DOI https://doi.org/10.32782/spmed.2025.2.4

Спектральний аналіз стабілограм кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті

УДК 612.76+612.84+616-072.7

О.В. Колосова[1,2], К.Ю. Савченко[1], О.М. Русанова[1]

[1] Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

[2] Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, Київ, Україна

Резюме. У статті розглянуто функціональний стан систем постурального контролю у кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті. *Мета* – оцінювання спектральних характеристик стабілограм кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, для виявлення специфіки та потенційних адаптаційних змін у механізмах постурального контролю. *Методи.* У стабілометрічному дослідженні, яке проводили з використанням комп'ютерного стабілоаналізатора «Стабілан-01-2», брали участь 12 кваліфікованих спортсменів. Реєстрацію стабілограми виконували у двох положеннях тіла – вертикальна стійка та присід, з розплющеними й заплющеними очима. *Результати.* Виявлено, що в умовах вертикальної стійки зорова депривація не викликала суттєвих змін стабілометричних показників, що свідчить про високий рівень сенсомоторної адаптації спортсменів і домінуючу роль пропріоцептивної системи в постуральному контролі. У складніших умовах присіду порівняно з вертикальною стійкою спостерігалися значущі зміни як амплітудно-швидкісних, так і спектральних показників, зокрема зменшення частоти й збільшення амплітуд піків спектральної потужності медіолатеральних коливань центру тиску стопі зміщення антеріопостеріорних коливань у бік високочастотного діапазону, що може свідчити про специфіку сенсомоторної адаптації спортсменів до дестабілізуючих чинників, характерних для вітрильного спорту. Отримані результати загалом виявляють односпрямовані зміни спектральних та амплітудно-швидкісних стабілометричних показників. Спектральний аналіз стабілограм рекомендовано використовувати як чутливий метод оцінювання нейром'язової регуляції постурального балансу в спортивній практиці.

Ключові слова: постуральний баланс, стабілометрія, центр тиску стоп, спектральний аналіз, вітрильний спорт.

Spectral analysis of stabilograms skilled athletes specializing in sailing

O.V. Kolosova[1,2], K.Yu. Savchenko[1], O.M. Rusanova[1]

[1] National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv

[2] Bogomoletz Institute of Physiology, Kyiv, Ukraine

Abstract. The study examined the functional state of postural control systems in skilled athletes specializing in sailing. *Objective.* To assess the spectral characteristics of stabilograms in qualified sailors in order to identify specific features and potential adaptive changes in their postural control mechanisms. *Methods.* Stabilometric measurements were conducted using the computerized stabiloanalyzer "Stabilan-01-2." The study involved 12 skilled athletes. Stabilograms were recorded in two body positions – upright stance and squat – with eyes open and closed. *Results.*

© О В. Колосова, К.Ю. Савченко, О.М. Русанова, 2025
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

It was found that in the upright stance, visual deprivation did not cause significant changes in stabilometric parameters, indicating a high level of sensorimotor adaptation in athletes and the dominant role of the proprioceptive system in postural control. Under the more challenging condition of squatting, significant changes were observed compared to standing in both amplitude-velocity and spectral parameters. These included a decrease in frequency and an increase in the amplitude of spectral power peaks in mediolateral sway of the center of pressure, as well as a shift in anteroposterior sway toward the high-frequency range. These findings may reflect the specific sensorimotor adaptation of sailors to destabilizing factors characteristic of their sport. The obtained results reveal similarly directed changes in spectral and amplitude-velocity stabilometric parameters. Spectral analysis of stabilograms is recommended as asensitive method for assessing neuromuscular regulation of postural balance in sports practice.

Keywords: postural balance, stabilometry, center of pressure, spectral analysis, sailing.

Постановка проблеми. Підтримання постуральної рівноваги є складним сенсомоторним процесом, який забезпечується інтеграцією сигналів від вестибулярної, зорової та соматосенсорної систем у взаємодії з ефекторною ланкою — м'язами, залученими до постурального контролю [4; 12]. У спортивній практиці стійкість пози набуває особливого значення в тих видах спорту, де атлету доводиться утримувати рівновагу в умовах нестабільної опори або зовнішніх дестабілізувальних чинників. Одним із таких видів є вітрильний спорт, де спортсмен постійно адаптується до змін напрямку вітру, хитання яхти, гідродинамічних і кінематичних навантажень [10]. Дослідження постурального контролю в спортсменів дає змогу оцінити ступінь адаптації вестибуло-моторної системи до специфічних умов тренувань і змагань [2; 15; 16].

Під час оцінювання стабілометричних даних зазвичай використовують загальні показники площі або довжини стабілограми [3; 7; 13]. Водночас спектральний аналіз стабілограм відкриває нові можливості для якісного аналізу не лише амплітудно-швидкісних, а й частотних параметрів коливань центру тиску стоп (ЦТС). На відміну від узвичаєних показників, спектральні характеристики дають змогу визначити домінантні механізми регуляції постурального тонусу, виявити ознаки компенсаторної активності м'язів або ознаки мікротремору, які не завжди помітні при стандартному аналізі.

Особливий інтерес становить вивчення постуральної стабільності у кваліфікованих спортсменів, адже багаторічні тренування в специфічних умовах можуть призводити як до вдосконалення механізмів сенсомоторної координації, так і до формування унікальних нейром'язових стратегій підтримання рівноваги. Це особливо актуально для вітрильного спорту, де ефективне керування тілом у просторі прямо впливає на результативність.

Отже, безсумнівною є необхідність оцінювання постурального балансу спортсменів з використанням амплітудно-швидкісних і спектральних характеристик стабілограми з метою встановлення особливостей постурального контролю у вітрильному спорті та своєчасного виявлення його порушень.

Дослідження проводили відповідно до Плану науково-дослідної роботи НУФВСУ на 2021—2025 рр. з теми 2.4 «Сучасні технології управління тренувальними та змагальними навантаженнями у процесі підготовки кваліфікованих спортсменів у водних видах спорту» (№ державної реєстрації 0121U108251). Робота виконана в Науково-дослідному інституті НУФВСУ відповідно до Тематичного плану наукових досліджень та розробок, які виконує Національний університет фізичного виховання та спорту України за рахунок коштів державного бюджету у 2025—2027 рр. за темою «Моніторинг ефективності фізкультурно-спортивної реабілітації ветеранів війни та спортсменів засобами функціональної діагностики» (номер державної реєстрації 0125U002066).

Мета дослідження — оцінювання спектральних характеристик стабілограм кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, для виявлення специфіки їх постурального контролю та потенційних адаптаційних змін у механізмах регуляції рівноваги.

Методи дослідження. У дослідженні брали участь 12 кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, клас яхт Laser (ILCA), 10 чоловіків і 2 жінки, 4 майстри спорту (МС), 5 кандидатів у майстри спорту

(КМС), троє мали I дорослий розряд, середній вік — 17,2 1,4 років.

Дослідження постурального балансу проводили з використанням комп'ютерного стабілоаналізатора «Стабілан-01-2». Під час тесту спортсмен був на стабілоплатформі без взуття; проводилася реєстрація руху центру тиску стоп в таких двох положеннях тіла: пряма вертикальна стійка, руки вільно розташовані вздовж тулуба, із широкою базою опори (відстанню між стопами), стопи паралельно; присід із широкою базою опори, стегна паралельно підлозі, верхні кінцівки простягнуті вперед [5]. В обох положеннях тіла проводили проби як із розплющеними, так із заплющеними очима. Час реєстрації кожної проби дорівнював 20 с.

Для кожної проби визначали стабілометричні показники двох категорій: амплітудно-швидкісні та спектральні характеристики коливань ЦТС. До амплітудно-швидкісних показників зараховували такі стабілометричні показники: S, мм^2 — площа статокінезіограми; Xsd, мм — розкид (середнє квадратичне відхилення) у фронтальній площині; Ysd, мм — розкид (середнє квадратичне відхилення) у сагітальній площині; V, мм/с — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у площині платформи; Vx, мм/с — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у фронтальній площині; Vy, мм/с — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у сагітальній площині, LS — відношення довжини траєкторії переміщення ЦТС до площі стабілограми, 1/мм, LxXsd — відношення довжини траєкторії переміщення ЦТС у фронтальній площині до Xsd, умов. од.; LyYsd — відношення довжини траєкторії переміщення ЦТС у сагітальній площині до Ysd, умов. од.

Визначали також такі спектральні характеристики коливань ЦТС: Ч1, Ч2, Ч3 (Гц) та А1, А2, А3 (мм) — відповідно, частоти й амплітуди трьох найбільших піків на графіку залежності спектральної потужності (мм) від частоти коливань (Гц); Ч60% — частота, яка визначає, що 60% спектральної потужності знаходиться в частотному діапазоні 0-Ч60%; потужність 1, 2, 3 зон — спектральна потужність у частотних діапазонах 0—0.2 Гц, 0.2-2 Гц, 2-6 Гц, відповідно, виражена у відсотках відносно сумарної спектральної потужності в частотному діапазоні 0—6 Гц.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми IBM SPSS Statistics, версія 23.0. Статистична значущість різниці середніх значень показників за різних умов у групі визначалася за допомогою дисперсійного аналізу ANOVA з подальшим post-hoc аналізом з використанням поправки Bonferroni. Для оцінювання залежності певної величини від зорової депривації та положення тіла на платформі проводили двофакторний дисперсійний аналіз із повторюваними вимірюваннями. При цьому внутрішньогруповими факторами були наявність зорового контролю, яка мала дві категорії — розплющені й заплющені очі, і складність стійки, що складалася з двох рівнів — вертикальна стійка й присід. За рівень статистичної значущості брали $p<0,05$.

При проведенні комплексних обстежень за участю спортсменів відповідно до принципів біоетики дотримувалися розробленої в НДІ НУФВСУ Програми комплексного біологічного дослідження особливостей функціональних можливостей спортсменів, а також законодавства України про охорону здоров'я, Гельсінської декларації 2000 р. та директиви Європейської спілки 86/609 щодо участі людей у медико-біологічних дослідженнях.

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами двофакторного дисперсійного аналізу впливу зорової депривації та складності стійки на амплітудно-швидкісні стабілометричні показники спортсменів в умовах вертикальної стійки, не виявлено статистично значущого впливу фактора зорового контролю на площу стабілограми, розкид і швидкість руху ЦТС у сагітальній площині, а також на показники співвідношень довжини траєкторії руху ЦТС і площі/розкиду стабілограми (таблиці 1). Також не виявлено впливу взаємодії факторів зорового контролю та складності стійки на вищевказані показники, але спостерігалася значуща взаємодія цих двох факторів для показників розкиду й швидкості руху ЦТС у сагітальній площині, а також швидкості руху ЦТС у площині платформи, тому для останніх стабілометричних показників проведено також однофакторний дисперсійний аналіз із повторюваними вимірюваннями окремо для внутрішньогрупових факторів зорового контролю та складності стійки (таблиця 2). За результатами додаткового аналізу, фактор зорового контролю мав статистично значущий вплив на ці показники в умовах присіду, на відміну від умов вертикальної стійки.

ТАБЛИЦЯ 1 – **Результати дисперсійного аналізу впливу факторів зорового контролю та складності стійки на амплітудно-швидкісні стабілометричні показники спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, n=12**

Показник	Фактори					
	зоровий контроль		складність стійки		зоровий контроль × складність стійки	
	F	p	F	p	F	p
S, мм^2	4,202	,065	**50,924**	,000**	3,880	,075
Xsd, мм	**8,135**	**,016***	**151,808**	**,000****	**27,262**	**,000****
Ysd, мм	,053	,823	**25,474**	**,000****	,411	,260
V, мм/с	**6,300**	**,029***	**143,282**	**,000****	**4,992**	**,047***
Vx, мм/с	**6,561**	**,026***	**100,490**	**,000****	**16,878**	**,002****
Vy, мм/с	3,571	,085	**138,294**	,000**	,339	,572
LS, 1/мм	1,287	,281	**31,330**	,000**	1,758	,212
LxXsd, умов. од.	3,082	,107	,084	,777	2,286	,159
LyYsd, умов. од.	,721	,414	**46,815**	**,000****	,028	,870

Примітка. Жирним шрифтом виділені статистично значущі показники впливу факторів, *p <0,05, **p <0,01.

Фактор складності стійки мав статистично значущий вплив на площу стабілограми, розкид і швидкість руху ЦТС у фронтальній і сагітальній площинах і площині платформи, а також на показники співвідношення довжини траєкторії руху ЦТС і площі стабілограми й співвідношення довжини траєкторії переміщення ЦТС у сагітальній площині й відповідного розкиду; на аналогічний показник для фронтальної площини не виявлено статистично значущого впливу цього фактору (таблиці 1, 2).

Отже, в умовах вертикальної стійки зорова депривація не призводила до статистично значущих змін амплітудно-швидкісних показників, що підтверджує високий рівень постурального балансу кваліфікованих спортсменів, які спеціалізуються у вітрильному спорті. Отримані результати свідчать також про переважний внесок пропріоцептивної системи порівняно із зоровою системою і підтримку рівноваги в обстежуваній групі спортсменів.

Варто відмітити, що за результатами наших попередніх досліджень, у групі спортсменів-стрибунів у воду в прямій вертикальній стійці не спостерігалося впливу зорової депривації на площу стабілограми та швидкість руху ЦТС у фронтальній площині, однак при заплющенні очей значуще збільшувалася швидкість руху ЦТС у площині платформи й у сагітальній площині, тобто виявлено суттєвий внесок зорової системи в постуральний баланс [1]. Такі відмінності в групах спортсменів можуть бути пов'язані зі специфікою різних видів спорту. Можна припустити, що у вітрильному спорті постуральна мускулатура є більш залученою під час спеціальної спортивної діяльності.

У групі спортсменів-стрибунів у воду фактор ширини стійки, що пов'язаний зі зручністю пози, мав статистично значущий вплив на показники площі стабілограми та швидкості руху центру тиску стоп: при переході до більш складної звуженої стійки площа стабілограми й довжина траєкторії руху центру тиску стоп збільшувалися в умовах як розплющених, так і заплющених очей [1]. Такі результати загалом узгоджуються з даними поточних досліджень спортсменів у вітрильному спорті: у більш складних умовах підтримання рівноваги, а саме присіді, збільшувалася площа стабілограми, розкид і швидкість руху ЦТС (таблиця 3).

За результатами двофакторного дисперсійного аналізу впливу зорової депривації та

ТАБЛИЦЯ 2 – **Результати дисперсійного аналізу окремого впливу факторів зорового контролю й складності стійки на амплітудно-швидкісні стабілометричні показники спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, n=12**

Показник	Фактори							
	зоровий контроль				складність стійки			
	вертикальна стійка		присід		очі розплющені		очі заплющені	
	F	p	F	p	F	p	F	p
V, мм/с	1,108	,315	**8,934**	**,012***	**127,390**	**,000****	**135,179**	**,000****
Vx, мм/с	,000	1,000	**11,904**	**,005****	**91,693**	**,000****	**95,851**	**,000****
Xsd, мм	,002	,962	**17,525**	**,002****	**107,725**	**,000****	**149,350**	**,000****

Примітка. Жирним шрифтом виділені статистично значущі показники впливу факторів, *p <0,05, ** p <0,01.

складності стійки на спектральні показники коливань ЦТС у фронтальній площині в умовах вертикальної стійки не виявлено статистично значущого впливу фактору зорового контролю на показники Ч1, Ч2, Ч3 і А1, а також на значення 60% потужності й потужності в зонах 1–3 (таблиця 4).

За результатами аналізу впливу обох факторів на спектральні показники коливань ЦТС у сагітальній площині спортсменів не виявлено статистично значущого впливу фактору зорового контролю на жодний показник як в умовах вертикальної стійки, так і в умовах присіду (таблиця 5). Також не виявлено впливу взаємодії факторів зорового контролю та складності стійки на вищевказані показники, але спостерігалася значуща взаємодія цих двох факторів для показників А2 й А3 у фронтальній площині та Ч3 у сагітальній площині, тому для останніх стабілометричних показників проведений також однофакторний дисперсійний аналіз з повторюваними вимірюваннями окремо для внутрішньогрупових факторів зорового контролю та складності стійки (таблиця 6). За результатами додаткового аналізу, фактор зорового контролю мав статистично значущий вплив на показники А2 і А3 у фронтальній площині в умовах присіду, але не в умовах вертикальної стійки.

Фактор складності стійки мав статистично значущий вплив у фронтальній площині на значення частот Ч1-Ч3 та амплітуд піків А1-А3, а також на потужність у зоні 2; у сагітальній площині на Ч2 і Ч3 (Ч3 – значущі зміни тільки в умовах розплющених очей) та А1 і А3, а також на значення 60% потужності й потужності в зонах 1 і 3 (таблиці 4–6).

Отже, в умовах вертикальної стійки зорова депривація не призводила до статистично

ТАБЛИЦЯ 3 – **Амплітудно-швидкісні стабілометричні показники спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, Mean±Sd, n=12**

Показник	ВС ОР		ВС ОЗ		ПР ОР		ПР ОЗ		ANOVA	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	F	Sig.
S, мм^2	85,95	56,97	107,29	99,04	438,54	236,26	557,43	300,40	**16,933**	**,000****
Xsd, мм	1,52	,61	1,51	,79	4,70	1,33	6,09	1,77	**41,763**	**,000****
Ysd, мм	3,82	1,36	4,30	1,82	6,48	2,51	6,11	1,93	**7,008**	**,001****
V, мм/с	10,98	3,40	12,07	4,83	34,51	8,92	3,43	10,44	**45,178**	**,000****
Vx, мм/с	6,53	2,25	6,53	3,11	21,87	6.43	25,93	8,12	**40,644**	**,000****
Vy, мм/с	7,36	2,28	8,79	3,35	21,98	5,441	22,78	6,22	**38,903**	**,000****
LS, 1/мм	3,22	1,47	3,37	2,06	2,19	1,64	1,64	,66	**3,463**	**,024***
LxXsd	91,61	27,63	92,16	31,82	94,22	12,22	85,18	10,62	,359	,783
LyYsd	39,66	10,26	42,63	11,52	74,65	20,99	76,45	13,38	**22,197**	**,000****

Примітка. ВС ОР – вертикальна стійка, очі розплющені, ВС ОЗ – вертикальна стійка, очі заплющені; ПР ОР – присід, очі розплющені, ПР ОЗ – присід, очі заплющені; ANOVA – дисперсійний аналіз для порівняння середніх значень за чотирьох різних умов, жирним шрифтом виділені випадки наявності статистично значущих змін, *p <0,05, **p <0,01.

ТАБЛИЦЯ 4 – **Результати дисперсійного аналізу впливу факторів зорового контролю та складності стійки на спектральні показники коливань центру тиску стоп у фронтальній площині в спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, n=12**

Показник	Фактори					
	зоровий контроль		складність стійки		зоровий контроль × складність стійки	
	F	p	F	p	F	p
Ч1, Гц	0,173	0,686	4,173	**0,066#**	2,013	0,184
А1, мм	,455	,514	**93,518**	**,000****	,739	,408
Ч2, Гц	,098	,760	**17,328**	**,002****	,915	,359
А2, мм	13,332	,004**	**112,202**	**,000****	**45,877**	**,000****
Ч3, Гц	,172	,687	**4,911**	**,049***	2,995	,111
А3, мм	**10,002**	**,009****	**83,638**	**,000****	**28,316**	**,000****
Ч60%, Гц	1,328	,274	,148	,708	1,945	,191
Зона 1, %	,004	,949	1,386	,264	,460	,511
Зона 2, %	,391	,544	**14,740**	**,003****	1,363	,268
Зона 3, %	1,717	,217	1,415	,259	1,104	,316

Примітка. Жирним шрифтом виділені статистично значущі показники впливу факторів, *p <0,05, **p <0,01, #0,05<p <0,10.

ТАБЛИЦЯ 5 – **Результати дисперсійного аналізу впливу факторів зорового контролю й складності стійки на спектральні показники коливань центру тиску стоп у сагітальній площині спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, n=12**

Показник	Фактори					
	зоровий контроль		складність стійки		зоровий контроль × складність стійки	
	F	p	F	p	F	p
Ч1, Гц	,412	,534	,558	,471	3,486	,089
А1, мм	,044	,837	**22,580**	**,001****	1,157	,305
Ч2, Гц	,099	,759	**16,337**	**,002****	,010	,922
А2, мм	1,425	,258	2,323	,156	,027	,873
Ч3, Гц	,008	,931	**8,023**	**,016***	**5,325**	**,041***
А3, мм	,481	,502	**9,242**	**,011***	,203	,661
Ч60%, Гц	,050	,828	**71,954**	**,000****	,005	,947
Зона 1, %	1,217	,294	**21,704**	**,001****	,239	,634
Зона 2, %	1,805	,206	,401	,539	,008	,932
Зона 3, %	,350	,566	**72,422**	**,000****	4,170	,066

Примітка. Жирним шрифтом виділені статистично значущі показники впливу факторів, *p <0,05, **p <0,01.

ТАБЛИЦЯ 6 – **Результати дисперсійного аналізу окремого впливу факторів зорового контролю й складності стійки на спектральні показники коливань центру тиску стоп у фронтальній і сагітальній площинах у спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, n=12**

Показник	Зоровий контроль				Складність стійки			
	основна стійка		присід		очі розплющені		очі заплющені	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Фронталь А2, мм	,244	,631	**112,202**	**,000****	**100,240**	**,000****	**102,613**	**,000****
Фронталь А3, мм	,011	,918	**17,682**	**,001****	**77,651**	**,000****	**91,794**	**,000****
Сагіталь Ч3, Гц	3,313	,096	2,983	,112	**13,557**	**,004****	,100	,758

Примітка. Жирним шрифтом виділені статистично значущі показники впливу факторів, *p <0,05, **p <0,01.

значущих змін спектральних показників, що свідчить про незначну залежність постурального балансу спортсменів обстежуваної групи, які спеціалізуються у вітрильному спорті, від зорової системи. Отримані результати також виявляють односпрямовані зміни спектральних та амплітудно-швидкісних показників стабілометричних даних.

При ускладненні стійки, а саме при присіданні, у фронтальній площині спостерігалося зменшення частот і збільшення амплітуд піків 1–3, однак значення Ч60% – правої межі діапазону, у якому знаходиться 60% потужності, не зазнало значущих змін (таблиця 7). У сагітальній площині виявлено значуще збільшення частоти й амплітуди третього піка, збільшення

ТАБЛИЦЯ 7 – **Спектральні показники коливань центру тиску стоп у фронтальній площині в спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, Mean±Sd, n=12**

Показник	ВС ОР		ВС ОЗ		ПР ОР		ПР ОЗ		ANOVA	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	F	Sig.
Ч1, Гц	,448	,390	,398	,549	,096	,116	,226	,173	**2,518**	**,070***
А1, мм	1,371	,789	1,381	,762	4,996	1,929	5,519	2,019	**27,027**	**,000****
Ч2, Гц	,610	,332	,676	,452	,343	,194	,238	,121	**5,751**	**,002****
А2, мм	,923	,354	1,010	,651	2,958	,891	4,568	1,648	**35,953**	**,000****
Ч3, Гц	,618	,376	,714	,484	,514	,267	,317	,220	**2,796**	**,051***
А3, мм	,806	,334	,819	,435	2,474	,795	3,622	1,319	**33,873**	**,000****
Ч60%, Гц	1,146	,246	1,146	,271	1,150	,137	1,083	,176	,268	,848
Зона 1, %	13,667	4,793	14,333	7,253	16,667	4,887	15,833	3,563	,803	,499
Зона 2, %	66,250	2,137	65,667	4,924	60,583	4,055	62,833	4,821	**4,850**	**,005***
Зона 3, %	20,250	5,529	20,250	5,029	23,083	3,630	21,583	3,088	1,113	,354

Примітка. ВС ОР – вертикальна стійка, очі розплющені, ВС ОЗ – вертикальна стійка, очі заплющені; ПР ОР – присід, очі розплющені, ПР ОЗ – присід, очі заплющені; ANOVA – дисперсійний аналіз для порівняння середніх значень за чотирьох різних умов, жирним шрифтом виділені випадки наявності статистично значущих змін, *p <0,05, **p <0,01.

ТАБЛИЦЯ 8 – **Спектральні показники коливань центру тиску стоп у сагітальній площині спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, Mean±Sd, n=12**

Показник	ВС ОР		ВС ОЗ		ПР ОР		ПР ОЗ		ANOVA	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	F	Sig
Ч1, Гц	,121	,084	,096	,069	,059	,020	,113	,137	1,195	,323
А1, мм	4,462	2,224	4,979	2,441	7,881	3,827	7,161	2,523	**4,128**	**,012***
Ч2, Гц	,200	,107	,238	,156	,459	,392	,480	,256	**3,999**	**,013***
А2, мм	2,899	,833	3,255	1,661	3,525	1,447	3,764	1,274	,925	,437
Ч3, Гц	,305	,159	,430	,192	,589	,244	,455	,144	**4,573**	**,007***
А3, мм	2,086	,717	2,103	,754	2,798	1,138	2,991	1,056	**3,015**	**,040***
Ч60%, Гц	,629	,108	,633	,147	1,136	,218	1,146	,236	**30,481**	**,000****
Зона 1, %	27,167	4,877	26,333	6,443	20,333	5,805	17,583	6,947	**7,045**	**,001****
Зона 2, %	59,333	5,176	61,750	7,086	58,333	6,457	60,417	7,609	,585	,628
Зона 3, %	14,000	3,568	12,000	1,907	21,333	4,075	22,417	5,178	**21,774**	**,000****

Примітка. ВС ОР – вертикальна стійка, очі розплющені, ВС ОЗ – вертикальна стійка, очі заплющені; ПР ОР – присід, очі розплющені, ПР ОЗ – присід, очі заплющені; ANOVA – дисперсійний аналіз для порівняння середніх значень за чотирьох різних умов, жирним шрифтом виділені випадки наявності статистично значущих змін, *p <0,05, ** p <0,01.

частоти другого піка й тенденція до збільшення його амплітуди; відносне зменшення потужності в зоні 1 (низькочастотний діапазон 0–0,2 Гц) і відносне збільшення потужності в зоні 3 (високочастотний діапазон 2–6 Гц) при збереженні відсоткового значення в середньо-частотному діапазоні 0,2–2 Гц; також збільшилося значення частоти Ч60% (таблиця 8). Варто відмітити, що частота першого піка не зазнала значущих змін, а при наявності зорового контролю навіть мала тенденцію до зменшення, при цьому значуще підвищилася його амплітуда (майже у 2 рази), тобто, хоча загалом виявлено «зсув» коливань у високочастотний діапазон, поряд із цим спостерігалися високоамплітудні низькочастотні антеріопостеріорні коливання.

Таким чином, спектральний аналіз стабілограми дає можливість зробити висновок, що в умовах присідання порівняно з вертикальною стійкою поряд зі збільшенням амплітуди медіолатеральних та антеріопостеріорних коливань центру тиску стоп відбувається перерозподіл частот постуральних коливань, а саме: частота всіх трьох піків медіолатеральних коливань зміщується в бік нижчих частот; частота першого

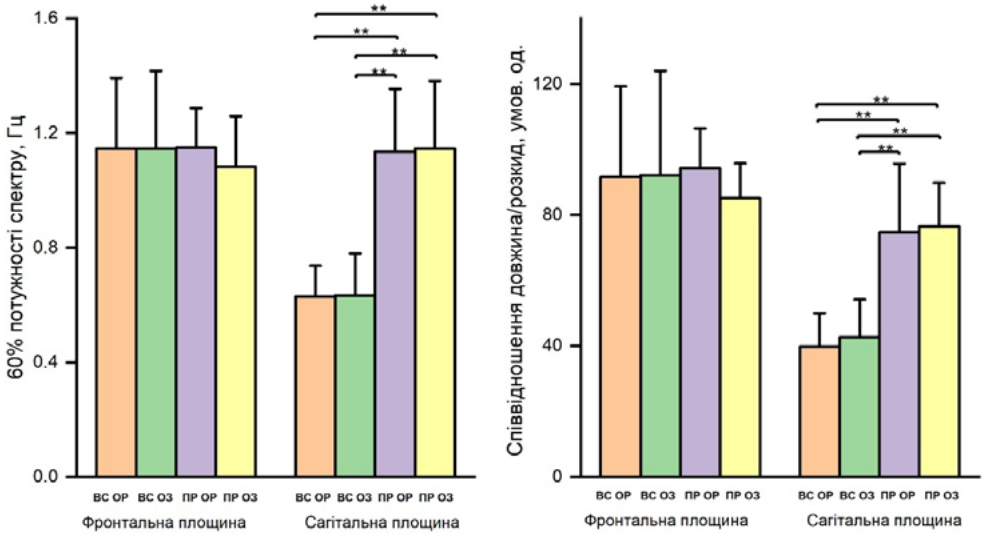

Рис. 1. Зміни спектральних та амплітудно-швидкісних показників стабілограми в умовах присіду порівняно з вертикальною стійкою

ВС ОР – вертикальна стійка, очі розплющені, ВС ОЗ – вертикальна стійка, очі заплющені; ПР ОР – присід, очі розплющені, ПР ОЗ – присід, очі заплющені. Статистично значуща різниця середніх значень – ** p <0,01.

піку антеріопостеріорних коливань значущо не змінюється, а частота другого та третього піку зміщується в бік вищих частот. Значення Ч60% — правої межі діапазону, у якому знаходиться 60% потужності, не змінюється для медіолатеральних коливань, однак значуще збільшується (приблизно у два рази) для антеріопостеріорних коливань.

Такі зміни спектральних показників узгоджуються зі збільшенням показника LyYsd, який ми обчислювали як відношення довжини траєкторії переміщення ЦТС у сагітальній площині до розкиду в цій площині. Його підвищення показує, що довжина траєкторії руху має відносно більш значне збільшення порівняно з просторовими межами, у яких відбувається рух, тобто ЦТС реалізує більш «швидкі», а точніше, більш високочастотні коливання. Поряд із цим показник LxXsd не збільшується, змін коливань у фронтальній площині в бік вищих частот не спостерігається (рис. 1). Тому можна розглядати розрахункові показники LyYsd і LxXsd певною мірою як аналоги показників спектрального аналізу, однак за можливості рекомендується проводити повноцінний спектральний аналіз стабілограм.

Уважається, що частота коливань центру тиску стоп може надати інформацію про шлях, який використовує людина для підтримання пози: нижча частота (0,1—0,5 Гц) пов'язана з так званою «гомілковостопною стратегією», а вища (0,5—1 Гц, можливо, до 2 Гц) — з «кульшовою» [14]. У реальних умовах обидві стратегії часто використовуються разом або змінюють одна одну, залежно від вимог до підтримання рівноваги, віку, фізичного стану тощо [9]. У здорових людей під час спокійного стояння на стійкій, твердій поверхні переважає гомілковостопна стратегія, при цьому підтримання рівноваги відбувається переважно за рахунок руху в гомілковостопному суглобі, задіяні м'язи гомілки: литковий, камбалоподібний, передній великогомілковий. У складніших умовах, якщо гомілковостопна стратегія неефективна (на слизькій, вузькій або нестабільній поверхні), підтримання рівноваги забезпечується також рухами в кульшових суглобах, залучаються м'язи тулуба й стегон: прямий і зовнішні косі м'язи живота, сідничні м'язи, м'язи-розгиначі спини. Тіло може виконувати протилежні рухи в ділянці тазового поясу та верхній частині тулуба: наприклад, таз подається назад, а тулуб — уперед. Подібна ситуація виникала в дослідженнях під час присідання спортсмена. Потрібно відмітити, що амплітуда постуральних коливань при дотриманні гомілковостопної стратегії менша, переважний напрям коливань — антеріопостеріорний, тоді як при використанні кульшової стратегії амплітуда коливань вища, коливання добре виражені й в антеріопостеріорному, і в медіолатеральному напрямках.

Дослідження з отриманням спектральних характеристик коливань ЦТС можуть допомогти в діагностиці порушень функціонування нервово-м'язової системи [11]. Відмічалося зниження реалізації кульшової стратегії при підвищеній залежності від зорового контролю в учасників дослідження з болем у попереку; автори дослідження пов'язували це зі зміненим м'язовим контролем і порушенням пропріоцепції [8]. Окрім цього, наявність значної потужності високочастотних коливань частотою вище за 3—4 Гц може свідчити про тремор м'язів унаслідок стомлення або певних порушень функціонування структур головного мозку, залучених у моторний контроль, наприклад, при хворобі Паркінсона (частота 4—6 Гц) [6]. Отже, важливим є проведення спектрального аналізу стабілограм, що дасть змогу краще зрозуміти механізми постурального й рухового контролю, а також оцінити можливі порушення постурального балансу.

Висновки. Дослідження спектральних та амплітудно-швидкісних характеристик стабілограм у кваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються у вітрильному спорті, дало змогу виявити низку специфічних особливостей постурального контролю.

В умовах вертикальної стійки не спостерігалося статистично значущого впливу зорової депривації на стабілометричні показники, що свідчить про високий рівень сенсомоторної адаптації та переважне залучення пропріоцептивної системи в постуральну регуляцію.

У складніших умовах підтримання рівноваги, а саме під час присіду, виявлено зміни амплітудно-швидкісних і спектральних показників: у фронтальній площині при ускладненні стійки спостерігалося зменшення частоти та збільшення амплітуд піків спектральної потужності, тоді як у сагітальній площині — зміщення коливань центру тиску стоп у бік високочастотного діапазону, що може свідчити про активізацію швидких коригувальних рухів.

Отримані результати свідчать про формування специфічних нейром'язових стратегій підтримання рівноваги у вітрильному спорті, а спектральний аналіз стабілограм може бути ефективним інструментом для виявлення адаптаційних змін у постуральному контролі спортсменів.

Планується проведення спектрального аналізу стабілограм у групах спортсменів, що спеціалізуються в різних видах спорту, для дослідження механізмів постурального контролю, а також у групах ветеранів для оцінювання можливих порушень постурального балансу.

Література

1. Колосова О, Лисенко О. Оцінка функціонального стану опорно-рухового апарату висококваліфікованих спортсменів-стрибунів у воду [Assessment of the functional state of the musculoskeletal system in elite divers]. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія. 2024;(2):13-21. DOI: https://doi.org/10.32652/spmed.2024.2.13-21.

2. Asseman F, Caron O, Crémieux J. Is there a transfer of postural ability from specific to unspecific postures in elite gymnasts? Neuroscience Letters. 2004;358(2):83-6. DOI: 10.1016/j.neulet.2003.12.102.

3. Błaszczyk JW, Beck M, Sadowska D. Assessment of postural stability in young healthy subjects based on directional features of posturographic data: Vision and gender effects. Acta Neurobiologiae Experimentalis. 2014;74:433-42. DOI: 10.55782/ane-2014-2006.

4. Gaerlan MG, Alpert PT, Cross C, Louis M, Kowalski S. Postural balance in young adults: The role of visual, vestibular and somatosensory systems. Journal of the American Academy of Nurse Practitioners. 2012 Jun;24(6):375-81. DOI: 10.1111/j.1745-7599.2012.00699.x.

5. Garkavenko VV, Gorkovenko AV, Kolosova EV, Korneyev VV, Mel'nichouk AV, Vasilenko DA. Modifications of the stabilogram during upright standing posture under conditions of inclines of the support surface. Neurophysiology. 2012;44:131-7. https://doi.org/10.1007/s11062-012-9279-8.

6. Gimenez FV, Ripka WL, Maldaner M, Stadnik AMW. Stabilometric Analysis of Parkinson's Disease Patients. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2021 Nov;2021:1341-4. DOI: 10.1109/EMBC46164.2021.9629598. PMID: 34891532.

7. Labata-Lezaun N, González-Rueda V, Rodríguez-Sanz J, López-de-Celis C, Llurda-Almuzara L, Rodríguez-Rubio PR, Pérez-Bellmunt A. Correlation between Physical Performance and Stabilometric Parameters in Older Adults. Medicina (Kaunas). 2022 Sep 2;58(9):1211. DOI: 10.3390/medicina58091211.

8. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Hip strategy for balance control in quiet standing is reduced in people with low back pain. Spine (Phila Pa 1976). 2004 Mar 15;29(6):E107-12. DOI: 10.1097/01.brs.0000115134.97854.c9.

9. Morasso P. Integrating ankle and hip strategies for the stabilization of upright standing: An intermittent control model. Frontiers in Computational Neuroscience. 2022:16:1-13. DOI: 10.3389/fncom.2022.956932.

10. Pagliaro A, Alioto A, Rossi C, Baldassano S, Proia P. Performance enhancing strategies in sailing sports: beyond training and nutrition. Human Movement. 2024;25(1):15-25. DOI: https://doi.org/10.5114/hm.2024.136051.

11. Paillard T, Noe F. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. BioMed Research International. 2015; 2015:891390. DOI: 10.1155/2015/891390.

12. Purohit R, Bhatt T. Mobile Brain Imaging to Examine Task-Related Cortical Correlates of Reactive Balance: A Systematic Review. Brain Science. 2022 Nov 2;12(11):1487. DOI: 10.3390/brainsci12111487.

13. Quijoux F, Nicolaï A, Chairi I, Bargiotas I, Ricard D, Yelnik A, Oudre L, Bertin-Hugault F, Vidal PP, Vayatis N, Buffat S, Audiffren J. A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. Physiological Reports. 2021 Nov;9(22):e15067. DOI: 10.14814/phy2.15067.

14. Runge CF, Shupert CL, Horak FB, Zajac FE. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. Gait Posture. 1999 Oct;10(2):161-70. DOI: 10.1016/s0966-6362(99)00032-6.].

15. Wilczyński J. Postural Stability in Goalkeepers of the Polish National Junior Handball Team. Journal of Human Kinetics. 2018;63:161-70. DOI: 10.2478/hukin-2018-0016.

16. Zemková E. Sport-specific balance. Sports Medicine. 2014; 44(5):579-590. DOI: 10.1007/s40279-013-0130-117.

ORCID 0000-0001-9263-805X, olena_kolos@ukr.net
ORCID 0000-0003-3552-2717, ksavchenko@uni-sport.edu.ua
ORCID 0000-0001-7495-7030, rusanova2080@gmail.com

Надійшла 30.05.2025
Прийнята 12.06.2025
Опублікована 10.09.2025