

**PARAMETERS OF CENTRAL HEMODYNAMICS AND THEIR CORRELATION WITH THE VEGETATIVE INDEX IN ATHLETES OF DIFFERENT AGES UNDER THE INFLUENCE OF VESTIBULAR IRRITATION****National University of Physical Education and Sport of Ukraine (Kyiv, Ukraine)****Pastuhova\_V@ukr.net**

*Vestibular stimulation can significantly affect the autonomic regulation of the cardiovascular system. Despite the growing interest in sensory influences in sports, the relationship between parameters of central hemodynamics and autonomic regulation under vestibular load remains insufficiently studied, especially with respect to age-related aspects. The aim is to determine the features of changes in central hemodynamic parameters and their correlation with the vegetative (Kerdo) index in track-and-field athletes of different ages under vestibular stimulation. Thirty-four male long jumpers aged 14-27 years were examined and divided into three age groups. The phase structure of the cardiac cycle, stroke volume (SV), cardiac output (CO), heart rate (HR), and Kerdo index were assessed. Vestibular load was applied actively, passively, and in combination. A correlation analysis was performed between hemodynamic indicators and the vegetative index. The highest correlations between the vegetative index and SV, CO, and the duration of cardiac cycle phases were recorded in the adolescent group. In older athletes, the correlation persisted only after combined loading. During the recovery phase, most parameters normalized; however, in adolescents, significant correlations remained statistically meaningful. Vestibular stimulation affects athletes' cardiohemodynamics in an age-dependent manner. The Kerdo index can serve as an indirect predictor of cardiac regulation efficiency under adaptive conditions.*

**Key words:** hemodynamics, Kerdo index, vestibular loading, age, athletes.

**Connection of the publication with planned research work.**

The study was carried out within the framework of the research project of the National University of Physical Education and Sport of Ukraine "Influence of endogenous and exogenous factors on adaptive reactions of the organism to physical loads of different intensity" (state registration number 0121U108187).

**Introduction.**

Enhancing the efficiency of athletes' adaptive mechanisms in response to specific sensory stimuli has become increasingly relevant in the context of modern sports science. One of the key sensory systems involved in the formation of autonomic regulation is the vestibular analyzer, which can indirectly influence the cardiovascular system both at rest and during physical exertion. It is well established that stimulation of the vestibular system triggers a wide range of autonomic responses, including the regulation of arterial pressure, heart rate, peripheral resistance, and other hemodynamic parameters [1-3].

Over the past decade, numerous studies have focused on the cardiovascular responses of athletes to physical and psycho-emotional stress [4-9]. In particular, both domestic and international researchers have emphasized the importance of autonomic nervous system integration in response to specific training stimuli. However, most of these studies have primarily concentrated on metabolic, biomechanical, or cardiorespiratory aspects, often overlooking the sensory contribution – especially that of the vestibular system. At the same time, the relationship between vestibular stimulation, changes in central hemodynamic parameters, and indicators of autonomic balance – such as the Kerdo index – remains insufficiently explored. This gap is especially

noticeable when considering age-related differences in physiological reactivity.

Given these considerations, it is therefore appropriate to conduct an in-depth analysis of central hemodynamic parameters and their correlation with the vegetative (autonomic) index in athletes of different ages under various types of vestibular loading.

**The aim of the study.**

To determine the specific features of changes in central hemodynamic parameters and their correlation with the vegetative (Kerdo) index in track-and-field athletes of different ages under the influence of active, passive, and combined vestibular stimulation.

**Object and research methods.**

The study involved 34 male athletes (long jumpers) with qualifications ranging from First-Class category to Master of Sports of Ukraine. Participants were divided into three age groups: Group I – adolescents aged 14-16 years (n=10); Group II – youths aged 17-20 years (n=10); Group III – young adults aged 22-27 years (n=10). All participants were practically healthy and classified in the main medical group according to the results of a preliminary medical examination.

Vestibular stimulation was applied under three experimental conditions:

1. Active linear loading – performed as repeated accelerations during typical training movements;
2. Passive loading – applied using a special vestibular platform;
3. Combined loading – a combination of both active and passive methods.

The functional state of the cardiovascular system was assessed using the following methods:

- electrocardiogram (ECG) recording;
- tetrapolar rheography;

- polycardiography with synchronous recording of ECG, phonocardiogram, and carotid sphygmogram;
- phase analysis of the cardiac cycle, including the duration of the tension period, isometric contraction, and ejection phases;
- calculation of stroke volume (SV) and cardiac output (CO);
- measurement of heart rate (HR);
- calculation of the vegetative (Kerdo) index (KI) using the formula:

$$KI = (1 - DBP / HR) \times 100$$

Measurements were taken at rest (before loading), after active loading, after combined loading, and 15-30 minutes post-exercise during the recovery phase.

Ethical compliance was ensured in accordance with the Helsinki Declaration of the World Medical Association (2008) and the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine (1997). All athletes provided informed consent prior to participation in the study.

Data processing was performed using the Statistica 10.0 software package (StatSoft Inc., USA). The Shapiro–Wilk test was applied to verify data normality. To assess the significance of differences between mean values, the Student's t-test was used. The results are presented as  $M \pm m$ , where  $M$  is the arithmetic mean and  $m$  is the standard error of the mean. The relationship between variables was analyzed using the Pearson correlation coefficient ( $r$ ), indicating the level of significance ( $p$ ), for example:  $r=0.612$ ;  $p=0.003$ . Values were considered statistically significant at  $p < 0.05$  [10].

#### Research results and their discussion.

The study revealed age-related features of cardio-hemodynamic responses to different types of vestibular loading. In the adolescent group, the lowest mean stroke volume (SV) at rest was recorded –  $52.4 \pm 2.1$  mL, which increased to  $61.8 \pm 2.5$  mL after active loading ( $p=0.014$ ) and to  $66.1 \pm 2.2$  mL after combined loading ( $p=0.006$ ). In the youth group, the increase in SV was less pronounced – from  $63.7 \pm 2.8$  mL at rest to  $70.4 \pm 2.6$  mL after combined loading ( $p=0.041$ ). In mature athletes, SV changed only slightly (from  $71.2 \pm 2.3$  mL at rest to  $74.1 \pm 2.5$  mL after combined loading,  $p=0.21$ ).

The cardiac output (CO) in adolescents also showed the greatest variability: from  $4.5 \pm 0.2$  L/min at rest to  $5.9 \pm 0.3$  L/min after combined loading ( $p=0.003$ ). In older groups, CO dynamics were less pronounced. The heart rate (HR) increased in all groups after vestibular stimulation; however, in adolescents, the return to baseline values during the recovery phase took longer compared to mature athletes.

Phase analysis of the cardiac cycle revealed that the ejection phase in adolescents increased from  $0.21 \pm 0.01$  s to  $0.24 \pm 0.01$  s ( $p=0.019$ ) after combined loading. The

isometric contraction period decreased accordingly, which may indicate enhanced efficiency of the myocardial pump function. In older athletes, similar dynamics were less pronounced and statistically insignificant.

The Kerdo index (KI) in adolescents decreased from  $17.3 \pm 1.8$  units at rest to  $9.6 \pm 1.3$  units after combined loading ( $p=0.011$ ), indicating an increase in parasympathetic activity. In mature athletes, this parameter changed only slightly. During the recovery phase (15-30 min), the KI in adolescents remained statistically lower than baseline ( $13.1 \pm 1.5$  units,  $p=0.046$ ), whereas in older athletes it returned to initial values.

Correlation analysis demonstrated a strong relationship between the vegetative index and several hemodynamic indicators in the adolescent group after combined loading: SV ( $r=-0.612$ ;  $p=0.003$ ), ejection phase duration ( $r=-0.541$ ;  $p=0.012$ ), and CO ( $r=-0.489$ ;  $p=0.019$ ). In older groups, significant correlations between KI and hemodynamic parameters were observed only after dual vestibular exposure, while at rest and after isolated active loading these relationships were weak or absent.

Thus, the cardiovascular system of adolescents was found to be the most labile to vestibular stimulation, which is likely related to the incomplete morphofunctional maturity of regulatory mechanisms. The identified age-related differences in the dynamics and strength of correlations between KI and cardiohemodynamic parameters should be considered when individualizing training programs for athletes in cyclic sports. Combined vestibular loading proved to be the most potent factor for activating the parasympathetic branch of autonomic regulation and enhancing the hemodynamic response.

#### Conclusions.

Vestibular loading exerts a pronounced effect on the parameters of central hemodynamics in track-and-field athletes, demonstrating clear age-specific characteristics. Adolescents showed the greatest variability in stroke volume and cardiac output, as well as the strongest correlations between the vegetative (Kerdo) index and the phase characteristics of the cardiac cycle. The Kerdo index proved to be an informative indirect indicator of the efficiency of autonomic cardiovascular regulation under sensory influence.

#### Prospects for further research.

Future studies are planned to investigate long-term adaptive changes under conditions of systematic vestibular loading within the training process. It is also advisable to expand the research base by involving athletes from other specializations and by incorporating heart rate variability indicators to enable a more comprehensive analysis of autonomic regulation.

## ПАРАМЕТРИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ТА ЇХ КОРЕЛЯЦІЯ З ВЕГЕТАТИВНИМ ІНДЕКСОМ У СПОРТСМЕНІВ РІЗНОГО ВІКУ ПІД ДІЮ ВЕСТИБУЛЯРНОГО ПОДРАЗНЕННЯ

Національний університет фізичного виховання і спорту України (м. Київ, Україна)

Pastuhova\_V@ukr.net

Вестибулярна стимуляція може суттєво впливати на автономну регуляцію серцево-судинної системи. Незважаючи на зростання інтересу до сенсорних впливів у спорті, зв'язок між показниками центральної гемодинаміки та вегетативною регуляцією під впливом вестибулярного навантаження залишається малодослідженим, особливо у віковому аспекті. Мета – визначити особливості змін параметрів центральної гемодинаміки та їхньої кореляційний зв'язок з вегетативним індексом у спортсменів-легкоатлетів різного віку при вестибулярному навантаженні. Обстежено 34 легкоатлетичоловіки (стрибуни у довжину) віком 14-27 років, розподілені на три вікові групи. Оцінювали фазову структуру серцевого циклу, ударний об'єм (УО), хвилинний об'єм кровообігу (ХОК), частоту серцевих скорочень, індекс Кердо. Вестибулярне навантаження здійснювали активним і пасивним способом, окремо та в комбінації. Проводили кореляційний аналіз між показниками гемодинаміки та вегетативного індексу. Найвищі кореляції між вегетативним індексом та УО, ХОК і тривалістю фаз серцевого циклу зафіксовані у підлітковій групі. У спортсменів старшого віку зв'язок зберігався лише після комбінованого навантаження. У фазі відновлення у більшості обстежуваних показники нормалізувалися, але в підлітків кореляційні зв'язки залишались статистично значущими. Таким чином, вестибулярне подразнення впливає на кардіогемодинаміку спортсменів віковозалежно. Індекс Кердо може бути використаний як непрямий предиктор ефективності серцевої регуляції в адаптаційних умовах.

**Ключові слова:** гемодинаміка, індекс Кердо, вестибулярне навантаження, вік, легкоатлети.

### Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана в рамках науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності», номер державної реєстрації 0121U108187.

### Вступ.

Підвищення ефективності адаптаційних механізмів організму спортсменів у відповідь на специфічні сенсорні подразники набуває все більшої актуальності в контексті сучасної спортивної науки. Однією з ключових сенсорних систем, що залучена до формування вегетативної регуляції, є вестибулярний аналізатор, здатний опосередковано впливати на серцево-судинну систему як у стані спокою, так і при фізичному навантаженні. Відомо, що подразнення вестибулярної системи викликає широкий спектр вегетативних реакцій, які охоплюють регуляцію артеріального тиску, частоти серцевих скорочень, периферичного опору та інших гемодинамічних параметрів [1-3].

За останні десять років з'явилося багато робіт, присвячених реакціям серцево-судинної системи спортсменів на фізичне та психоемоційне навантаження [4-9]. Зокрема, дослідження вітчизняних та зарубіжних авторів виявили важливість інтеграції автономної нервової системи у відповідь на специфічні тренувальні стимули. Проте більшість публікацій фокусуються переважно на метаболічних, біомеханічних або кардіореспіраторних аспектах, нехтуючи сенсорним внеском, особливо з боку вестибулярної системи. Водночас вивчення зв'язку між вестибулярною стимуляцією, змінами параметрів центральної гемодинаміки та показниками вегетативного балансу, таким як індекс

Кердо, залишається недостатньо опрацьованим. Особливо це стосується вікових особливостей реактивності.

Враховуючи вищезазначене, доцільним є проведення поглибленого аналізу параметрів центральної гемодинаміки та їхнього кореляційного зв'язку з вегетативним індексом у спортсменів різного віку при дії вестибулярного навантаження різного типу.

### Мета дослідження.

Визначити особливості змін параметрів центральної гемодинаміки та їхньої кореляційний зв'язок з вегетативним індексом у спортсменів-легкоатлетів різного віку під впливом активного, пасивного та комбінованого вестибулярного навантаження.

### Об'єкт і методи дослідження.

У дослідженні взяли участь 34 спортсмени-чоловіки (стрибуни у довжину) з кваліфікацією від I дорослого розряду до майстра спорту України, які були розподілені на три вікові групи: група I – підлітки віком 14-16 років (n=10); група II – юнаки віком 17-20 років (n=10); група III – особи першого зрілого віку 22-27 років (n=10). Кожен учасник був практично здоровим і належав до основної медичної групи за результатами медичного огляду.

Вестибулярне навантаження реалізовувалося у трьох умовах:

1. активне лінійне навантаження у вигляді повторюваних прискорень при звичних тренувальних рухах;
2. пасивне навантаження за допомогою спеціальної вестибулярної платформи;
3. комбіноване навантаження – поєднання обох способів.

Оцінка функціонального стану серцево-судинної системи включала:

- реєстрацію електрокардіограми (ЕКГ);

- тетраполярну реографію;
- полікардіографію з синхронною реєстрацією ЕКГ, фонокардіограми та сфігмограми сонної артерії;
- фазовий аналіз серцевого циклу (тривалість періоду напруги, ізометричного скорочення, вигнання);
- розрахунок ударного об'єму (УО) та хвилинного об'єму кровообігу (ХОК);
- частоту серцевих скорочень (ЧСС);
- обчислення вегетативного індексу за формулою Кердо:

$$IK = (1 - \text{ДАТ} / \text{ЧСС}) \times 100$$

Заміри проводилися у стані спокою (до навантаження), після активного навантаження, після комбінованого навантаження, а також через 15-30 хв у фазі відновлення.

Дотримання етичних принципів дослідження здійснено відповідно до положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008), а також Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і гідності в біомедичних дослідженнях» (1997). Усі спортсмени підписали інформовану згоду на участь у дослідженні.

Обробку отриманих результатів здійснювали з використанням статистичного пакету Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Перевірку нормальності розподілу виконували за критерієм Шапіро-Уїлкі. Для визначення достовірності відмінностей між середніми величинами застосовували t-критерій Стюдента. Середні значення наводили у вигляді  $M \pm m$ , де  $M$  – середнє арифметичне,  $m$  – стандартна помилка середнього. Для аналізу зв'язку між показниками використовували коефіцієнт кореляції Пірсона ( $r$ ) із зазначенням рівня значущості ( $p$ ), наприклад:  $r=0,612$ ;  $p=0,003$ . Значення вважали статистично достовірними при  $p < 0,05$  [10].

#### Результати дослідження та їх обговорення.

У процесі дослідження виявлено вікові особливості кардіогемодинамічної відповіді на різні типи вестибулярного навантаження. У групі підлітків у стані спокою було зафіксовано найменші середні значення ударного об'єму (УО) –  $52,4 \pm 2,1$  мл, що зросло після активного навантаження до  $61,8 \pm 2,5$  мл ( $p=0,014$ ), а після комбінованого навантаження – до  $66,1 \pm 2,2$  мл ( $p=0,006$ ). У групі юнаків приріст УО був менш вираженим: з  $63,7 \pm 2,8$  мл у спокої до  $70,4 \pm 2,6$  мл ( $p=0,041$ ) після комбінованого навантаження. У спортсменів зрілого віку УО змінювався незначно (від  $71,2 \pm 2,3$  мл у спокої до  $74,1 \pm 2,5$  мл після комбінованого впливу,  $p=0,21$ ).

Хвилинний об'єм кровообігу (ХОК) у підлітків також демонстрував найбільшу варіативність: зі  $4,5 \pm 0,2$  л/хв у спокої до  $5,9 \pm 0,3$  л/хв після комбінованого навантаження ( $p=0,003$ ). У старших групах динаміка ХОК виявилася менш вираженою. Частота серцевих скорочень (ЧСС) зростала у всіх групах після вестибулярного впливу, але у підлітків повернення до базового рівня у фазі відновлення тривало довше, ніж у спортсменів зрілого віку.

Фазовий аналіз серцевого циклу виявив, що фаза вигнання у підлітків подовжувалась з  $0,21 \pm 0,01$  с до

$0,24 \pm 0,01$  с ( $p=0,019$ ) після комбінованого навантаження. Період ізометричного скорочення зменшувався відповідно, що може свідчити про підвищення ефективності насосної функції міокарда. У групі старших спортсменів подібна динаміка була менш вираженою і статистично недостовірною.

Індекс Кердо у підлітків знижувався зі  $17,3 \pm 1,8$  од. у стані спокою до  $9,6 \pm 1,3$  од. після комбінованого навантаження ( $p=0,011$ ), що вказує на посилення парасимпатичної активності. У зрілих спортсменів цей показник змінювався незначно. У фазі відновлення через 15-30 хв у підлітків індекс Кердо залишався статистично нижчим за вихідний рівень ( $13,1 \pm 1,5$  од.,  $p=0,046$ ), тоді як у старших спортсменів повертався до вихідного значення.

Кореляційний аналіз засвідчив тісний зв'язок між вегетативним індексом та УО ( $r = -0,612$ ;  $p=0,003$ ), тривалістю фази вигнання ( $r = -0,541$ ;  $p=0,012$ ) і ХОК ( $r = -0,489$ ;  $p=0,019$ ) у групі підлітків після комбінованого навантаження. У старших групах достовірні кореляції між ІК та гемодинамічними показниками фіксувалися лише після подвійного вестибулярного впливу, тоді як у фазі спокою та після ізольованого активного навантаження такі зв'язки були слабкими або відсутні.

Таким чином, найбільш лабільною до вестибулярного подразнення виявилася серцево-судинна система підлітків, що, ймовірно, пов'язано з неповною морфофункціональною зрілістю регуляторних механізмів. Виявлені вікові розбіжності у динаміці та силі кореляцій між ІК і кардіогемодинамічними параметрами можуть бути враховані при індивідуалізації тренувальних програм для спортсменів циклічних видів спорту. Комбіноване вестибулярне навантаження проявилася як найбільш потужний чинник активації парасимпатичної ланки вегетативної регуляції та посилення гемодинамічної відповіді.

#### Висновки.

Вестибулярне навантаження справляє виражений вплив на параметри центральної гемодинаміки у спортсменів-легкоатлетів, що має вікову специфіку. У підлітків виявляється найбільша варіабельність ударного та хвилинного об'єму кровообігу, а також найтісніший кореляційний зв'язок між вегетативним індексом і фазовими характеристиками серцевого циклу. Індекс Кердо підтвердив свою інформативність як непрямий індикатор ефективності автономної регуляції серцево-судинної системи при сенсорному впливі.

#### Перспективи подальших досліджень.

У подальших дослідженнях планується вивчення довготривалих адаптаційних змін в умовах систематичного застосування вестибулярного навантаження у тренувальному процесі. Варто також розширити дослідницьку базу за рахунок залучення спортсменів інших спеціалізацій та включення показників варіабельності серцевого ритму для глибшого аналізу автономної регуляції.

## References / Література

1. Cozma S, Ghiciuc C, Damian L, Pasquali V, Saponaro A, Lupusoru E, et al. Distinct activation of the sympathetic adreno-medullar system and hypothalamus pituitary adrenal axis following the caloric vestibular test in healthy subjects. *PLoS One*. 2018;13(3):e0193963. DOI: [10.1371/journal.pone.0193963](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193963).
2. AlSharif DS, Tucker CA, Coffman DL, Keshner EA. Electrodermal and postural responses in dizzy adults: Diagnostic indicators of vestibular migraine. *J Vestib Res*. 2023;33(1):51-62. DOI: [10.3233/VES-220004](https://doi.org/10.3233/VES-220004).

- Zaback M, Villemer S, Missen KJ, Inglis JT, Carpenter MG. Habituation of vestibular-evoked balance responses after repeated exposure to a postural threat. *J Physiol*. 2025;603(6):1567-1587. DOI: [10.1113/JP287391](https://doi.org/10.1113/JP287391).
- Shevchuk TYA, Romanyuk AP. Osoblyvosti vehetatyvnoyi rehulyatsiyi sertsya v sport-smeniv ihrovykh vydiv sportu ta lekhoatletiv. *Visnyk Kharkivskoho nats. un-tu imeni V.N. Karazina*. 2016;26:187-93. [in Ukrainian].
- Pastukhova VA, Shyray TV. Vplyv vestybularno-sensornoho navantazhennya na vehetatyvni reaktsiyi. *Visnyk problem biolohiyi i medytsyny*. 2024;4(175):91-102. DOI: [10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102). [in Ukrainian].
- Pastukhova VA, Shyray TV. Dynamika zmin vehetatyvnoho indeksu u sport-smeniv pry vestybularnomu navantazhenni. *Visnyk Cherkaskoho universytetu*. 2025;1:55-63. DOI: [10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-55-63](https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-55-63). [in Ukrainian].
- Štursová P, Budinská X, Nováková Z, Dobšák P, Babula P. Sports activities and cardiovascular system change. *Physiol Res*. 2023;72(S5):429-44. DOI: [10.33549/physiolres.935238](https://doi.org/10.33549/physiolres.935238).
- Hughes RL, Holscher HD. Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. *Adv Nutr*. 2021;12(6):2190-215. DOI: [10.1093/advances/nmab077](https://doi.org/10.1093/advances/nmab077).
- Cavarretta E, Pingitore A, Peruzzi M, Sciarra L. Cardiovascular screening of master athletes: insights from the Master Athletes Screening Study. *Eur J Prev Cardiol*. 2023;30(9):884-886. DOI: [10.1093/eurjpc/zwad115](https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwad115).
- Oprya AT. Statystyka (modulnyy variant z prohramovanoyu formoyu kontrolyu znan). Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury; 2012. 448 s. [in Ukrainian].

### ПАРАМЕТРИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ТА ЇХ КОРЕЛЯЦІЯ З ВЕГЕТАТИВНИМ ІНДЕКСОМ У СПОРТСМЕНІВ РІЗНОГО ВІКУ ПІД ДІЄЮ ВЕСТИБУЛЯРНОГО ПОДРАЗНЕННЯ

Пастухова В. А., Ширай Т. В.

**Резюме.** Мета дослідження – з'ясувати особливості змін параметрів центральної гемодинаміки та їхній кореляційний зв'язок з вегетативним індексом у спортсменів-легкоатлетів різного віку в умовах активного, пасивного та комбінованого вестибулярного навантаження. У дослідженні взяли участь 34 кваліфіковані спортсмени-чоловіки (стрибуни у довжину) віком 14-27 років. Випробовуваних було розподілено на три вікові групи: підлітки (14-16 років), юнаки (17-20 років), спортсмени першого зрілого віку (22-27 років). Функціональну оцінку серцево-судинної системи здійснювали шляхом тетраполярної реографії, фазового аналізу серцевого циклу, електрокардіографії, полікардіографії та реєстрації сфігмограми сонної артерії. Розраховували ударний об'єм (УО), хвилинний об'єм кровообігу (ХОК), частоту серцевих скорочень (ЧСС), індекс Кердо (ІК).

Результати показали, що підлітки характеризуються найвищою лабільністю гемодинамічних показників під впливом вестибулярного подразнення, особливо після комбінованого навантаження: УО зріс на 26%, ХОК – на 31%, ЧСС – помірно. Фаза вигнання серцевого циклу подовжилася, а період ізометричного скорочення зменшився, що може свідчити про покращення насосної функції міокарда. Найтісніші кореляційні зв'язки між ІК та гемодинамічними параметрами зафіксовані саме у підлітковій групі: ІК – УО ( $r = -0,612$ ), ІК – ХОК ( $r = -0,489$ ), ІК – тривалість фази вигнання ( $r = -0,541$ ). У старших спортсменів подібні зв'язки були менш вираженими і проявлялися лише після комбінованого навантаження.

Індекс Кердо підтвердив свою інформативність як непрямий показник вегетативної регуляції серцево-судинної системи у відповідь на сенсорні стимули. Виявлені вікові відмінності у реакції кардіогемодинаміки на вестибулярне подразнення можуть бути використані для індивідуалізації сенсомоторних тренувальних протоколів у спорті.

**Ключові слова:** гемодинаміка, індекс Кердо, вестибулярне навантаження, вік, легкоатлети.

### PARAMETERS OF CENTRAL HEMODYNAMICS AND THEIR CORRELATION WITH THE VEGETATIVE INDEX IN ATHLETES OF DIFFERENT AGES UNDER THE INFLUENCE OF VESTIBULAR IRRITATION

Pastukhova V. A., Shiray T. V.

**Abstract.** The aim of this study was to identify the characteristics of changes in central hemodynamic parameters and their correlation with the vegetative (Kerdo) index in track and field athletes of various age groups under active, passive, and combined vestibular stimulation. A total of 34 trained male long jumpers aged 14 to 27 years participated in the study. Athletes were categorized into three groups: adolescents (14-16 years), young adults (17-20 years), and adults (22-27 years). Central hemodynamic function was assessed using tetrapolar rheography, phase analysis of the cardiac cycle, ECG, polycardiography, and carotid sphygmography. Measured parameters included stroke volume (SV), cardiac output (CO), heart rate (HR), and the Kerdo Index (KI).

The findings revealed that adolescents demonstrated the most dynamic and statistically significant hemodynamic responses to vestibular stimulation, especially under the combined modality. SV increased by 26%, CO by 31%, and ejection phase duration was prolonged while the isometric contraction phase decreased, suggesting enhanced myocardial pump efficiency. The strongest correlations between the Kerdo index and hemodynamic variables were observed in adolescents: KI – SV ( $r = -0.612$ ), KI – CO ( $r = -0.489$ ), and KI – ejection phase ( $r = -0.541$ ). These relationships were weaker or absent in older athletes and manifested only after combined vestibular exposure.

The Kerdo index proved to be a sensitive and informative indirect marker of autonomic cardiovascular regulation under sensory stress. The study highlights the importance of age-specific cardiovascular reactivity to vestibular stimuli, which may guide personalized sensorimotor conditioning protocols in athletic populations.

**Key words:** hemodynamics, Kerdo index, vestibular loading, age, athletes.

### ORCID and contribution / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Pastukhova V. A.: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X><sup>AEF</sup>

Shiray T. V.: <https://orcid.org/0009-0008-8452-9767><sup>ABCD</sup>

### Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Pastukhova Viktoria Anatoliivna / Пастухова Вікторія Анатоліївна

National University of Physical Education and Sport of Ukraine / Національний університет фізичного виховання і спорту України

Ukraine, 03680, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 03680, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: +380661752387 / Тел.: +380661752387

E-mail: [Pastuhova\\_V@ukr.net](mailto:Pastuhova_V@ukr.net)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 29.07.2025 / Стаття надійшла 29.07.2025 року

Accepted 11.11.2025 / Стаття прийнята до друку 11.11.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-397-406

UDC 612.1:612.015.3:615.825.1-055.2

Ustimenko Ya. O., Lukyantseva H. V.

## DEVELOPMENT OF A STUDY PROTOCOL FOR THE METABOLITE PROFILE AND MORPHOFUNCTIONAL PARAMETERS OF WOMEN WITH METABOLIC SYNDROME UNDER THE INFLUENCE OF COMBINED AND RESISTANCE TRAINING

National University of Physical Education and Sport of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

[yustimenko@uni-sport.edu.ua](mailto:yustimenko@uni-sport.edu.ua)

*Metabolic syndrome is a complex disorder combining abdominal obesity, insulin resistance, dyslipidemia, and arterial hypertension, and represents a key predictor of cardiovascular diseases and type 2 diabetes mellitus. Despite numerous studies, standardized protocols for implementing combined and resistance training interventions in combination with diet therapy for individuals with this pathology are still lacking. This article is devoted to the development of a research protocol for the metabolite profile and morphofunctional parameters of women with metabolic syndrome under the influence of combined and resistance training. The aim of the study is to develop and test a protocol for a comprehensive study of the effects of combined and resistance training in combination with diet therapy on the serum metabolite profile and morphofunctional parameters of women with metabolic syndrome. Pilot testing of the protocol confirmed its practical feasibility and methodological coherence. All participants completed the initial assessment, and laboratory and anthropometric procedures were carried out without complications. Most participants adhered to the dietary recommendations, and home-based training programs did not cause significant difficulties. Recorded cases of irregular report submission indicate the need to improve the monitoring system. Changes in the structure of the protocol concerned mainly organizational components rather than the substantive content. The developed protocol is feasible under practical conditions and meets modern requirements for a comprehensive assessment of metabolic health. Its structure makes it possible to combine dietary and training interventions with biochemical monitoring without overburdening the participants. The results of the pilot phase create a basis for a full-scale interventional study.*

**Key words:** metabolic syndrome, metabolite profile, combined training, resistance training, diet therapy, morphofunctional parameters, women.

### Connection of the publication with planned research work.

The study is carried out at the Department of Medical Biology and Sports Dietetics of the National University of Physical Education and Sport of Ukraine and is part of the research project for 2023-2027 under topic 2.8. "Influence of endogenous and exogenous factors on the course of adaptive reactions of the organism to physical loads of different intensity" (state registration number 012U108187).

### Introduction.

Metabolic syndrome is a complex disorder characterized by a cluster of functional and anthropometric alterations, including abdominal obesity, insulin resistance, dyslipidemia, and arterial hypertension, and represents one of the key predictors of cardiovascular disease and type 2 diabetes [1, 2, 3]. This issue is particularly relevant for women in middle to late adulthood, in whom metabolic syndrome often coexists with hormonal imbalance

and changes in body composition (reduced muscle mass, increased visceral fat content, etc.) [4, 5, 6]. Adherence to a balanced and moderate diet in combination with physical training is considered one of the most effective non-pharmacological strategies for the prevention and management of metabolic syndrome [7, 8, 9].

At the same time, the majority of studies examining the effects of various types of physical exercise in individuals with metabolic disorders have focused primarily on anthropometric and general clinical indicators [10, 11, 12]. Meanwhile, detailed aspects of the metabolite profile (adipokines, pro-inflammatory markers, apolipoproteins) are studied far less frequently and without standardized methodological approaches [13, 14].

The absence of standardized protocols that simultaneously encompass structured dietary therapy, diverse exercise models, and an extended set of biochemical markers complicates the comparison of results across studies and reduces reproducibility. An additional chal-