



## ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ

<https://doi.org/10.15802/2071-1476-2026-1-17>

УДК 796.412.2.012.45(045)

### БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІКИ ВИКОНАННЯ ЗМАГАЛЬНИХ ВПРАВ У ГІМНАСТИЦІ ХУДОЖНІЙ НА ПРИКЛАДІ РІВНОВАГИ «ПАНШЕ»

Смирнова О.<sup>ABCD</sup>, Гамалій В.<sup>ABCD</sup>

*Національний університет фізичного виховання і спорту України*

**Смирнова Ольга Дмитрівна**

**Smirnova Olha**

Національний університет фізичного виховання і спорту України, вул. Фізкультури, 1, 03150, м. Київ, Україна  
National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Fizkultury str., 1, Kyiv, 03150, Ukraine

e-mail: [smirnova26olga26@gmail.com](mailto:smirnova26olga26@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-0173-8543>

**Гамалій Володимир Васильович**

**Gamalii Volodymyr**

Національний університет фізичного виховання і спорту України, вул. Фізкультури, 1, 03150, м. Київ, Україна  
National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Fizkultury str., 1, Kyiv, 03150, Ukraine

e-mail: [gamali@ua.fm](mailto:gamali@ua.fm)

<https://orcid.org/0000-0002-8389-0832>

Внесок авторів: А – дизайн дослідження; В – збір даних; С – статистичний аналіз; D – підготовка рукопису; E – збір коштів.

Authors' Contributions: A – research design; B – data collection; C – statistical analysis; D – manuscript preparation; E – funding acquisition.

#### Анотація

**Мета дослідження** – визначити біомеханічні характеристики техніки виконання рівноваги «панше» гімнастками на етапі попередньої базової підготовки. **Матеріал і методи.** У дослідженні взяли участь 28 гімнасток віком 8-12 років, які перебувають на етапі попередньої базової підготовки. Для аналізу техніки виконання елемента застосовували оптико-електронну систему реєстрації рухів «Qualisys» та тензоплатформу «Kistler». Визначали тривалість ключової фази елемента, амплітуду, частоту і середню швидкість коливань загального центру тиску у сагітальній та фронтальній площинах, а також кутові характеристики (кут шпагату та кут нахилу тулуба). Статистичну обробку даних здійснювали з використанням показників описової статистики. **Результати.** Встановлено, що середня тривалість фази «стійка на напівпальці» відповідає вимогам правил змагань, однак характеризується значною варіативністю. Виявлено відмінності у структурі коливань центру тиску між домінантною та недомінантною ногою: для правої ноги характерні більші сагітальні амплітудні, частотні та швидкісні коливання, тоді як при опорі на ліву ногу підвищені амплітудні та швидкісні показники спостерігаються у фронтальній площині, а в сагітальній – коливання мають більш частотний характер. Кут шпагату на праву ногу перебуває на гранично допустимих значеннях, а на ліву – нижче нормативних вимог, що унеможливує зарахування елемента без пенальті. **Висновки.** Отримані біомеханічні показники свідчать про наявність функціональної асиметрії постурального контролю у гімнасток і дозволяють об'єктивізувати оцінку техніки виконання рівноваги «панше». Застосування біомеханічного



аналізу створює підґрунтя для цілеспрямованої корекції тренувального процесу та підвищення якості виконання змагальних елементів.

**Ключові слова:** гімнастика художня, технічна підготовка, техніка фізичної вправи, біомеханічний аналіз, рівновага «панше», постуральний баланс, центр тиску.

## BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE TECHNIQUE OF PERFORMING COMPETITIVE EXERCISES IN RHYTHMIC GYMNASTICS USING THE EXAMPLE OF THE «PANCHE» BALANCE

### Annotation

**Purpose of the study:** to determine the biomechanical parameters of the technique of performing the «penché» balance by gymnasts at the stage of preliminary basic training. **Materials and methods.** The study involved 28 gymnasts aged 8–12 years at the stage of preliminary basic training. To analyze the technique of performing the element, an optoelectronic motion capture system «Qualisys» and a force platform «Kistler» were used. The duration of the key phase of the element, amplitude, frequency, and mean velocity of center of pressure (COP) oscillations in the sagittal and frontal planes, as well as angular characteristics (split angle and trunk inclination angle), were measured. Statistical analysis was performed using descriptive statistics. **Results.** It was found that the mean duration of the «relevé stand» phase meets the competition requirements but demonstrates considerable variability. Functional differences in COP oscillation patterns between the dominant and non-dominant leg were identified: for the right leg, larger sagittal amplitude, frequency, and velocity of oscillations were observed, whereas when supporting on the left leg, increased amplitude and velocity were seen in the frontal plane, while sagittal oscillations showed a higher frequency. The split angle on the right leg was at the upper limit of acceptable values, while on the left leg it was below the normative requirement, making the element unacceptable for scoring without penalties. **Conclusions.** The obtained biomechanical parameters indicate the presence of functional asymmetry in postural control among the gymnasts and allow for an objective assessment of the technique of performing the «penché» balance. The application of biomechanical analysis provides a basis for targeted correction of the training process and improvement of the quality of competitive performance.

**Keywords:** artistic gymnastics, technical training, exercise technique, biomechanical analysis, «penché» balance, postural stability, center of pressure.

**Вступ.** Дослідження в галузі біомеханіки спорту охоплюють детальний аналіз спортивних дій і мають на меті вдосконалення спортивних результатів та мінімізацію ризиків травматизму. Біомеханічний аналіз фізичних вправ у спорті є надійним засобом для отримання об'єктивної інформації про особливості техніки виконання змагальних вправ і дієвою складовою раціоналізації процесу спортивного вдосконалення гімнасток. Для досягнення зазначених цілей можуть використовуватись різні дослідницькі підходи [1].

На сучасному етапі розвитку гімнастики художньої основним методом аналізу спортивних рухів для вдосконалення змагальних вправ залишаються педагогічні спостереження. Педагогічні спостереження відбуваються у твор-

чому процесі взаємодії тренера та спортсмена. Вони вузько спеціалізуються з урахуванням багатьох індивідуальних особливостей учасників процесу. При такому підході необхідний великий обсяг спостережень для узагальнення висновків, які можна використувувати. Педагогічні спостереження є суб'єктивними. Вони не дозволяють відповісти на багато питань удосконалення майстерності виконання фізичних вправ, які виконуються з великою швидкістю, що обумовлює застосування інструментальних методів реєстрації та подальшого біомеханічного аналізу рухів [2].

Незважаючи на широку популярність гімнастики, існує обмежена кількість досліджень, що вивчають біомеханіку її різноманітних вправ і взаємозв'язок між технікою рухів і спортивними

результатами. За останні п'ять років спостерігається збільшення інтересу науковців до заданої тематики в художній гімнастиці та подібних видах спорту зі схожою структурою рухів, але дослідження зосереджені на окремих біомеханічних характеристиках тіла спортсмена або його рухових дій і не можуть бути представлені у вигляді певної структури, де б розглядалися усі основні напрямки і показники. Частина науковців зосереджена на аналізі сенсомоторної координації та статодинамічної стійкості гімнастів з метою оцінки індивідуальних способів регуляції положень тіла спортсменів під час виконання рухових тестів і виявлення наявності у спортсменів рухових і технічних можливостей для успішного розвитку та вдосконалення рівноваги [3,4,5]. Деякі дослідники

вивчають біомеханічні властивості ланок тіла гімнасток, зокрема стопи, – для підвищення здоров'я формуючої спрямованості художньої гімнастики [6]. Також є роботи, в яких представлена важливість урахування біомеханічних характеристик елементів техніки для вдосконалення підготовки спортсменок і попередження травматизму [7,8,9]. Виявлено роботи закордонних авторів, які займаються біомеханічним аналізом саме технічних дій в акробатиці та спортивній гімнастиці та деяких аспектів у художній гімнастиці [10,11].

Біомеханічні технології надають можливість фахівцям реалізовувати аналіз закономірностей тренувального процесу в контексті сучасного розвитку спорту для прогнозування його майбутніх тенденцій та перспектив. Високі біомеханічні вимоги до виконання змагальних вправ у гімнастиці художній актуалізують необхідність глибшого розуміння техніки рухів для керування тренувальним процесом та зниження ризику травм.

**Гіпотеза:** визначення та аналіз біомеханічних показників рівноваги «панше» дозволяє комплексно оцінити техніку виконання цього елемента в гімнастиці художній, визначити ключові характеристики рухів, що потребують корекції, та створити на основі цих даних обґрунтовану авторську програму оптимізації тренувального процесу, зокрема технічної підготовки спортсменок.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано за темою Плану НДР НУФВСУ на 2021 – 2025 роки «Удосконалення технічної майстерності спортсменів на різних етапах багаторічної підготовки з використанням сучасних біомеханічних технологій» (номер державної реєстрації 0121U108112).

**Мета дослідження.** Визначити біомеханічні характеристики техніки виконання рівноваги

«панше» гімнастками на етапі попередньої базової підготовки.

**Матеріал і методи.** В дослідженні взяли участь 28 гімнасток віком 8-12 років, які займаються на етапі попередньої базової підготовки в ГО «СК Олімпійські Діти». Дослідження проведене відповідно до основних біоетичних норм Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення науково-медичних досліджень за участю людини (1994-2000, з поправками 2008), Універсальної декларації з біоетики та прав людини (1997), Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини (від 04.04.1997). Дослідження проводилося за письмовою інформованою згодою батьків кожного учасника дослідження.

Методи теоретичного рівня пізнання (аналіз, синтез, узагальнення) були застосовані для визначення актуальності теми та вивчення існуючих досліджень і концепцій, пов'язаних з використанням біомеханічного аналізу у практиці спорту.

Для аналізу та кількісного опису рухової діяльності гімнасток визначали кінематичні та динамічні характеристики техніки виконання фізичних вправ з подальшим їх біомеханічним аналізом. В нашому дослідженні ми використовували оптико-електронну систему реєстрації та аналізу рухів спортсмена «Qualisys» та тензоплатформу «Kistler», які забезпечували отримання характеристик пози і надавали інформацію про динаміку переміщення загальної точки тиску на опору в сагітальній і фронтальній площинах.

Усі отримані в процесі дослідження дані було оброблено за допомогою пакетів статистичних програм «Statistika 7.0» та EXCELL, з розрахунком наступних показників: середнє арифметичне ( $\bar{x}$ ), середнє квадратичне відхилення ( $\delta$ ); коефіцієнт варіації ( $v$ ).

**Результати.** Художня гімнастика – це вид спорту з арсена-

лом рухів, які не реалізуються у повсякденному житті. Спортивно-педагогічна система підготовки гімнасток високої майстерності неможлива без формування технічно раціональних рухових дій. Один із можливих шляхів удосконалення техніки – оптимізація рухів на основі використання біомеханічних особливостей побудови рухових дій і проведення біомеханічного аналізу зокрема [2].

Рівновага є складною руховою дією (навіть для збереження звичного вертикального положення та правильної постави задіюється понад 300 м'язів одночасно). Успішність виконання елементів, об'єднаних у групу «рівноваги», залежить від багатьох факторів, таких як: здатність до раціонального розташування ланок тіла; до мінімізації кількості ступенів свободи; до дозування та перерозподілу м'язових зусиль. Важливим чинником є рівень просторової орієнтації виконавця. Дія всіх цих чинників спрямована, зрештою, на виконання умови рівноваги [12].

На тіло гімнастки діють сила тяжіння та довольним чином розподілене навантаження – реакція опори. Відповідно до умов рівноваги довольної системи сил, вектори рівнодіючої реакції опори та сили тяжіння повинні бути розташовані на одній прямій. Стійкість такого стану (утримання пози) визначається правильним положенням (і збереженням такого положення) загального центру тяжіння гімнастки, а також можливістю керування м'язами стопи для перерозподілу тиску на поверхню опори, і, отже, її реакції на тіло виконавця [13].

Для визначення біомеханічних показників рівноваги ми взяли один з найбільш використовуваних елементів техніки із групи «Рівноваг» – рівновага «панше». Виконання елемента рівновага «панше» складається з 5 фаз: 1 – підготовки, 2 – утримання форми на повній стопі, 3 – підйом на напівпалець, 4 – стійка на напівпальці, 5 – повернення у вихідне

положення. Для визначення та аналізу показників найвагомішою є фаза 4 – стійка на напівпальці, оскільки саме під час цієї фази судді на змаганнях визначають можливість зарахування гімнастці виконання даного елемента.

Для опису та аналізу рівноваги «панше» були визначені наступні показники: тривалість ключової фази, амплітуда коливань, частота коливань та кутові характеристики. Всі показники представлені у табл 1.

Середнє значення тривалості четвертої фази, при якій фіксується необхідна форма елемента:  $1 \pm 0,6$  секунди на праву ногу та  $0,9 \pm 0,55$  – на ліву ногу. За правилами змагань судді зараховують статичну рівновагу, якщо необхідна форма елемента фіксується впродовж 1 секунди. Таким чином, середнє значення цього показника в групі гімнасток відповідає вимогам, які регламентовані правилами змагань до виконання даного елемента.

Характер взаємодії з опорою, зокрема – переміщення загального центру тиску (ЗЦТ) тіла на опорі (координати в різні моменти часу), що відображають особливості статодинамічної стійкості спортсмена, реєструвалися на тензоплатформі «Kistler», яка синхронізована з відеосистемою Qualisys.

Отримані дані дозволяють визначити амплітуду коливань гімнасток у сагітальній площині (вперед-назад) –  $39,1 \pm 22,2$  мм та фронтальній площині (вправо-вліво) –  $28,8 \pm 11,1$  мм при виконанні елемента на праву ногу. Таким чином, амплітуду коливань у сагітальній площині перевищує амплітуду коливань у фронтальній площині. При цьому на лівій нозі спостерігається протилежна ситуація: амплітуду коливань у фронтальній площині ( $37,1 \pm 10,2$ ) мм перевищує амплітуду коливань у сагітальній ( $31,3 \pm 23,8$  мм).

ЗЦТ тіла на опорі дозволяє також визначити частоту коливань спортсменок. При виконанні

гімнастками елемента на праву ногу маємо наступний результат: частота коливань у сагітальній площині  $26,3 \pm 1,4$  Гц перевищує частоту коливань у фронтальній площині  $21 \pm 3,4$  Гц. Таку ж ситуацію спостерігаємо і з лівою ногою: показник частоти коливань у сагітальній площині  $29,8 \pm 4,5$  перевищує показник у фронтальній площині  $23,4 \pm 3,2$ . Отже, у сагітальній площині гімнастки мають більше можливостей повернення у стійкий стан і відповідно кращий показник стійкості у цій площині.

Середній показник кута шпагату на праву ногу –  $142,6^\circ \pm 4,1^\circ$ , при цьому елемент зараховується суддями, якщо кут шпагату буде  $180^\circ$  (допускається відхилення до 20%). Відхилення середнього показника групи від норми – 20,7%, елемент буде зараховано, але судді бригади виконання виходять пенальті. На ліву ногу середній показник кута шпагату –  $132,89 \pm 5,24$ , відхилення складає 26,2%. Виконання елемента

Таблиця 1

#### Біомеханічні характеристики техніки виконання рівноваги «панше» на початку дослідження

Показник	Права нога $\bar{x} \pm s$	v	Ліва нога $\bar{x} \pm s$	v
Тривалість фази «стійка на напівпальці», с	$1 \pm 0,6$	64%	$0,9 \pm 0,5$	61%
Амплітуда коливань по X, мм	$28,8 \pm 11,1$	38%	$37,1 \pm 10,2$	27%
Амплітуда коливань по Y, мм	$39,1 \pm 22,2$	57%	$31,3 \pm 23,8$	76%
Частота коливань по X, Гц	$21 \pm 3,4$	16%	$23,4 \pm 3,2$	14%
Частота коливань по Y, Гц	$26,3 \pm 1,4$	5%	$29,8 \pm 4,5$	15%
Середня швидкість ЦТ по X, мм/с	$36 \pm 15,6$	43%	$62 \pm 49,3$	79%
Середня швидкість ЦТ по Y, мм/с	$51,5 \pm 37,1$	72%	$36,9 \pm 15,4$	42%
Кут шпагату, град	$142,6 \pm 4,1$	3%	$132,9 \pm 5,2$	4%
Кут нахилу тулуба, град	$109,8 \pm 11$	1%	$111,4 \pm 14,5$	13%

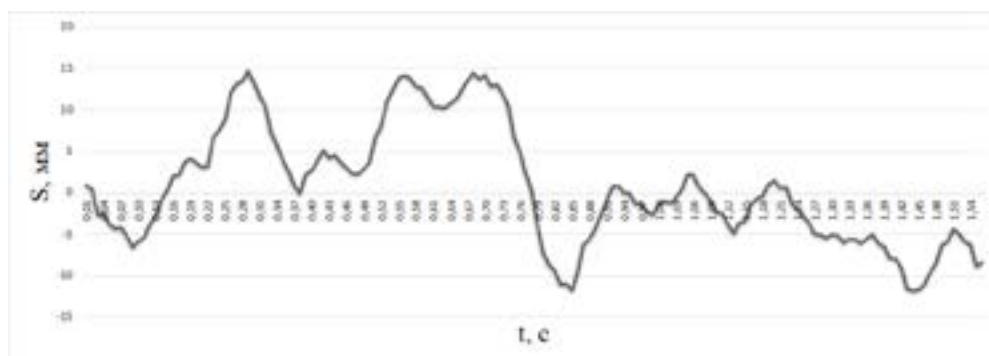


Рис. 1 – Коливання ЗЦТ гімнастки на опорі у фронтальній площині

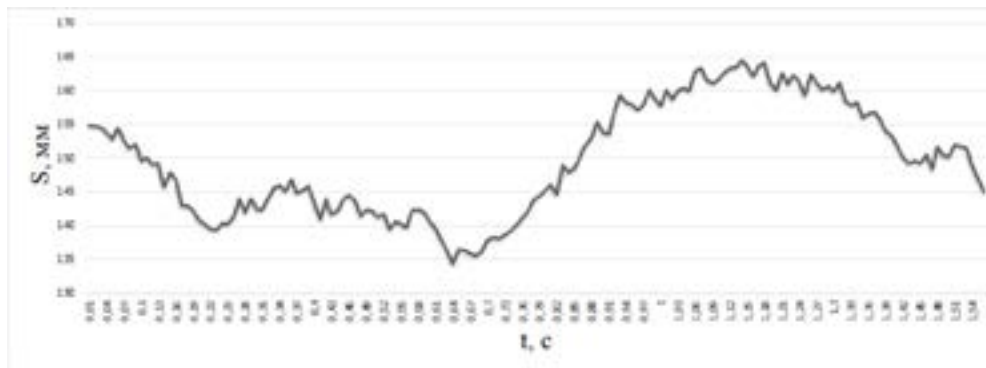


Рис. 2 – Коливання ЦТ гімнастки на опорі у сагітальній площині

з таким відхиленням перевищує допустиму норму і не буде зараховано суддями.

Середній показник нахилу тулуба вперед при рівновазі на правій нозі має значення  $109,8 \pm 11^\circ$ , на ліву ногу –  $111,37 \pm 14,52$ , що допускається при виконанні рівноваги «панше». Тому при оцінці відповідного елемента суддями, значення показника нахилу тулуба вперед дозволить зарахувати елемент.

**Дискусія.** Отримані дані засвідчують, що середній показник тривалості фази «стійка на напівпальці» для досліджуваної групи гімнасток відповідає нормі, але має значне стандартне відхилення, що означає неоднорідність групи за цим показником і недостатній рівень виконання елемента у деяких спортсменок для зарахування його суддями. Подібні великі стандартні відхилення відмічені і в дослідженні [14,15]. За результатами констатуючого експеримента у показниках вестибулярної стійкості гімнасток 8-10 років у процесі виконання рівноваги на стабілоплатформі коефіцієнт варіації складає від 20% до 93%. Це свідчить про те, що на однорідність групи в такому віці впливають фізіологічні задатки, стаж занять (діти приходять у групи початкової підготовки з 3 до 6 років), психологічна готовність до певних навантажень. Після проведення експерименту і відповідного спеціально направлено тренерського втручання у розвиток певних навичок та якостей по-

казники стандартного відхилення та коефіцієнту варіації мають бути наближені до норми. Це буде свідчити про якість розробок і ефективність програм підготовки спортсменок.

Амплітуда та частота коливань впливають на складову оцінки виконання гімнастики, оскільки суддівська бригада за помітні коливання тіла гімнастки при виконанні даного елемента ставить пенальті. Прямих стабілометричних досліджень саме рівноваги панше у художній гімнастиці в опублікованій літературі наразі не знайдено. Аналізуючи наявні наукові роботи щодо біомеханіки руху у подібних елементах і стабілометричні показники стійкості спортсменів за руховими тестами у гімнастиці та акробатиці, можна відмітити деякі спільні закономірності, зокрема: з ростом спортивної майстерності спостерігається зменшення амплітуди коливань і збільшення їх частоти.

Нахил тулуба і відведення ноги назад у рівновазі «панше» викликає зміщення центра мас в сагітальній площині і відповідно домінують коливання вперед-назад, що підтверджують дослідження, в яких розглядаються подібні односторонні стійки [16,17,18]. В нашому дослідженні виявлено аналогічну тенденцію у показниках амплітуди, частоти та швидкості ЦТ при виконанні рівноваги на праву ногу. Часові реалізації коливань у сагітальній площині демонструють поєднання відносно великих хвилеподібних зміщень

із високою частотою корекцій, що свідчить про активний контроль положення тіла у напрямку «вперед-назад».

Цікаво, що попри значне зміщення центра мас у сагітальній площині у рівновазі «панше» при опорі на ліву ногу, більші амплітудні та швидкісні коливання центра тиску спостерігаються у фронтальній площині, що зумовлено обмеженою медіолатеральною стабільністю односторонньої опори. Натомість, у сагітальній площині коливання ЦТ характеризуються меншою амплітудою та швидкістю, але вищою частотою, що відображає переважання дрібних і частих корекцій постурального контролю.

Виявлена різноспрямована структура показників ЦТ при опорі на праву та ліву ногу може свідчити про функціональну асиметрію постуральних стратегій. Для правої ноги характерні більші сагітальні амплітудні, частотні та швидкісні коливання, тоді як при опорі на ліву ногу підвищені амплітудні та швидкісні показники спостерігаються у фронтальній площині, а сагітальні коливання мають більш частотний характер. Це може відображати різну роль домінантної та недомінантної кінцівок у забезпеченні стабільності в складних односторонніх балансних положеннях. Отримані дані підтверджують наявність асиметрії постурального контролю у гімнасток при опорі на праву або ліву ногу під час виконання рівноваги «панше».

Частотні параметри коливань центру тиску відображають стратегії постурального контролю, за допомогою їх організм забезпечує підтримання рівноваги. Коливання центру тиску з переважанням низьких частот асоціюються з гомілково-ступневою стратегією регуляції балансу, тоді як збільшення частотного спектра свідчить про залучення проксимальних сегментів – тазу та тулуба. Зазначена стратегія характерна для складних односторонніх балансних положень зі значним зміщенням центру мас, зокрема для рівноваги «панше», що підтверджується даними нашого дослідження та даними біомеханічних і стабілометричних досліджень постурального контролю інших науковців [18,19,20].

Кутові показники рівноваги «панше» відображають зовнішню складову елементу і визначають відповідність його форми прописаним у правилах нормам виконання. Кут шпагату у даної групи гімнасток знаходиться на граничних значеннях на праву ногу і нижче норми – на ліву, тому потребує відповідних педагогічних впливів для покращення показників.

#### Висновки.

1. Середня тривалість фази «стійка на напівпальці» при вико-

нанні рівноваги «панше» у гімнасток 8–12 років відповідає вимогам правил змагань, проте значні значення стандартного відхилення вказують на неоднорідність рівня технічної підготовленості спортсменок.

2. Аналіз стабілометричних показників виявив відмінності у характері постурального контролю між домінантною та недомінантною кінцівками: при опорі на праву ногу домінують амплітудні, частотні та швидкісні показники коливання центру тиску у сагітальній площині; при опорі на ліву ногу спостерігається домінування у фронтальній площині у показниках амплітуди та швидкості, тоді як у сагітальній площині переважають більш часті корекційні рухи.
3. Виявлена різноспрямована структура амплітудних, швидкісних і частотних характеристик центру тиску свідчить про наявність функціональної асиметрії постуральних стратегій у гімнасток під час виконання складних односторонніх рівноваг.
4. Частотні параметри коливань центру тиску підтверджують використання комбінованих стратегій постурального

контролю з активним залученням як гомілково-ступневого суглоба, так і проксимальних сегментів тіла, що є характерним для рівноваг зі значним зміщенням центру мас.

5. Кутові характеристики елементу «панше» показали, що кут шпагату на праву ногу перебуває на межі допустимих значень, а на ліву ногу – не відповідає нормативним вимогам, що зумовлює необхідність цілеспрямованого педагогічного впливу для вдосконалення техніки виконання.
6. Застосування оптикоелектронних і стабілометричних методів біомеханічного аналізу дозволяє об'єктивно оцінити техніку виконання рівноваг у художній гімнастиці та може бути ефективним інструментом для оптимізації тренувального процесу й зниження ризику технічних помилок і травматизму.

**Перспективи подальших досліджень** будуть спрямовані на розробку біомеханічних моделей та тренувальних програм підготовки юних спортсменок у гімнастиці художній.

**Конфлікти інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту.

#### Література

1. Буховець БО, Погорелова ОО, Литвиненко ЮВ, Прокоф'єва ЛА, Дишель ГО. Біомеханічний аналіз регуляції просторової організації тіла гімнастів. *Академічні візії*. 2025;40:1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1516383>.
2. Гамалій В. Біомеханічні аспекти раціоналізації процесу навчання рухів у процесі технічної підготовки спортсменів. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2020;2:36–41. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2020.2.36-41>.
3. Kovalenko Y, Boloban V, Goncharenko I, Borysova O, Matviieiev S, Kohut I, Marynych V. Biomechanical assessment of statnamic stability of rhythmic gymnasts at the stage of specialized basic training. *J Phys Educ Sport*. 2020;20(Suppl 1):1077. <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.s1077>.
4. Болобан В, Потоп В, Нижниковски Л. Біомеханічний аналіз техніки гімнастичних вправ із

#### References

1. Bukhovets BO, Pohorelova OO, Lytvynenko YV, Prokofieva LA, Dyshel HO. Biomechanichnyi analiz rehuliatsii prostоровoi orhanizatsii tila himnastiv. *Akademichni vizii*. 2025;40:1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1516383>.
2. Hamalii V. Biomekhanichni aspekty ratsionalizatsii protsesu navchannia rukhiv u protsesi tekhnichnoi pidhotovky sportsmeniv. *Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu*. 2020;2:36–41. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2020.2.36-41>.
3. Kovalenko Y, Boloban V, Honcharenko I, Borysova O, Matviieiev S, Kohut I, Marynych V. Biomechanical assessment of statnamic stability of rhythmic gymnasts at the stage of specialized basic training. *J Phys Educ Sport*. 2020;20(Suppl 1):1077. <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.s1077>.
4. Boloban V, Potop V, Nizhnyklvski L. Biomekhanichniy analiz tekhniky himnastychnykh vprav iz

- застосуванням методу позних орієнтирів. У: Сучасні біомеханічні та інформаційні технології у фізичному вихованні і спорті: Матеріали V Всеукраїнської електронної конференції (Київ, 18 травня 2017 р.) / ред. Гамалій В.В., Кашуба В.О., Шинкарук О.А. Київ: Національний університет фізичного виховання і спорту України; 2017. С.
- Mangalam M, Seleznov I, Kolosova E, Popov A, Kely-Stephen DG, Kiyono K. Postural control in gymnasts: anisotropic fractal scaling reveals proprioceptive reintegration in vestibular perturbation. *Front Netw Physiol.* 2024;4:1393171. <https://doi.org/10.3389/fnetp.2024.1393171>.
  - Васильєва МП. Біомеханічні властивості стопи спортсменок у художній гімнастиці на етапі початкової підготовки [магістерська робота]. Київ: Національний університет фізичного виховання і спорту України; 2021.
  - Маркова ОВ, Виноградова ЛС. Біомеханічна характеристика елементів техніки спортивних вправ у художній гімнастиці. *Фізичне виховання і спорт в навчальних закладах України на сучасному етапі: стан, напрямки та перспективи розвитку: зб. наук. праць XXIV Всеукраїнської науково-практичної конференції Центральноукраїнського держ. пед. ун-ту ім. В. Винниченка*. Кропивницький; Харків: ФОП Озеров ГВ; 2018. С. 261–265.
  - Гамалій ВВ, Смірнова ОО. Біомеханічний аналіз травмонебезпечних елементів техніки змагальних вправ у художній гімнастиці. У: *Сучасні підходи і технології вдосконалення спортивно-технічної та тактичної майстерності: матеріали наукової конференції*; 2023. Кропивницький: Міністерство освіти і науки України. С. 13–15.
  - Aleksić Veljković AZ, Marković AS, Vukadinović Jurišić MD, Obradović JM, Katanić BD. Age-related differences in postural stability and asymmetries among female rhythmic gymnasts: implications for injury prevention and performance enhancement. *J Sports Med Phys Fitness.* 2025;65(4):546–553. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.24.16136-1>.
  - Leite I. Biomechanical insights into the interaction between acrobatic gymnasts performing partner-assisted flight [doctoral thesis]. Porto: Faculty of Sport, University of Porto; 2025.
  - Liu T, Wang L, Gao L, Sun Y. Kinematic analysis of free vertical split with 720° turn in elite Chinese rhythmic gymnastics. *Sensors.* 2025;25(9):2667. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.24.16136-1>.
  - Rutkowska-Kucharska A, Szpala A, Jaroszczuk S, Sobera M. Muscle coactivation during stability exercises in rhythmic gymnastics: a two-case study. *Appl Bionics Biomech.* 2018;2018:8260402. <https://doi.org/10.1155/2018/8260402>.
  - Bueno JWF, Coelho DB, Teixeira LA. Evaluation of voluntary dynamic balance through standardized
  - zastosuванням методу позних орієнтирів. In: *Suchasni biomekhanichni ta informatsiini tehnologii u fizychnomu vykhovanni i sporti: Materialy V Vseukrainskoi elektronnoi konferentsii* (Kyiv, 18 travnia 2017 r.) / red. Hamalii VV, Kashuba VO, Shynkaruk OA. Kyiv: Natsionalnyi universytet fizychnoho vykhovannia i sportu Ukrainy; 2017. p. S.
  - Mangalam M, Seleznov I, Kolosova E, Popov A, Kely-Stephen DG, Kiyono K. Postural control in gymnasts: anisotropic fractal scaling reveals proprioceptive reintegration in vestibular perturbation. *Front Netw Physiol.* 2024;4:1393171. <https://doi.org/10.3389/fnetp.2024.1393171>.
  - Vasyliieva MP. Biomekhanichni vlastyvoli stopy sportsmenok u khudozhnii himnastytsi na etapi pochatkovoii pidhotovky [magisterska robota]. Kyiv: Natsionalnyi universytet fizychnoho vykhovannia i sportu Ukrainy; 2021.
  - Markova OV, Vynohradova LS. Biomekhanichna kharakterystyka elementiv tekhniky sportyvnykh vprav u khudozhnii himnastytsi. *Fizychno vykhovannia i sport v navchalnykh zakladakh Ukrainy na suchasnomu etapi: stan, napriamky ta perspektyvy rozvytku: zb. nauk. prats XXIV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii Tsentralno-ukrainskoho derzh. ped. unu im. V. Vynnychenka*. Kropyvnytskyi; Kharkiv: FOP Ozerov HV; 2018. p. 261–265.
  - Hamalii VV, Smirnova OO. Biomekhanichniy analiz travmonebezpechnykh elementiv tekhniky zmahalnykh vprav u khudozhnii himnastytsi. In: *Suchasni pidkhody i tekhnologii vdoskonalennia sportovno-tekhnichnoi ta taktychnoi maisternosti: materialy naukovoii konferentsii*; 2023. Kropyvnytskyi: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. p. 13–15.
  - Aleksić Veljković AZ, Marković AS, Vukadinović Jurišić MD, Obradović JM, Katanić BD. Age-related differences in postural stability and asymmetries among female rhythmic gymnasts: implications for injury prevention and performance enhancement. *J Sports Med Phys Fitness.* 2025;65(4):546–553. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.24.16136-1>.
  - Leite I. Biomechanical insights into the interaction between acrobatic gymnasts performing partner-assisted flight [doctoral thesis]. Porto: Faculty of Sport, University of Porto; 2025.
  - Liu T, Wang L, Gao L, Sun Y. Kinematic analysis of free vertical split with 720° turn in elite Chinese rhythmic gymnastics. *Sensors.* 2025;25(9):2667. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.24.16136-1>.
  - Rutkowska-Kucharska A, Szpala A, Jaroszczuk S, Sobera M. Muscle coactivation during stability exercises in rhythmic gymnastics: a two-case study. *Appl Bionics Biomech.* 2018;2018:8260402. <https://doi.org/10.1155/2018/8260402>.
  - Bueno JWF, Coelho DB, Teixeira LA. Evaluation of voluntary dynamic balance through standardized

- squat-lift movements: a comparison between gymnasts and athletes from other sports. *Biomechanics*. 2024;4(3):439–451. <https://doi.org/10.3390/biomechanics4030030>.
14. Захарченко КВ. Формування функції рівноваги у спортсменок 8–10 років, які займаються художньою гімнастикою: кваліфікаційна робота магістра / Сумський державний університет, Навчально-науковий медичний інститут, кафедра фізичного виховання і спорту; науковий керівник Долгова НО. Суми; 2022.
  15. Čeklić U, Šarabon N, Kozinc Ž. Postural control in unipedal quiet stance in young female gymnasts and the effects of training with consideration of transient behavior of postural sway. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(2):982. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020982>.
  16. Omorczyk J, Staszkiwicz R, Wrześniewski K, Puszczalowska-Lizis E. Static balance in female artistic gymnasts and non-training girls. *Appl Sci*. 2022;12(23):12454. <https://doi.org/10.3390/app122312454>.
  17. Batsuren B-O, Khuyagbaatar B, Gombojav E, Gonchoo B, Ulziikhutag B, Tseveg A, et al. Performance evaluation of penché rotation in rhythmic gymnastics using statistical parametric mapping. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS)*. Volume 1. SciTePress; 2025. p.163–169. <https://doi.org/10.5220/0013687600003988>.
  18. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*. 1995; 3:193–214.
  19. Isableu B, Ohlmann T, Crémieux J, Amblard B. Differential approach to strategies of segmental stabilisation in postural control. *Exp Brain Res*. 2003;150(2):208–221. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1446-0>.
  20. Paillard T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;72:129–152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>.
- squat-lift movements: a comparison between gymnasts and athletes from other sports. *Biomechanics*. 2024;4(3):439–451. <https://doi.org/10.3390/biomechanics4030030>.
14. Zakharchenko KV. Formuvannia funktsii rivnovahy u sportsmenok 8–10 rokiv, yaki zaimaiutsia khudozhnoiu himnastykoiu: kvalifikatsiina robota mahistra / Sumskii derzhavnyi universytet, Navchalno-naukovyi medychnyi instytut, kafedra fizychnoho vykhovannia i sportu; naukovyi kerivnyk Dolhova NO. Sumy; 2022.
  15. Čeklić U, Šarabon N, Kozinc Ž. Postural control in unipedal quiet stance in young female gymnasts and the effects of training with consideration of transient behavior of postural sway. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(2):982. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020982>.
  16. Omorczyk J, Staszkiwicz R, Wrześniewski K, Puszczalowska-Lizis E. Static balance in female artistic gymnasts and non-training girls. *Appl Sci*. 2022;12(23):12454. <https://doi.org/10.3390/app122312454>.
  17. Batsuren B-O, Khuyagbaatar B, Gombojav E, Gonchoo B, Ulziikhutag B, Tseveg A, et al. Performance evaluation of penché rotation in rhythmic gymnastics using statistical parametric mapping. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS)*. Volume 1. SciTePress; 2025. p. 163–169. <https://doi.org/10.5220/0013687600003988>.
  18. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*. 1995;3:193–214.
  19. Isableu B, Ohlmann T, Crémieux J, Amblard B. Differential approach to strategies of segmental stabilisation in postural control. *Exp Brain Res*. 2003;150(2):208–221. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1446-0>.
  20. Paillard T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;72:129–152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>.

*Отримано/Received: 09.12.2025*

*Прорецензовано/Reviewed: 22.01.2026*

*Прийнято/Accepted: 19.02.2026*

*Опубліковано/Published – 30.03.2026*

Як цитувати статтю / How to Cite:

Смирнова О, Гамалій В. Біомеханічний аналіз техніки виконання змагальних вправ у гімнастиці художній на прикладі рівноваги «Панше» Спортивний вісник Придніпров'я. 2026 Бер 30;(2):180-187. <https://doi.org/10.15802/2071-1476-2026-1-17>

Smyrnova O, Gamalii V. Biomechanical analysis of the technique of performing competitive exercises in rhythmic gymnastics using the example of the «Panche» balance. *Sportywny Visnyk Prydniprovia*. 2026 Mar 30;(2):180-187. <https://doi.org/10.15802/2071-1476-2026-1-17>