( $n = 9$ , із яких 3 – МСМК і 6 – МС). Зростання –  $170,0 \pm 4,0$  см; маса тіла –  $72,4 \pm 3,6$  кг; вік –  $20,4 \pm 1,7$  років. Необхідно зауважити, що технічне виконання й способи регуляції вихідних положень під час виконання рухових завдань на стійкість тіла в рівновазі оцінювали п'ять експертів із використанням відеокамери. Висновки експертів були словесними.

В ході аналізу механізму переміщення центра опору стоп в ході виконання рухових тестів у площинах:  $F_y$  (N) – сагітальній і  $F_x$  (N) – фронтальній. Оцінювалась форма й розмір поля поверхні опору, по якій переміщається COP і будує годограф стабілограми ( $Avsy$  та  $Avsx$ , mm) – показник, що об'єктивно за свідчує якість регуляції положення тіла в площинах  $F_y$  (N),  $F_x$  (N) і руху загального центра опору кінцівок на опору  $F_z$  (N); швидкість (м / с), прискорення (м / с<sup>2</sup>) COP; роботу COM (J):  $W_y$  (J) і  $W_x$  (J); час фіксації рівноваги тіла (с).

Результати стабілізаційних досліджень під час проведення тесту «стійка на руках», а також оцінки експертів підтверджують, що спортсмени можуть мати гарні форми спеціальних рухових навичок для фіксації зворотного положення тіла. Показники статодинамічної стійкості гімнастів виявляють вираженість індивідуальності, що свідчить про високий рівень спеціальної технічної підготовки та розвитку сенсомоторної координації.

Кожен детальний аналіз отриманих стабілометричних даних цих дій, які проводяться майстрами спорту, регулюється положенням рук і технічними помилками. Експерти класифікують такі недоліки, як макрокількість у плечах, ліктях. Також зафіксовано окремими руками вперед і назад, а також спостерігається загинання та розгинання пальців рук на опорах, що дозволяє використовувати гімнастичні вправи для підтримки стійкості в перевернутому положенні. Середні показники COP (N) І. Б. представлені такими даними:  $F_x$  –  $(-0,18 \pm 24,68$  N),  $F_y$  –  $0,26 \pm 6,05$  N,  $F_z$  –  $663,66 \pm 23,56$  N. Для реалізації підтримки стійкості в стійці на руках, гімнаст І. Б. застосовував

макрорухи в плечових суглобах. Середні показники COP (N) А. К. при виконанні стійки на руках мали наступні дані:  $F_x - (-0,77 \pm 5,69 \text{ N})$ ,  $F_y - 3,08 \pm 2,13 \text{ N}$ ,  $F_z - 634,40 \pm 6,61 \text{ N}$ .

Дані стабілограми гімнаста А. К. констатували високий рівень спортивної майстерності досліджуваного, яке він демонструє в процесі регуляції вихідних положень тіла під час виконання завдання – фіксувати стійку на руках 10 с. Для утримання біомеханічно стійкого вихідного положення тіла, гімнаст повинен виконувати мікрорухи в ліктьових, променевозап'ястних і плечових суглобах. Тобто в тих суглобах, що розміщені ближче до площі опори. Саме це дало змогу гімнасту А. К. реалізувати мікроколивання всього тіла для виконання спортивного завдання.

Так, середні показники витрачання енергії COM (J) відповідають І. Б. –  $W_x - (-0,55 \pm 0,26 \text{ J})$ ,  $W_y - (-0,15 \pm 0,09 \text{ J})$ ; А. К. –  $W_x - (-0,17 \pm 0,17 \text{ J})$ ,  $W_y - (-2,43 \pm 2,11 \text{ J})$ . Відповідно до отриманих даних, гімнаст І. Б., застосовував регуляцію положення тіла в процесі виконання стійки на руках із технічними помилками. Однак, він витрачав енергії менше, ніж гімнаст А. К. Останній, продемонстрував стабільність фіксації стійки на руках. Представлені показники демонструють високий рівень спортивно-технічної майстерності. Витрачання енергії гімнастом А. К. були значно вищими, ніж в гімнаста І. Б. Особливо – це відображено в сагітальній площині. Гімнаст А. К. керував регуляцією положень тіла в стійці на руках у площинах ( $F_x$  і  $F_y$ ). Витрачання енергії гімнастом І. Б. було економічним в процесі регуляції вихідного положення тіла в стійці на руках. Було продемонстровано ефект порушення техніки виконання вправи. Особливо, в фіксації стійки. Саме в ній було зареєстровано значну зміну кутів у плечових суглобах. Аналогічні результати були констатовані у двох інших гімнастів – МС.

Під час виконання рухових завдань на стійкість тіла на руках було розглянуто індивідуальні годографи, що відрізнялися формою й розміром поля опорної поверхні. Вони залежали від способу регуляції вихідних положень тіла при виконанні рухового тесту. Для МС І. Б. були констатовані об'ємні поля регуляції положення тіла з правосторонніми акцентованими корекціями ланок тіла (макроколиваннями). Вони були підтверджені мінімальними й максимальними показниками  $A_x$  vs  $A_y$  [мм]. Ці показники перебували у межах -  $25,56 \div 11,82$ . Водночас МСМК А. К. мали менше поле опорної поверхні для побудови тактики регуляції вихідного положення; стійкості зберігання в умовному центральному секторі з акцентованими лівобічними корекціями ланок тіла. Отримані в ході дослідження показники мали значення від  $1,13 \div 21,94$ .

В ході аналізу результати регуляції вихідного положення тіла під час виконання тестів на стійкість тіла гімнастів в стійці на носках (проба Бірюк), отримані два індивідуальні способи регуляції положення тіла. Макроколивання зареєстровано в 5 МС й 1 – МСМК) та мікроколивання (1 МС і 2 МСМК) тіла. При аналізі та оцінці отриманих результатів, було відзначено факт дискоординації вертикального положення тіла в більшості досліджуваних. Можливо припустити, що внаслідок зв'язку з неспецифічністю запропонованого тесту «стійка на високих полупальцях». Це відображено в значних відмінностях між мінімальними й максимальними показниками COP (N) експериментальних даних у досліджувальних. У гімнаста І. Б. було констатовано наступні показники:  $F_x - (-68,56 \text{ N}) \div 42,41 \text{ N}$ ,  $F_y - (-65,89) \div 79,34 \text{ N}$ ,  $F_z - 558,74 \div 856,37 \text{ N}$ ; середні значення:  $F_x - (-1,64 \pm 14,11 \text{ N})$ ,  $F_y - 7,86 \pm 20,18 \text{ N}$ . У гімнаста А. К. отримано такі дані:  $F_x - (-20,72 \text{ N}) \div 12,05 \text{ N}$ ,  $F_y - (-16,44) \div 28,65 \text{ N}$ ,  $F_z - 550,13 \div 756,53 \text{ N}$ ; середні значення:  $F_x - (-3,00 \pm 4,47 \text{ N})$ ,  $F_y - 3,49 \pm 6,36 \text{ N}$ .

В МС І. Б. під час виконання тестування середні значення витрачання енергії COM (J) в процесі регуляції положення тіла були рівні:  $W_x - (-3,04 \pm 2,62 \text{ J})$ ,  $W_y - (-61,54 \pm 55,90 \text{ J})$ . Водночас – у А. К., вони становили:  $W_x - (-8,98 \pm 7,91 \text{ J})$ ,  $W_y - (-14,93 \pm 12,46 \text{ J})$ .

Гімнаст І. Б. під час виконання проби Бірюк знадобилося докласти багато зусиль, витратити багато енергії для збереження рівноваги. Це обумовлено тим, що

досліджувальний зменшив площу опору, так як був на високих пальцях стоп. Саме це спонукало гімнаста до порушення координації.

Випробуваний А. К під час виконання даної проби реалізовував регуляцію вихідного положення тіла у двох площинах одночасно (сагітальній і фронтальній). Він застосовував спосіб мікроколивань у гомілковостопних та тазостегнових суглобах. Витрачання енергії в даному випадку було в три-п'ять разів менше, ніж у більшості досліджуваних гімнастів.

Схожі результати досліджень (проби Бірюк) були констатовані під час виконання проби Ромберга. Вертикальне положення тіла досліджувального, розташовані в лінію стопи за представленою схемою: фіксація рівноваги з відкритими (10 с), «п'ята-носок», фіксація рівноваги з закритими очима (10 с). Вони викликають значні коливання тіла у фронтальній площині, тому досліджувальні витрачають велику кількість енергії.

### Висновки

У представленому науковому дослідженні були констатовані результати аналізу статодинамічної стійкості гімнастів високої кваліфікації в виконанні трьох різних тестів за положенням тіла та способами його регуляції. Представлені тести об'єднували показники, що засвідчували рівень формування збереження стійкості тіла та рівень фізичної підготовленості досліджуваних, на основі вище викладеного формується стратегія та тактика статодинамічної стійкості.

У результаті проведеного наукового дослідження регуляції положення тіла гімнастів, у рухових тестах під час виконання завдань на стійкість, були встановлені індивідуальні способи макроколивань і мікроколивань ланок тіла у сагітальній та фронтальній площинах; відмічено симетрію та асиметрію рухів, а також відмінні показники витрати енергії.

Якість регуляції положення під час виконання рухових тестів було детерміновано умовами опори, положенням тіла, обмеженою зоровою орієнтацією, різними рівнями індивідуальних спортивно-технічних майстерностей гімнастів. У тесті «стійка на руках» гімнасти демонстрували вже добре сформовану навичку збереження рівноваги в перевернутому вихідному положенні тіла.

Частина досліджуваних здійснювала регулювання положенням тіла мікроколиваннями в плечових і тазостегнових суглобах. Була стабільною рівновага тіла гімнастів під час виконання даного тесту. Показники СОР у сагітальній площині становили  $0,26 \div 4,75$  N, у фронтальній площині вони були на рівні  $8,64 \div 0,8$  N. Це свідчить про високий рівень сенсомоторної координації, що підтверджують показники економного витрачання енергії:  $COM W_y = 0,15 \div 2,43$  J,  $COM W_x = 0,17 \div 2,12$  J.

Структура СОР і COM під час виконання гімнастами проби Бірюка та проби Ромберга була складною та характеризувалася значним витрачанням енергії та великою амплітудою коливань тіла. Необхідно представити і резерви вдосконалення статодинамічної стійкості. Вони полягають у наступних елементах координаційного тренування: розвитку «школи» рухів на всіх етапах спортивно-підготовки, удосконалення рухової навички, утриманню рівноваги, удосконалення спеціальної фізичної й технічної підготовки, покращенню вестибулярної стійкості та чутливості у досліджуваних.

### Список використаних джерел

1. Безкопильна С. В., Мінаєв Б. П., Безкопильний О. О., Каленіченко О. В., Гречуха С. В. Вікові особливості статокінетичної стійкості у спортсменів та не спортсменів. Вісник Черкаського університету. Серія: Біол. науки. 2023. № 1. С. 11–22. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34>

2. Іванова Г. Є., Скворцов Д. В., Клімов Л. В. Оцінка постуральної функції у клінічній практиці. Вісник відновлювальної медицини. 2014. № 1. С. 19—25.
3. Лизогуб В. С., Салівончик І. І., Коваль Ю. В., Дудник І. О. Формування статокінетичної стійкості в онтогенезі. Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки. 2023. № 2. С. 11–22 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-64-77>
4. Da Costa Monsanto R., Kasemodel A., Tomaz A., Paparella M. M., Penido N. O. Current evidence of peripheral vestibular symptoms secondary to otitis media. *Annals of medicine*. 2018. Vol. 50 (5). P. 391– 401. <https://doi.org/10.1080/07853890.2018.1470665>
5. Cohen H. S., Mulavara A. P., Stitz J., Sangi-Haghpeykar H., Williams S. P., Peters B. T., Bloomberg J. J. Screening for vestibular disorders using the modified clinical test of sensory interaction and balance and tandem walking with eyes closed. *Otol neurotol*. 2019. № 40(5). P. 658–665. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002173>
6. Sliva S. S. Domestic computer stabilography: engineering standards, functional capabilities, and fields of application. *Biomed Eng*. 2005. Vol. 39(1). P. 31-4. <https://doi.org/10.1007/s10527-005-0037-8>
7. Sologubov E. G., Yavorskii A. B., Kobrin V. I., Nemkova S. A., Sinel'nikova A. N. Use of Computer Stabilography and computer- assisted biomechanical examination of gait for diagnosis of posture and movement disorders in patients with various forms of infantile cerebral paralysis. *Biomed Eng*. 2000. Vol. 34(3): 138-43. <https://doi.org/10.1007/BF02389845>
8. Halmágyi G. M., Curthoys I. S. Vestibular contributions to the Romberg test: Testing semicircular canal and otolith function. *European journal of neurology*. 2021. Vol. 28 (9). P.3211–3219. <https://doi.org/10.1111/ene.14942>
9. Hrysonmallis C., McLaughlin P., Goodman C. Relationship between statics and dynamic balance test among elite Australian footballers. *J. Sci Med. Sport*. 2006. № 9(4). P. 288–291.
10. Hrysonmallis C. Relationship between Balance Ability, Training and Sports Injury Risk. *Sports Med*. 2007. 37 (6). P. 547–556