DOI: https://doi.org/10.32782/spmed.2024.2.13-21

Оцінка функціонального стану опорно-рухового апарату висококваліфікованих спортсменів-стрибунів у воду

УДК 612.741.16+612.816.3+612.76+612.84+616-072.7

О. В. Колосова [1,2], О. М. Лисенко[1,3]

[1]Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна
[2]Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, Київ, Україна
[3]Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

Резюме.

Резюме. Розглянуто функціональний стан опорно-рухового апарату висококваліфікованих спортсменів, що спеціалізуються в стрибках у воду. *Мета.* Оцінка функціонального стану опорно-рухового апарату висококваліфікованих спортсменів-стрибунів у воду і виявлення можливих функціональних порушень за допомогою методів електронейроміографії та стабілометрії. *Методи.* Електронейроміографічне дослідження проводили за допомогою комп'ютерного електронейроміографа M-Test DX Systems. Використовували методику Н-рефлексометрії камбалоподібного м'яза нижньої кінцівки, а також визначення швидкості проведення нервового імпульсу по моторних та сенсорних волокнах серединного нерва верхньої кінцівки. Стабілометрічне дослідження проводили з використанням комп'ютерного стабілоаналізатора «Стабілан-01-2». *Результати.* Виявлено підвищення порогів виникнення Н- і М-відповідей та зниження амплітуд максимальних Н-відповідей і співвідношення максимальних Н- та М-відповідей у третини осіб групи спортсменів-стрибунів у воду. Показано підвищення латентностей м'язових відповідей на стимуляцію серединного нерва у половини спортсменів із групи. Встановлено статистично значущу кореляцію показників Н-рефлексометрії та стабілометрії, що свідчить про подібно спрямовані зміни функціонального стану нервової системи та рівня постурального балансу. В групі висококваліфікованих спортсменів-стрибунів у воду у значної частини осіб виявлено відхилення електронейроміографічних показників від норми, що може бути ранньою діагностичною ознакою компресії сенсорних волокон нервів крижового сплетіння, а також тунельного синдрому карпального каналу. Встановлено, що всі спортсмени-стрибуни у воду з досліджуваної групи мають високий рівень постурального балансу з індивідуальним співвідношенням внеску пропріоцептивної та зорової систем. Існує необхідність регулярного комплексного обстеження висококваліфікованих спортсменів з оцінкою постурального балансу та стану нервової і м'язової систем для раннього виявлення порушень.

Ключові слова: електронейроміографія, Н-рефлекс, швидкість проведення імпульсу, постуральний баланс, спортсмени-стрибуни у воду.

Evaluation of the functional status of the musculoskeletal system in elite diving athletes

O. V. Kolosova[1,2], O. M. Lysenko[1,3]

[1]National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine
[2]Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[3]Borys Grinchenko University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Abstract. The article examines the functional status of the musculoskeletal system in elite diving athletes. *Objective.* To evaluate the functional status of the musculoskeletal system in elite diving athletes and to identify potential functional disorders using the methods of electroneuromyography and stabilometry. *Methods.* The electroneuromyographic study was performed using a computerized electroneuromyograph M-Test DX Systems. The H-reflex of the soleus muscle of the lower extremity was studied, as well as the nerve conduction velocity in the motor and sensory fibers of the median nerve of the upper extremity was measured. The stabilometry study was performed using a computerized stabilometric analyzer "Stabilan-01-2". *Results.* The increase of

© О. В.Колосова, О. М. Лисенко, 2024

thresholds of occurrence of H- and M-responses and decrease of amplitudes of maximum H-responses and ratio of maximum H- and M-responses was revealed in one third of diving athletes. The increase in latencies of muscle responses to stimulation of the median nerve was shown in half of the athletes from the group. A statistically significant correlation between H-reflex and stabilometry measures was established, which indicates similarly directed changes in the functional status of the nervous system and the level of postural balance. In a group of elite diving athletes, a significant proportion of individuals showed deviations of electroneuromyographic parameters from the norm, which may be an early diagnostic sign of compression of the sensory fibers of the sacral plexus nerves, as well as carpal tunnel syndrome. It was found that all diving athletes from the studied group have a high level of postural balance with an individual ratio of the contribution of the proprioceptive and visual systems. There is a need for a regular comprehensive examination of highly skilled athletes with an assessment of postural balance and the status of the nervous and muscular systems to early detect disorders.
Keywords: electroneuromyography, H-reflex, nerve conduction velocity, postural balance, diving athletes.

Постановка проблеми. М'язово-скелетні травми, що спричиняють порушення роботи опорно-рухового апарату (ОРА) спортсменів, є однією з найсерйозніших проблем спортивної медицини, оскільки вони призводять до пропусків тренувань та змагань, а також до зниження спортивних результатів, до того ж їхнє лікування потребує значних економічних витрат [14]. Зміни функціонального стану нервової та м'язової систем спортсмена під час адаптації до фізичних навантажень і після травмування можна оцінити за допомогою електронейроміографічного (ЕНМГ) методу з визначенням амплітудно-швидкісних показників проведення імпульсу по нервах верхньої кінцівки та моносинаптичної рефлекторної відповіді камбалоподібного м'яза — Н-рефлекса [10].

Для оцінювання роботи ОРА важливим є також дослідження постуральної регуляції, в якій беруть участь опорно-рухова, центральна та периферична нервові системи організму спортсмена [1, 18]. Основне навантаження серед органів чуття несуть зорова та пропріоцептивна системи, при поворотах і нахилах голови значну роль відіграє також вестибулярний апарат. Сенсорні сигнали інтегруються у центральній нервовій системі, яка формує рухові імпульси для постуральних м'язів для забезпечення стабільності положення тіла [6]. Стан різних систем, які беруть участь у підтриманні балансу тіла, можна оцінити за характеристиками коливань — амплітудою, частотою, напрямком [9].

На думку учених, на сьогодні є нагальна потреба широкого впровадження специфічної тренувальної програми для запобіганняння травмування спортсменів [4], до того ж доведена ефективність комплексних довготривалих програм, спрямованих на силове та пропріоцептивне тренування, у зниженні кількості спортивних травм більше ніж наполовину [12].

Отже, не викликає сумнівів необхідність діагностики стану ОРА спортсменів, що спеціалізуються в стрибках у воду, з метою своєчасного виявлення порушень його функціонування, а також подальшої розробки ефективної індивідуальної тренувальної та реабілітаційної програми.

Роботу виконано у Науково-дослідному центрі Навчально-наукового інституту здоров'я, реабілітації та фізичного виховання НУФВСУ відповідно до тематичного плану наукових досліджень та розробок, які виконує Національний університет фізичного виховання та спорту України за рахунок коштів державного бюджету у 2023—2024 рр. за темою «Прогнозування стресореактивності спортсменів та військовослужбовців в умовах періоду глобальних змін і невизначеності за психофізіологічними та нейрофізіологічними критеріями» (номер держреєстрації 0123U102226).

Мета дослідження — оцінювання функціонального стану ОРА висококваліфікованих спортсменів, які спеціалізуються у стрибках у воду, і виявлення можливих функціональних порушень за допомогою методів електронейро-міографії та стабілометрії.

Методи дослідження: електронейроміографічне дослідження, статистична обробка отриманих даних.

Результати дослідження та їх обговорення. У дослідженні брали участь 10 висококваліфікованих спортсменів, які спеціалізуються у стрибках у воду, сім чоловіків та три жінки, середній вік 19,6 ± 1,6 року.

Електронейроміографічне дослідження проводили за допомогою комп'ютерного електронейроміографа M-Test DX Systems (Україна). Використовували методику Н-рефлексометрії камбалоподібного м'яза нижньої кінцівки (*m. soleus*) [10, 16]. Н-рефлекс викликали біполярною черезшкірною стимуляцією великогомілкового нерва нижньої кінцівки (n. tibialis) у підколінній ямці (поодиноким прямокутним імпульсом тривалістю 1 мс з інтервалами між імпульсами не менше 10 с). Використовували також мето-

дику визначення швидкості проведення нервового імпульсу (ШПІ) по моторних та сенсорних волокнах серединного нерва верхньої кінцівки (*n. medianus*) [13]. Під час дослідження верхніх кінцівок тестований перебував у положенні сидячи, руки вільно розташовувалися на кушетці, а у ході дослідження нижніх кінцівок — у положенні лежачи на животі, стопи вільно звисали з кушетки.

Аналізували такі показники Н-рефлексометрії: пороги виникнення Н-відповіді та М-відповіді (прямої відповіді м'яза на подразнення моторних волокон нерва), амплітуди максимальної Н-відповіді та максимальної М-відповіді, співвідношення порогів та амплітуд Н- та М-відповідей. Визначали швидкість проведення нервового імпульсу по моторних та сенсорних волокнах *n. medianus* на ділянці передпліччя верхньої кінцівки (ліктьовий згин—зап'ясток), а також амплітуди відповідей м'язів підвищення великого пальця верхньої кінцівки на ортодромну стимуляцію моторних волокон та амплітуди відповідей м'язів—згиначів другого пальця верхньої кінцівки на антидромну стимуляцію сенсорних волокон *n. medianus* в проксимальній (ліктьовий згин) та дистальній (зап'ясток) ділянках верхньої кінцівки. Одержували індивідуальні показники, а в подальшому розраховували середні показники для групи, окремо для правої та лівої кінцівок.

Дослідження постурального балансу проводили з використанням комп'ютерного стабілоаналізатора «Стабілан-01-2» в умовах прямої вертикальної стійки, яку в стабілометрії зазвичай позначають терміном «основна стійка» [9]. Під час тесту спортсмен стояв на стабілоплатформі без взуття, руки вільно розташовувались вздовж тулуба. Проводили реєстрацію руху центру тиску стоп в таких положеннях тіла: основна стійка із широкою базою опори (відстанню між стопами), стопи в європейській позиції, а саме — п'яти поруч, носки нарізно; основна стійка зі звуженою базою опори, а саме — стопи поруч, паралельно одна одній. В обох положеннях тіла проводили проби як із розплющеними, так і з заплющеними очима. Час реєстрації кожної проби дорівнював 20 с.

Для кожної проби визначали такі стабілометричні показники: Xc, мм — відхилення середнього положення центру тиску стоп (ЦТС) по осі абсцис (у фронтальній площині, вправо або вліво від центру координат платформи); Yc, мм — відхилення середнього положення ЦТС по осі ординат (у сагітальній площині, вперед або назад від центру координат платформи); Xsd, мм — розкид (середнє квадратичне відхилення) у фронтальній площині; Ysd, мм — розкид (середнє квадратичне відхилення) у сагітальній площині; Vx, мм $\cdot$ с$^{-1}$ — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у фронтальній площині, Vy, мм $\cdot$ с$^{-1}$ — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у сагітальній площині, V, мм $\cdot$ с$^{-1}$ — середня лінійна швидкість переміщення ЦТС у площині платформи, S, мм^2 — площа статокінезіограми, Vs, мм^2 $\cdot$ с$^{-1}$ — швидкість зміни площі статокінезіограми. Час реєстрації кожної проби дорівнював 20 с.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми IBM SPSS Statistics, версія 23.0. Статистичну значущість різниці середніх значень показників у групі визначали за допомогою порівняльного аналізу ANOVA. Для оцінки залежності певної величини від зорової депривації та звуження бази опори на платформу проводили двофакторний дисперсійний аналіз з повторюваними вимірюваннями. При цьому внутрішньогруповими факторами виступали наявність зорового контролю, яка мала дві категорії — розплющені та заплющені очі, і ширина вертикальної стійки, що складалася з двох рівнів — широка і вузька стійка (база опори на платформу). За рівень статистичної значущості приймали $p < 0,05$.

Під час проведення 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 та Гельсінкської декларації 2000 р. та директиви Європейської Спілки 86/609 щодо участі людей у медико-біологічних дослідженнях.

Аналіз результатів показав, що у більшості спортсменів із групи спортсменів-стрибунів у воду показники Н-рефлексометрії знаходилися в межах референтних значень. Потрібно відмітити, що при цьому коефіцієнт право-лівобічної асиметрії, який обчислювався як співвідношення аналогічних показників з правого та лівого боків тіла (а саме відношення більшого показника до меншого), був вище фізіологічної норми, що може бути пов'язано з асиметричним навантаженням ОРА спортсменів під час тренувально-змагальної діяльності (табл. 1, 2).

У певної частини групи обстежених спостерігалися відхилення показників Н-рефлексометрії від референтних значень, а саме — суттєве підвищення порогів виникнення Н- і М-відповідей та співвідношень порогів виникнення Н- і М-відповідей (у 10 % учасників через збільшення

порогів Н-відповіді вище 30 мА не вдалося отримати максимальні М-відповіді), а також значне зниження амплітуд максимальних Н-відповідей і співвідношень амплітуд максимальних Н- і М-відповідей (у 20 % учасників було виявлено відповідні порушення, більше виражені з одного (правого) боку тіла) (див. табл. 1, 2). Таким чином, порушення стосувалися переважно структур аферентної частини дуги спінального рефлексу; такі відхилення показників Н-рефлексометрії від норми є ознакою сегментарної демієлінізації та/або аксональної дегенерації сенсорних волокон великогомілкового нерва внаслідок компресії спинномозкових або периферичних нервів крижового сплетіння паравертебральними м'язами або розташованими по ходу нервів м'язами тазового поясу та нижніх кінцівок.

Отримані результати узгоджуються з результатами наших попередніх досліджень у групах спортсменів, які спеціалізуються у інших видах спорту; відхилення від норми показників Н-рефлексометрії та загальні характеристики Н- і М-відповідей були аналогічними [2].

Виявлено, що як індивідуальні, так і середні величини швидкості нервового імпульсу по моторних та сенсорних волокнах серединного нерва (*n. medianus*) у спортсменів-стрибунів у воду знаходились у межах референтних значень (табл. 3). Коефіцієнти право-лівобічної асиметрії також були в межах фізіологічної норми, при цьому швидкість по моторних та сенсорних волокнах серединного нерва з правого боку тіла мала тенденцію бути вищою, ніж аналогічний показник з лівого боку, що може бути пов'язано з домінуванням правої верхньої кінцівки у спортсменів досліджуваної групи (див. табл. 3).

Було отримано показники латентностей м'язових відповідей, що можуть з великою чутливістю та специфічністю підтвердити або відхилити припущення наявності тунельного синдрому карпального каналу, який може виникати внаслідок тривалого положення кисті в положенні згинання чи розгинання, запалення сухожиль, розтягнення та інших травматичних пошкоджень зап'ястка і який є найпоширенішим синдромом компресії серединного нерва (табл. 4). Так, позитивною ознакою такого тунельного синдрому вважається підвищення дистальної моторної латентності до величин більше 4,2 мс та/або дистальної сенсорної латентності більше 3,2 мс [8], а також збільшення резидуальної моторної латентності більше 2,5–3 мс [11]. Встановлено, що

ТАБЛИЦЯ 1 – **Показники Н-рефлексометрії: амплітуди максимальних Н- та М-відповідей (mean ± se)**

Показник	Амплітуда максимальної Н-відповіді		Кас	Амплітуда максимальної М-відповіді		Кас
	Правий бік	Лівий бік		Правий бік	Лівий бік	
Норма, n = 7	5,0 ± 0,8	6,6 ± 1,0	**1,56 ± 0,14**	9,0 ± 1,3	10,3 ± 1,3	**1,28 ± 0,13**
Однобічні порушення, n = 2	**0,9 ± 0,4**	4,0 ± 0,5	**5,69 ± 3,07**	15,3 ± 0,4	12,6 ± 1,2	1,22 ± 0,09
Референтне значення	> 3 мВ		< 1,25	> 3 мВ		< 1,25

Примітка. Жирним шрифтом виділено значення показників, що виходять за межі референтних. Кас – коефіцієнт асиметрії (правий-лівий боки тіла).

ТАБЛИЦЯ 2 – **Показники Н-рефлексометрії: співвідношення амплітуд максимальних Н- та М-відповідей (mean ± se)**

Показник	Співвідношення амплітуд максимальних Н- та М-відповідей		Кас
	Правий бік	Лівий бік	
Норма, n = 7	59,5 ± 7,6	65,6 ± 9,2	**1,54 ± 0,19**
Однобічні порушення, n = 2	**6,2 ± 2,9**	**31,7 ± 0,7**	**6,60 ± 3,19**
Референтне значення	40–100 %		< 1,25

Примітка. Виділено значення показників, що виходять за межі референтних. Кас – коефіцієнт асиметрії (правий-лівий бік тіла).

ТАБЛИЦЯ 3 – **Швидкість проведення імпульсу по n. medianus (mean ± se), n = 10**

Показник	ШПІмот		Кас	ШПІсенс		Кас
	Правий бік	Лівий бік		Правий бік	Лівий бік	
	61,8 ± 1,7	56,4 ± 2,4	1,15 ± 0,03	60,1 ± 2,0	57,2 ± 2,2	1,17 ± 0,04
Референтне значення	> 50 м/с		< 1,25	> 50 м/с		< 1,25

Примітка. ШПІмот – швидкість проведення імпульсу по моторних волокнах серединного нерва, ШПІсенс – швидкість проведення імпульсу по сенсорних волокнах серединного нерва, Кас – коефіцієнт асиметрії (правий-лівий бік тіла).

ТАБЛИЦЯ 4 – **Швидкісні показники проведення імпульсу по n. medianus (mean ± se), n = 10**

Показник	Дистальна латентність, моторна		Дистальна латентність, сенсорна		Резидуальна латентність, моторна	
	Правий бік	Лівий бік	Правий бік	Лівий бік	Правий бік	Лівий бік
Норма, n = 5	3,87 ± 0,14	3,48 ± 0,20	2,72 ± 0,14	2,63 ± 0,16	2,57 ± 0,12	2,15 ± 0,29
Однобічні порушення, n = 2	**4,85 ± 0,35**	4,13 ± 0,03	2,93 ± 0,03	2,90 ± 0,15	**3,58 ± 0,22**	2,59 ± 0,05
Двобічні порушення, n = 3	**5,05 ± 0,24**	**4,95 ± 0,09**	**3,45 ± 0,21**	3,20 ± 0,20	**3,78 ± 0,22**	**3,66 ± 0,15**
Референтне значення	< 4,2 мс		< 3,2 мс		< 3,0 мс	

Примітка. Виділено значення показників, що виходять за межі референтних.

ТАБЛИЦЯ 5 – **Амплітудні показники м'язових відповідей на стимуляцію моторних волокон n. medianus**

Показник	Амот, правий бік		Кдп	Амот, лівий бік		Кдп
	Проксимальна ділянка	Дистальна ділянка		Проксимальна ділянка	Дистальна ділянка	
	8,62 ± 1,51	**9,42 ± 1,76**	**1,14 ± 0,19**	**7,98 ± 1,66**	**9,76 ± 1,61**	**1,46 ± 0,26**
РЗ	> 5 мВ		< 1,25	> 5 мВ		< 1,25

Примітка. Виділено значення показників, що виходять за межі референтних. РЗ – референтне значення, Амот – амплітуда відповіді м'яза, що відводить великий палець руки (*m.abductor pollicis brevis*) на стимуляцію моторних волокон, Кдп – коефіцієнт дистально-проксимальний (співвідношення амплітуд м'язових відповідей на стимуляцію у дистальній (зап'ясток) та проксимальній (ліктьовий згин) точках

ТАБЛИЦЯ 6 – **Амплітудні показники м'язових відповідей на стимуляцію сенсорних волокон n. medianus**

Показник	Асенс, правий бік		Кдп	Асенс, лівий бік		Кдп
	Проксимальна ділянка	Дистальна ділянка		Проксимальна ділянка	Дистальна ділянка	
	42,14 ± 5,93	72,13 ± 9,76*	**1,84 ± 0,21**	50,24 ± 7,80	72,25 ± 6,87*	**1,67 ± 0,21**
РЗ	> 20 мкВ		< 1,25	> 20 мкВ		< 1,25

Примітка. Виділено значення показників, що виходять за межі референтних. РЗ – референтне значення, Асенс – амплітуда м'язової відповіді м'язів-згиначів другого пальця руки на стимуляцію сенсорних волокон серединного нерва, Кдп – коефіцієнт дистально-проксимальний (співвідношення амплітуд м'язових відповідей на стимуляцію у дистальній (зап'ясток) та проксимальній (ліктьовий згин) точках. * $p < 0,05$ – статистична значущість різниці показників для проксимальної та дистальної ділянок

у 50 % осіб з досліджуваної групи показники латентностей були в межах референтних значень, але у 20 % осіб спостерігалися однобічні порушення (з правого боку тіла), а у 30 % осіб – двобічні порушення (див. табл. 4). Такі відхилення часових показників проведення імпульсу по n.medianus від референтних значень можуть слугувати ранньою діагностичною ознакою тунельного синдрому карпального каналу.

Амплітудні показники м'язових відповідей на стимуляцію моторних та сенсорних волокон *n. medianus* знаходились у межах референтних значень, але амплітуди сенсорних проксимальних відповідей були статистично значуще нижчими, ніж відповідних дистальних, а також спостерігалася тенденція до відносного зменшення амплітуд моторних проксимальних відповідей порівняно з відповідними дистальними, що може бути ранньою ознакою певної компресії серединного нерва в ділянках ліктьових суглобів (табл. 5, 6). Наявність таких порушень функціонування периферичної нервової системи підтверджується також підвищенням середнього по групі дистально-проксимального коефіцієнта (який обчислювався як співвідношення аналогічних показників для дистальної та проксимальної точок стимуляції), значення якого було вищим 1,25 для сенсорних відповідей з обох боків тіла та моторних відповідей з лівого боку тіла (див. табл. 5, 6).

Аналіз результатів наших досліджень показав, що у всіх обстежених було виявлено високий рівень постурального балансу: центр тиску стоп у фронтальній площині розташовувався в межах 10 мм праворуч або ліворуч від центральної поздовжньої осі платформи за всіх умов досліджень, включно з найскладнішими – стійка із заплющеними очима з положеннями стоп поруч.

За результатами двофакторного дисперсійного аналізу впливу зорової депривації та ширини стійки на стабілометричні показники спортсменів не було виявлено статистично значущого впливу фактора зорового контролю та фактора ширини стійки на положення ЦТС у фронтальній площині, тобто ЦТС не зазнавав істотних медіолатеральних переміщень при заплющенні очей або при переході до більш складної звуженої стій-

ТАБЛИЦЯ 7 — **Результати дисперсійного аналізу впливу факторів зорового контролю та ширини стійки на стабілометричні показники спортсменів, n = 10**

Показник	Фактор					
	Зоровий контроль		Ширина стійки		Зоровий контроль × Ширина стійки	
	F	p	F	p	F	p
Xc, мм	0,998	0,344	0,460	0,515	0,031	0,864
Yc, мм	1,148	0,312	**5,934**	**0,038***	0,038	0,849
Xsd, мм	**15,107**	**0,004****	**29,667**	**0,000****	2,789	0,129
Ysd, мм	2,651	0,138	**13,613**	**0,005****	4,816	0,056
V, мм · с$^{-1}$	**15,373**	**0,004****	**49,872**	**0,000****	**26,604**	**0,001****
Vx, мм · с$^{-1}$	**13,113**	**0,006****	**32,527**	**0,000****	**31,038**	**0,000****
Vy, мм · с$^{-1}$	**15,378**	**0,004****	**60,168**	**0,000****	**10,770**	**0,010***
S, мм^2	**5,752**	**0,040***	**26,189**	**0,001****	**9,803**	**0,012***
Vs, мм^2 · с$^{-1}$	**8,430**	**0,017***	**45,137**	**0,000****	**21,175**	**0,001****

Примітка. Виділено статистично значущі показники впливу факторів, *p < 0,05, ** p < 0,01.

ки, що підтверджує високий рівень постурального балансу висококваліфікованих спортсменів-стрибунів у воду. Фактор зорового контролю не впливав також на положення ЦТС у сагітальній площині, при цьому виявлено вплив фактора ширини стійки на цей показник — загалом при переході до звуженої стійки спостерігалося переміщення ЦТС в середньому на відстань близько 5 мм, пов'язане з нахилом тіла вперед.

Слід відмітити, що за результатами наших попередніх досліджень, у 29 % осіб з групи гандболістів-юніорів центр тиску стоп у фронтальній площині в основній стійці був зміщений більше ніж на 10 мм праворуч або ліворуч від центральної поздовжньої осі платформи, крім цього, при зменшенні бази опори спостерігалося статистично значуще переміщення центру тиску стоп у фронтальній площині, при цьому у 41 % осіб із групи величина зміщення перевищувала 10 мм [3]. Такі відмінності показників у групах спортсменів, які спеціалізуються в складнокоординаційних та командних видах спорту, можуть бути пов'язані з різною спрямованістю тренувань.

У досліджуваній групі спортсменів-стрибунів у воду фактор зорового контролю мав статистично значущий вплив на розкид у фронтальній площині, тоді як на розкид у сагітальній площині впливу зорової депривації не спостерігалося, але фактор ширини стійки, що пов'язаний зі зручністю пози, мав статистично значущий вплив на розкид як у фронтальній, так і сагітальній площинах. Таким чином, при переході до більш складної звуженої стійки збільшувалась амплітуда як медіолатеральних, так і антеріопостеріорних коливань центру тиску стоп (табл. 7).

Не було виявлено впливу взаємодії факторів зорового контролю та ширини стійки на показники положення та розкиду ЦТС, але спостерігалась значуща взаємодія цих двох факторів для показників швидкості та площі, тому для останніх стабілометричних показників було проведено також однофакторний дисперсійний аналіз з повторюваними вимірюваннями окремо для внутрішньогрупових факторів зорового контролю та ширини стійки (табл. 8, 9).

За результатами додаткового аналізу, фактор зорового контролю мав статистично значущий вплив на показники площі статокінезіограми та швидкості руху центру тиску стоп, тобто при заплющених очах площа статокінезіограми та

ТАБЛИЦЯ 8 — **Результати дисперсійного аналізу впливу фактора зорового контролю на стабілометричні показники**

Показник	Широка стійка		Вузька стійка	
	F	p	F	p
V, мм · с$^{-1}$	**7,920**	**0,020***	**20,323**	**0,001****
Vx, мм · с$^{-1}$	3,859	0,081	**23,670**	**0,001****
Vy, мм · с$^{-1}$	**10,304**	**0,011***	**15,996**	**0,003****
S, мм^2	3,595	0,090	**7,012**	**0,027***
Vs, мм^2 · с$^{-1}$	3,971	0,077	**11,407**	**0,008****

Примітка. Виділено статистично значущі показники впливу факторів, *p < 0,05, ** p < 0,01.

ТАБЛИЦЯ 9 — **Результати дисперсійного аналізу впливу фактору ширини стійки на стабілометричні показники**

Показник	Очі розплющені		Очі заплющені	
	F	p	F	p
V, мм · с$^{-1}$	**59,372**	**0,000****	**42,797**	**0,000****
Vx, мм · с$^{-1}$	**18,549**	**0,002****	**38,167**	**0,000****
Vy, мм · с$^{-1}$	**112,576**	**0,000****	**32,139**	**0,000****
S, мм^2	**13,617**	**0,005****	**24,472**	**0,001****
Vs, мм^2 · с$^{-1}$	**54,693**	**0,000****	**34,915**	**0,000****

Примітка. Виділено статистично значущі показники впливу факторів, *p < 0,05, ** p < 0,01.

ТАБЛИЦЯ 10 – **Коефіцієнт Ромберга в групі спортсменів-стрибунів у воду, n = 10**

Підгупа	«Європейська» стійка	Стійка «стопи поруч»
1	100,4 ± 8,7 5	104,0 ± 10,8 4
2	192,0 ± 11,8 3	212,7 ± 27,7 3
3	386,5 ± 106,5 2	362,0 ± 40,1 3

Примітка. У стовпчик розташовані: величина коефіцієнта Ромберга, кількість осіб у підгрупі.

довжина траєкторії руху центру тиску стоп були більшими, ніж за умов розплющених очей; вплив зорової депривації був більше виражений в умовах вузької стійки (див. табл. 8). Це узгоджується з результатами, отриманими під час дослідження постурального балансу гандболістів-юніорів національної команди Польщі: швидкість центру тиску стоп була більшою в умовах заплющених очей [17].

Фактор ширини стійки, що пов'язаний зі зручністю пози, мав статистично значущий вплив на показники площі статокінезіограми та швидкості руху центру тиску стоп. Таким чином, при переході до більш складної звуженої стійки площа статокінезіограми та довжина траєкторії руху центру тиску стоп збільшувались в умовах як розплющених, так і заплющених очей (див. табл. 9).

З метою оцінки співвідношення між зоровою та пропріоцептивною системами у контролі постурального балансу в основній стійці розраховували коефіцієнт Ромберга як відношення площі статокінезіограми в умовах заплющених очей до цього показника в умовах розплющених очей. Значення коефіцієнта Ромберга, наближені до 100 %, свідчать про переважний внесок пропріоцептивної системи у підтриманні рівноваги; значення, наближені до 300 %, свідчать про вплив переважно зорової системи на підтримання пози тіла. Згідно з отриманими результатами, групу спортсменів було розподілено на три підгрупи. Для спортсменів підгрупи 1 характерним було переважання внеску пропріоцептивної системи у постуральний баланс (значення коефіцієнта Ромберга близько 100 %, у деяких спортсменів менше 100 %). Для осіб підгрупи 3 важливішою була зорова система (значення коефіцієнта Ромберга близько 300 %, у деяких спортсменів більше 300 %), а у спортсменів підгрупи 2 спостерігався баланс пропріоцептивної та зорової систем (значення коефіцієнта Ромберга близько 200 %) (табл. 10).

Виявлено статистично значущу негативну кореляцію між величинами розкиду центру тиску стоп у сагітальній площині та співвідношенням максимальних Н- та М-відповідей з лівого боку тіла як у широкій, так і вузькій стійці, в умовах розплющених очей. Аналогічну кореляцію встановлено між показниками швидкості руху ЦТС та амплітудами максимальної Н-відповіді з обох боків тіла за різних умов зорового контролю та ширини стійки, а також між показниками площі статокінезіограми та співвідношенням максимальних Н- та М-відповідей з лівого боку тіла, у широкій стійці в умовах розплющених та заплющених очей та у вузькій стійці в умовах розплющених очей (табл. 11, 12).

Вважається, що швидкість ЦТС характеризує сумарну м'язову активність, необхідну для підтримання рівноваги: чим меншою є величина швидкості, тим кращий постуральний контроль [15]. Розкид у фронтальній та сагітальній площинах є показником варіабельності рухів ЦТС, який можна використовувати для оцінювання відмінностей в групах здорових людей та осіб з порушеннями функціонування ОРА, а також людей різного віку

ТАБЛИЦЯ 11 – **Кореляційні зв'язки показників Н-рефлексометрії та стабілометрії в групі спортсменів-стрибунів у воду в умовах широкої бази опори**

Показник	Зоровий контроль	Ysd, мм	V, мм · с$^{-1}$	Vx, мм · с$^{-1}$	Vy, мм · с$^{-1}$	Vs, мм^2 · с$^{-1}$
Амплітуда максимальної Н-відповіді, лівий бік тіла, мВ	ОР		–0,600 0,067# 10	–0,576 0,082# 10	–0,552 0,098# 10	
	ОЗ		–0,644 0,044* 10	–0,711 0,021* 10		
Співвідношення максимальних Н/М-відповідей, лівий бік тіла, мВ	**ОР**	–0,750 0,020* 9	–0,883 0,002** 9	–0,783 0,013* 9	–0,833 0,005** 9	–0,728 0,026* 9
	ОЗ		–0,728 0,026* 9	–0,611 0,081# 9	–0,695 0,038* 9	–0,717 0,030* 9

Примітка. * p < 0,05, **p < 0,01, #p < 0,10 – статистична значущість коефіцієнта кореляції. У стовпчик розташовані: коефіцієнт кореляції за Спірменом, статистична значущість коефіцієнта кореляції, кількість осіб у групі. ОР – очі розплющені, ОЗ – очі заплющені.

ТАБЛИЦЯ 12 — **Кореляційні зв'язки показників Н-рефлексометрії та стабілометрії в групі спортсменів-стрибунів у воду в умовах вузької бази опори**

Показник	Зоровий контроль	Ysd, мм	V, мм · с⁻¹	Vx, мм · с⁻¹	Vy, мм · с⁻¹	S, мм² · с⁻¹	Vs, мм² · с⁻¹
Амплітуда максимальної Н-відповіді, правий бік тіла, мВ	ОЗ			–0,624 0,054# 10			
Амплітуда максимальної Н-відповіді, лівий бік тіла, мВ	ОР			–0,644 0,044* 10	–0,669 0,035* 10		
	ОЗ		–0,733 0,016* 10	–0,709 0,022* 10	–0,697 0,025* 10		
Співвідношення максимальних Н/М-відповідей, лівий бік тіла, мВ	**ОР**	–0,767 0,016* 9	–0,667 0,050* 9	–0,653 0,057# 9	–0,879 0,002** 9	–0,683 0,042* 9	–0,717 0,030* 9
	ОЗ		–0,683 0,042* 9		–0,683 0,042* 9		

Примітка. * p < 0,05, **p < 0,01, #p < 0,10 – статистична значущість коефіцієнта кореляції. У стовпчик розташовані: коефіцієнт кореляції за Спірменом, статистична значущість коефіцієнта кореляції, кількість осіб у групі. ОР – очі розплющені, ОЗ – очі заплющені.

[7], а менша площа статокінезіограми відповідає кращій загальній ефективності постурального контролю [5].

Отже, результати кореляційного аналізу показали, що чим нижчими були величини розкиду та швидкості ЦТС, а також площі і швидкості зміни площі статокінезіограми, тим вищими були показники Н-рефлексометрії — амплітуди Н-відповідей та співвідношення Н- та М-відповідей. Таким чином, у спортсменів-стрибунів у воду з кращим функціональним станом нервової та м'язової систем було виявлено вищий рівень постурального балансу (див. табл. 11, 12). Можна припустити, що спортсмени, які мають відхилення показників Н-рефлексометрії від норми, зможуть покращити постуральний баланс після проходження відповідного курсу реабілітації.

Отже, дані, отримані за допомогою електронейроміографічного та стабілометричного методів дослідження, дозволяють оцінити функціональний стан опорно-рухового апарату та постуральний баланс висококваліфікованих спортсменів, виявити порушення внаслідок дезадаптації до фізичного навантаження або травмування. Такі результати стануть у нагоді тренерам та спортивним лікарям для розробки індивідуальної тренувальної та реабілітаційної програми, спрямованої на збереження здоров'я кожного спортсмена та підвищення ефективності тренувально-змагальної діяльності.

Висновки:

1. Встановлено, що у 30 % осіб із групи спортсменів, які спеціалізуються в стрибках у воду, є відхилення показників Н-рефлексометрії від референтних значень — підвищення порогів виникнення Н- і М-відповідей, зниження амплітуд максимальних Н-відповідей і співвідношень амплітуд максимальних Н- і М-відповідей, що може слугувати ознакою синдрому компресії сенсорних волокон спинномозкових або периферичних нервів крижового сплетіння.

2. Виявлено, що величини швидкості нервового імпульсу по моторних та сенсорних волокнах серединного нерва верхньої кінцівки (n. medianus) в обстежених спортсменів знаходяться в межах референтних значень, але у 50 % осіб із групи спостерігається збільшення дистальної та резидуальної латентностей м'язових відповідей, що може слугувати ранньою діагностичною ознакою тунельного синдрому карпального каналу.

3. Показано, що всі спортсмени з обстеженої групи мають високий рівень постурального балансу: в основній вертикальній стійці середнє положення центру тиску стоп у фронтальній площині розташовується в межах 10 мм праворуч або ліворуч від центру координат, а також центр тиску стоп не зазнає істотних медіолатеральних переміщень при заплющенні очей або при переході до більш складної звуженої стійки.

4. Ускладнення умов вертикальної стійки, такі як зорова депривація та звуження бази опори тіла, призводять до змін амплітудно-швидкісних параметрів коливань у фронтальній і сагітальній площинах, при цьому зорова депривація спричиняє до збільшення площі статокінезіограми та швидкості руху центру тиску стоп, більше вираженого в умовах вузької стійки, а зміна ширини стійки — до збільшення площі статокінезіограми та швидкості руху центру тиску стоп в умовах як розплющених, так і заплющених очей.

5. Виявлено статистично значущу кореляцію показників Н-рефлексометрії та стабілометрії, що свідчить про подібно спрямовані зміни функціонального стану нервової системи та рівня постурального балансу та підтверджує важливість регулярного комплексного обстеження висококваліфікованих спортсменів.

Таким чином, існує необхідність регулярного оцінювання функціонального стану опорно-рухового апарату та постурального балансу спортсменів-стрибунів у воду для раннього виявлення порушень та вчасного проведення реабілітаційних заходів, а також розробки та широкого використання комплексу вправ, спрямованих на розвиток стійкості, з використанням методу біологічного зворотного зв'язку.

Література

1. Болобан ВН, Мистулова ТЕ. Стабилография: достижения и перспективы [Stabilography: Advances and prospects]. Наука в олимпийском спорте. 2000; Специальный выпуск: 5–13.

2. Колосова ЕВ, Халявка ТА. Электронейромиографическая характеристика квалифицированных спортсменов, специализирующихся в циклических и сложнокоординационных видах спорта [Electroneuromyographic specification of skilled athletes specialized in cyclic and complex coordination sports]. Ştiinţa Culturii Fizice. 2015;24 (4):74-79.

3. Колосова ОВ, Коломієць БЮ, Петрушевський ЄІ. Оцінка постурального балансу юніорів, що спеціалізуються в гандболі [Evaluating postural balance of juniors specialized in handball]. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія.2020;(1):10-17. doi: 10.32652/spmed.2020.1.10-17.

4. Ageberg E, Bunke S, Nilsen P, Donaldson A. Planning injury prevention training for youth handball players: application of the generalisable six-step inter-vention development process. Injury Prevention. 2020;1-6. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043468

5. 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): 83–86. doi: 10.1016/j.neulet.2003.12.102.

6. 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;74:433–442.

7. Duarte M, De Freitas SM. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. Revista Brasileira de Fisioterapia. 2010;14(3):183–192.

8. Fowler JR, Munsch M, Tosti R, Hagberg W, Imbriglia JE. Comparison of ultrasound and electrodiagnostic testing for diagnosis of carpal tunnel syndrome: study using a validated clinical tool as the reference standard. The Journal of Bone and Joint Surgery. 2014;96(17):e148(1-4). DOI: 10.2106/JBJS.M.01250

9. Garkavenko VV, Gorkovenko AV, Kolosova EV, Korneyev VV, et al. Modifications of the stabilogram during upright standing posture under conditions of inclines of the support surface. Neurophysiology. 2012;44:131–137. https://doi.org/10.1007/s11062-012-9279-8

10. Knikou M. The H-reflex as a probe: pathways and pitfalls. Journal of neuroscience methods. 2008;171(1):1–12. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.02.012

11. Kraft GH, Halvorson GA. Median nerve residual latency: normal value and use in diagnosis of carpal tunnel syndrome. Archives of physical medicine and rehabilitation. 1983;64 (5):221-226.

12. Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB. The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. British Journal of Sports Medicine. 2014;48:871-877. doi:10.1136/bjsports-2013-092538

13. Lipa BM, Han JJ. Electrodiagnosis in neuromuscular disease. Physical medicine and rehabilitation clinics of North America. 2012;23(3):565-87. doi: 10.1016/j.pmr.2012.06.007

14. Lisman PJ, de la Motte SJ, Gribbin TC. A systematic review of the association between physical fitness and musculoskeletal injury risk: part 1-cardiorespiratory endurance. The Journal of Strength and Conditioning Research. 2017;31(6):1744-1757.

15. 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

16. Palmieri RM, Ingersoll CD, Hoffman MA. The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. Journal of athletic training. 2004;39(3):268-277.

17. 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.

18. Zemková E. Sport-specific balance. Sports Medicine. 2014;44(5):579-590. doi: 10.1007/s40279-013-0130-1

olena_kolos@ukr.net
markizalus14@gmail.com

Надійшла 04.08.2024