

ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ  
БІОМЕХАНІЧНОГО АНАЛІЗУ  
ПОКАЗНИКІВ СТАТОДИНАМІЧНОЇ  
СТІЙКОСТІ СПОРТСМЕНІВ ВИСОКОЇ  
КВАЛІФІКАЦІЇ У СКЛАДНО-  
КООРДИНАЦІЙНИХ ВИДАХ СПОРТУ



*Литвиненко Юрій*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

**Аннотація**

В статті на основі даних спеціальної науково-методическої літератури, а також з урахуванням результатів власних досліджень розкрито теоретичні та практичні аспекти біомеханічного аналізу показників статодинамічної стійкості спортсменів високої кваліфікації. На прикладі видів спорту складних по координації представлений підхід до інтерпретації отриманих результатів дослідження. Систематичний контроль статодинамічної стійкості тіла спортсмена дозволяє розробити індивідуальні норми та використовувати їх для об'єктивної оцінки стану вестибулярного аналізатора.

**Ключевые слова:** статодинамічна стійкість, біомеханічний аналіз, критерії, оцінка, тести.

**Annotation**

In the article on the basis of special scientific and methodical literature, as well as in the result of the researches there were revealed the theoretical and practical aspects of biomechanical analysis of static-dynamic stability of elite athletes. On the example of complex coordination kinds of sport there are presented an approach to the interpretation of the study's results. Systematic monitoring static-dynamic stability of the athlete's body allows to develop individual standards with further their use for objective assessment of vestibular analyzer state.

**Keywords:** static-dynamic stability, biomechanical analysis, criteria, evaluation, tests

**Постановка проблеми.** Досягнення рекордних спортивних результатів на сучасному етапі розвитку спорту вищих досягнень неможливе без відповідної ефективної техніки рухових дій [4]. У літературних джерелах дослідники [1,3,4,5] по-різному дають визначення поняттю «спортивна техніка» – деякі з них узгоджуються, деякі доповнюють одне одного, є й такі, що певною мірою вступають у протиріччя.

Незалежно від того, як розуміють це явище представники різних наукових шкіл, всі вони наголошують на необхідності постійного удосконалення спортивної техніки атлетів у всіх видах спорту.

Результативність процесу вдосконалення спортивно-технічної майстерності, передусім, залежить від розуміння фахівцями специфіки виду спорту та специфіки рухових дій характерних для нього, тобто необхідно мати обґрунтоване (з біомеханічної точки зору) уявлення щодо того якою має бути техніка. Виходячи з цього, в подальшому розробляється методологія процесу удосконалення технічної майстерності, визначаються всі важливі компоненти та їх показники, які мають забезпечити виконання



необхідної спортивної вправи (з технічної точки зору).

У складнокоординаційних видах спорту такою важливою складовою, що впливає та забезпечує ефективне виконання спортивних вправ – є стан вестибуломоторної системи, рівень розвитку координаційних здібностей загалом та показників статодинамічної стійкості тіла зокрема, які мають безпосередній зв'язок з якістю регуляції пози тіла спортсмена у просторі в різні моменти часу [7]. Одним з найбільш актуальних питань є розуміння та правильна інтерпретація показників статодинамічної стійкості тіла спортсменів.

**Мета статті** – розкрити теоретичні та практичні аспекти біомеханічного аналізу показників статодинамічної стійкості тіла спортсменів високої кваліфікації (на прикладі складно координаційних видах спорту).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Статодинамічна стійкість тіла спортсмена та системи тіл є мірилом оцінки рівноваги тіла в процесі виконання спортивних вправ [2]. Оскільки, стояння людини – це окремий випадок руху, то спортивні вправи аналізуються та оцінюються як статодинамічні рухові дії. Термін «стійкість» характеризує одну з найважливіших рис поведінки систем і є фундаментальним поняттям, яке використовується у фізиці, біофізиці, механіці, біомеханіці, кібернетиці та інших науках. Вчені [3,6,8] розглядають статичну стійкість тіла як здатність людини чинити опір всякому, хоча б і малому, порушенню його рівноваги. Динамічна стійкість тіла – це здатність людини повертатися до рівноважного стану з припиненням дії на тіло сил, що порушують рівновагу.

В спеціальній науково-методичній літературі неодноразово наголошувалось на важливості розробки критеріїв оцінки статодинамічної стійкості спортсменів

[2]. Загальноприйнятим є те, що статична і динамічна стійкість – це глобальні критерії оцінки статодинамічної стійкості тіла спортсмена і системи тіл [2,7]. Попередні дослідження [3,6] показали, що до вузькоспеціалізованих критеріїв оцінки спортивних вправ, що характеризують статодинамічну стійкість тіла спортсмена і системи тіл, слід віднести наступні: силу тиску кінцівок тіла на опору, N; амплітуду коливань тіла, мм; довжину траєкторії загального центру тиску тіла на опору в сагітальній і фронтальній площинах та їх співвідношення, мм, у.о.; довжину траєкторії переміщення контрольної точки на тулубі в області крижа в системі взаємодіючих тіл, мм; частоту коливань тіла, Гц; період коливань тіла, с; співвідношення амплітуди і частоти коливань тіла,  $\geq$ ,  $\leq$ ; симетрію і асиметрію регуляції пози тіла, мм; час фіксації рівноваги тіла, с.

Наукові дослідження [8], що проводяться у цьому напрямку до критеріїв, які характеризують статодинамічну стійкість тіла спортсмена, дозволяють додатково віднести лінійну та кутову швидкості вектору загального центру тиску тіла на опору,  $m \times c^{-1}$  та  $rad \times c^{-1}$ , а також інтегральний показник якості функції рівноваги, %.

В той же час критерії оцінки статодинамічної стійкості тіла спортсмена потребують подальшої розробки, в тому числі з позиції їх інтерпретації.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Біомеханічні дослідження рухових дій спортсменів високої кваліфікації здійснювалися з урахуванням вищезазначених критеріїв.

В якості методів дослідження використовувались наступні: структурно-функціональний аналіз статодинамічної стійкості тіла спортсмена і системи тіл при виконанні вправ зі складною координаційною структу-

рою рухів, стабілографія (синхронізовані оптико-електрона система «Qualisys» та тензоплатформа «Kistler»), діагностично-тренувальний комплекс з визначення показників стійкості на основі рухомої платформи «Sport Kat 650 TS», стабілоаналізатор комп'ютерний з біологічним зворотнім зв'язком «Стабілан 01-2» (16 виконання), педагогічні спостереження, контрольні тести для оцінки рівня розвитку рівноваги тіла у структурі спортивного вдосконалення, математична статистика. В дослідженнях взяли участь представники складно координаційних видів спорту – спортсмени вищої кваліфікації (стрибки у воду, спортивна гімнастика, акробатика, фрістайл, художня гімнастика) в період з 2009 до 2016 року.

Слід зауважити, що кількісна інформація, яка отримується в результаті виконання відповідних тестів, що спрямовані на визначення особливостей статодинамічної стійкості тіла спортсмена, є суто індивідуальна щодо конкретного спортсмена, а чітких референтних значень, які дозволяють визначати так звані норми – не існує.

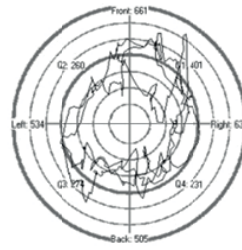
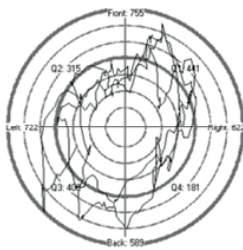
У той же час відомо, що показники амплітуди та частоти коливань загального центру тиску на опору мають важливе значення. Разом з цим встановлено, що зі збільшенням амплітуди коливань стійкість тіла зменшується, тобто чим менша амплітуда коливань, тим краща стійкість тіла, оскільки зменшується вірогідність того, що проекція загального центру мас тіла в якийсь момент часу перейде край площі опори тіла спортсмена.

Крім того, як свідчать літературні дані та що підтверджується результатами наших досліджень, – з підвищенням рівня спортивної майстерності амплітуда коливань загального центру тиску тіла на опору зменшується з одночасним збільшенням частоти коливань.

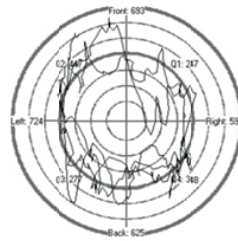
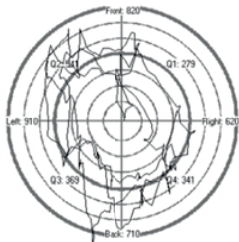




**Рис. 1. Результати статичного тесту спортсмена Г. О. (методика Sport Kat 650 TS); дата обстеження: а) – 10.11.2014 р.; б) – 1.10.2015 р.**



**Рис. 2. Результати динамічного тесту «Рух проти годинникової стрілки» спортсмена Г. О. (методика Sport Kat 650 TS); дата обстеження: а) – 10.11.2014 р.; б) – 1.10.2015 р.**



**Рис. 3. Результати динамічного тесту «Рух за годинниковою стрілкою» спортсмена Г. О. (методика Sport Kat 650 TS); дата обстеження: а) – 10.11.2014 р.; б) – 1.10.2015 р.**

Тобто системи організму, які відповідають за управління рухами спортсмена, мають більшу чутливість, що дозволяє вирішувати складні рухові завдання на рівні мікроколивань, а підвищена частота коливань дозволяє своєчасно вносити у характер руху відповідні корективи.

У спеціальній літературі, у роботі Болобана В.М. [3] є такі дані, що свідчать про те, що у спортс-

менів високого класу, а це переможці та призери Олімпійських Ігор, чемпіонатів світу тощо, спостерігається, окрім зменшення амплітуди коливань загального центру тиску тіла на опору, зменшення частоти. Це свідчить про надзвичайно високий рівень готовності відповідних систем організму вносити своєчасні та в необхідній мірі дозовані корективи у виконання спортивних вправ.

Важливо також враховувати й довжину траєкторії загального центру тиску тіла на опору, яка є похідною від амплітуди та частоти. У разі значної за показниками амплітуди та частоти коливань загального центру тиску тіла спортсмена на опору буде збільшуватись і довжина траєкторії. Чим менша ця довжина, тим менше виконується механічна робота ( $A=F \cdot \Delta S$ ), а отже, рухи є більш економічними ( $A=\Delta E$ ).

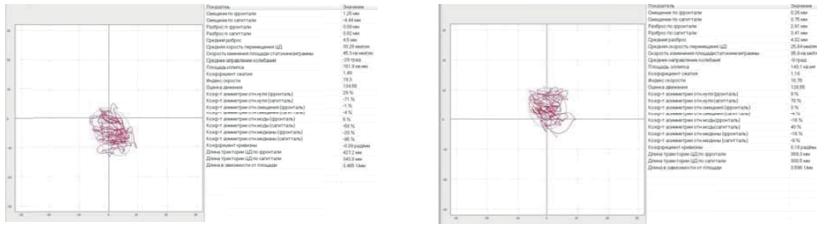
Разом з цим, аналізуючи довжину траєкторії, необхідно враховувати співвідношення даного показника у різних площинах (фронтальній і сагітальній). При наближенні цих значень (як у співвідношенні 1:1, або близькі до цього значення), збільшується якість управління стійкістю.

Характеристика, яку також необхідно враховувати при комплексному аналізі статодинамічної стійкості тіла спортсмена, є лінійна швидкість загального центру тиску тіла на опору, яка у разі збільшення вказує на погіршення стану вестибуломоторної системи спортсмена. Таким чином мова йде про проходження певного шляху загального центру тиску тіла на опору за проміжок часу, а отже чим більший шлях (більша амплітуда з відповідним значенням частоти), тим більша швидкість (час у даному випадку є лімітованим і чітко узгодженим, тобто постійна величина).

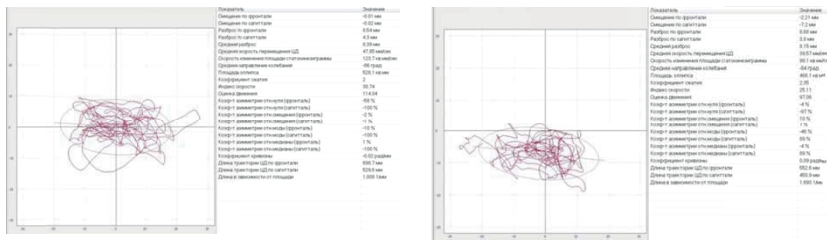
Необхідно зазначити, що тести виконуються не тільки з відкритими очима, але і з заплющеними. Для окремих видів спорту врахування впливу зорового аналізатора на регуляцію пози тіла спортсмена є важливим.

Значні зміни у показниках стійкості тіла спортсмена при виконанні одного й того ж тесту з відкритими або заплющеними очима, вказують на відповідну роль (вплив) саме зорового аналізатору, що потребує певного врахування подібних факторів в навчально-тренувальному процесі





**Рис. 4. Статокінезіграма та її кількісні показники у спортсмена Г. О. при виконанні ускладненої проби Ромберга з відкритими очима (методика «Стабілан-01-2»); дата обстеження: а) – 10.11.2014 р.; б) – 1.10.2015 р.**



**Рис. 5. Статокінезіграма та її кількісні показники у спортсмена Г. О. при виконанні ускладненої проби Ромберга з заплющеними очима (методика «Стабілан-01-2»); дата обстеження: а) – 10.11.2014 р.; б) – 1.10.2015 р.**

та, насамперед, під час виконання спортивних вправ. Так, наприклад, при виконанні складних рухових дій стрибуну у воду мають надзвичайно складні умови (як часові, так і просторові) для роботи зорового аналізатору, адже оберти виконуються із значною кутовою швидкістю тіла у різних площинах (інколи одночасно), разом з цим зі збільшенням складності стрибка ці умови також ускладнюються, тому робота інших рецепторів (передусім пропріорецепторів) набуває важливого значення в процесах управління руховими діями спортсмена.

Для визначення узгодженості роботи систем організму, що отримують зовнішній сигнал, який вказує на необхідність внесення певних коректив у рухові дії, з «аналізуючими» та виконавчими органами спортсмена, нами проведено тестування на рухомій платформі.

Складність виконання тес-

ту полягає в тому, що спортсмен власними рухами призводить до руху платформу, яку під'єднано до комп'ютеру, на екрані монітору якого (завдяки спеціальній комп'ютерній програмі) він бачить переміщення загального центру тиску власного тіла.

Комп'ютерна програма (в динамічних тестах) сама задає програму руху для спортсмена і від того наскільки коректні будуть його рухи, можна опосередковано говорити про злагодженість вище зазначених систем організму спортсмена. Тобто як він сприймає інформацію, як швидко вона доходить до відповідних «аналізуючих» центрів нервової системи, як швидко вона (інформація) обробляється (на предмет внесення відповідних коректив), як швидко передається до виконавчих органів (руховий апарат) та як реалізується необхідна програма рухів.

Зазначені вище узагальнен-

ня вдалося зробити на підставі літературного аналізу, а також за результатами власних досліджень. Саме такий підхід до біомеханічного аналізу показників статодинамічної стійкості висококваліфікованих спортсменів реалізується під час досліджень, що проходять на базі Національного університету фізичного виховання і спорту України в лабораторії біомеханічних технологій у фізичному вихованні та олімпійському спорті НДІ.

Нижче наведено приклад інтерпретації показників статодинамічної стійкості тіла спортсмена Г. О. (член збірної команди України зі стрибків у воду).

У спортсмена Г. О. при виконанні статичних тестів на рухомій платформі спостерігаються значні переміщення переважно у сагітальній площині (рис. 1).

У динаміці принципів змін не встановлено (за результатами цього тесту). Отримані дані свідчать про підвищену амплітуду коливань загального центру тиску тіла спортсмена на опорі.

При виконанні динамічних тестів як при оберті проти годинникової стрілки (рис. 2), так і при оберті за годинниковою стрілкою (рис. 3) спостерігаються різкі відхилення. Траєкторія загального центру тиску тіла спортсмена на опорі за своєю формою не є наближеною до заданої програмою форми кола.

Результати, які були отримано в динаміці, дозволяють говорити про певні індивідуальні особливості статодинамічної стійкості Г. О. – витягнута форма еліпсу у тесті «Рух проти годинникової стрілки» в право-передньому напрямку (секторі простору), а в тесті «Рух за годинниковою стрілкою» – у ліво-передньому напрямку. У динаміці значних змін також не відбулося.

На нерухомій платформі спортсмен демонструє досить стабільні показники, про що свідчать результати тестування,



які було отримано у динаміці. При виконанні ускладненої проби Ромберга з відкритими очима було відмічено незначне покращення показників статодинамічної стійкості спортсмена (рис. 4).

Якість функції рівноваги, як інтегральний показник підвищився на 9%. Зменшилась середня лінійна швидкість переміщення центру тиску тіла з  $30,26 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$  до  $25,84 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Значення довжини траєкторії загального центру тиску тіла на опорі змінились наступним чином: у фронтальній площині було  $427,2 \text{ мм}$ , а стало  $369,3 \text{ мм}$ ; в сагітальній площині було  $343,8 \text{ мм}$ , а стало  $300,5 \text{ мм}$ , – тобто також спостерігається позитивна динаміка.

Співвідношення між показниками довжини траєкторії у сагітальній і фронтальній площинах стабільне та складає  $1:1,2$ , що є гарним показником. Значення площі еліпсу є також досить стабільною та коливається у межах  $150 \text{ мм}^2$ .

Встановлено, що при заплющенні очей під час виконання ускладненої проби Ромберга якість функції рівноваги погіршується у  $2,5\text{--}3$  рази по відношенню до виконання цього ж тесту але з відкритими очима (рис. 5).

Цей показник є також досить стабільним, про що свідчить динаміка отриманих результатів. З заплющеними очима значно зростає середня лінійна швидкість переміщення загального центру тиску тіла спортсмена на опорі, яка складає у межах  $39,5 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$  (показник отримано 1.10.2015 р.) та  $47,86 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$  (результати тестування 10.11.2014 р.). Збільшується площа еліпсу:  $486 \text{ мм}^2$  та  $526 \text{ мм}^2$  – 1.10.2015 р. та 10.11.2014 р. відповідно.

Також виконання ускладненої проби Ромберга з заплющеними очима у спортсмена Г. О. супроводжується збільшенням амплітуди коливань загального центру тиску його тіла на опорі в середньому в

$1,9$  рази, що призводить до збільшення довжини траєкторії центру тиску також у середньому в  $1,5\text{--}2$  рази.

Слід зазначити, що співвідношення довжини траєкторії у сагітальній та фронтальній площинах залишається практично незмінним (як у тесті з відкритими очима) і коливається у межах відношень як  $1$  до  $1,2\text{--}1,4$ , що є досить позитивним фактом.

Отримані результати свідчать про вагомий внесок в регуляцію рухів спортсмена Г. О. зорового аналізатора.

Динаміка результатів вказує на позитивну тенденцію змін, хоча і не на високому рівні. Має місце індивідуальна та досить стала характеристика статодинамічної стійкості тіла даного спортсмена.

**Висновки.** Важливими теоретичними та практичними аспектами біомеханічного аналізу показників статодинамічної стійкості тіл спортсменів є глобальні та вузькоспеціалізовані критерії оцінки та підходи щодо їх інтерпретації. Проблемною стороною є відсутність чітких референтних значень для критеріїв оцінки статодинамічної стійкості тіла спортсмена, тому дослідник при проведенні біомеханічного аналізу має орієнтуватись як на загальноприйняті положення та підходи, що представлено в даній роботі, так і на індивідуальні норми, які формуються за результатами систематичних обстежень із врахуванням факторів впливу на стан вестибулярної системи тіла спортсмена.

Отримані результати потребують подальшого дослідження та визначення факторів впливу показників статодинамічної стійкості тіла спортсмена на техніку спортивних вправ загалом та її окремих складових зокрема, що є перспективним напрямком наших наукових пошуків.

#### Література

1. Аркаев Л. Я. Как готовить

чемпионов / Л.Я. Аркаев, Н.Г. Сучилин // М: Физкультура и спорт, 2004. – 328 с.

2. Болобан В. Системная стабильность: методология и методы измерения, анализа и оценки статодинамической устойчивости тела спортсмена и системы тел / В. Болобан, Ю. Литвиненко, Т. Нижниковски // Наука в олимп. спорте. – 2012. – № 1. – С. 27–35.
3. Болобан В.Н. Регуляция позы тела спортсмена: Монография / В.Н. Болобан. - К.: НУФВСУ, изд. - во «Олимп. лит.», 2013. - 232с.
4. Гавердовский Ю.К. Теория и методика спортивной гимнастики: учебник в 2 т. – Т.1/Ю.К. Гавердовский. – М.: Советский спорт. – 2014. – 368 с.:ил.
5. Гамалий В.В. Теоретико-методические основы моделирования техники двигательных действий в спорте: Монография. / В.В. Гамалий. – К.: Полиграфсервис, 2013. – 300 с.
6. Литвиненко Ю.В. Статодинамическая устойчивость тела гимнастов высокой квалификации //Педагогика, психология та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту/ Ю.В. Литвиненко, Ежи Садовски, Томаш Нижниковски, В.Н. Болобан/. – 2015. – № 1. – С. 46-51.<http://dx.doi.org/10.15561/18189172.2015.y0109>
7. Садовски Е. Регуляция позы юных спортсменов при решении двигательных задач на устойчивость тела в равновесии / Е. Садовски, В. Болобан, Т. Нижниковски, А. Масталей // Теория и практика физической культуры, 2011.- №8.- С. 37 – 42.
8. Шестаков М.П. Использование стабилотрии в спорте. Монография. / М.П. Шестаков/. – М.: ТВТ Дивизион, 2007. – 112 с.

