

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

ISSN (Print): 2076-5835
ISSN (Online): 2518-1211

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**
Серія
БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

**BULLETIN
OF THE CHERKASY BOHDAN KHMELNYTSKY
NATIONAL UNIVERSITY
BIOLOGICAL SCIENCES**

Науковий журнал
Виходить 2 рази на рік

№1. 2026

Черкаси – 2026

**Засновник, редакція, видавець і виготовлювач –
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького.
Ідентифікатор медіа в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа R30-01521.**

Науковий збірник містить статті, в яких розглядаються актуальні проблеми сучасної біологічної науки. Авторами робіт є доктори, кандидати наук, аспіранти та студенти вищих навчальних закладів та наукових установ різних регіонів України.

Для широкого кола науковців, викладачів, аспірантів та студентів.

Наказом Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 №409 включено до Переліку наукових фахових видань України категорії "Б"

Випуск № 1 наукового журналу Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки» рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол №10 від 16.04.2026).

Журнал індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Ulrichsweb, Index Copernicus.

Редакційна колегія серії:

Головний редактор: Лизогуб Володимир Сергійович, доктор біологічних наук, професор Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (Черкаси, Україна)

Відповідальний секретар: Хоменко Сергій Миколайович, кандидат біологічних наук, доцент, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (Черкаси, Україна)

Члени редколегії:

Арслан Мехмет, PhD з біології, професор, університет Ардахана (Ардахан, Туреччина)

Винокуров Денис Сергійович, кандидат біологічних наук, Університет Мартіна Лютера Галле-Віттенберг (Галле, Німеччина)

Ільїн Володимир Миколайович, доктор біологічних наук, професор, Національний університет фізичного виховання і спорту України (Київ, Україна)

Коваленко Станіслав Олександрович, доктор біологічних наук, професор, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (Черкаси, Україна)

Коробейнікова Леся Григорівна, доктор біологічних наук, професор, Національний університет фізичного виховання і спорту України (Київ, Україна)

Макарчук Микола Юхимович, доктор біологічних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

Мінаєв Борис Пилипович, доктор наук, професор Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (Черкаси, Україна)

Палабійик Ахмет Альперен, PhD з біології, викладач, університет Ардахана (Ардахан, Туреччина)

Портніченко Володимир Ілліч, доктор медичних наук, професор, Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України (Київ, Україна)

Саламатін Руслан Володимирович, кандидат біологічних наук, доцент, Варшавський медичний університет (Варшава, Польща)

Юхименко Лілія Іванівна, доктор біологічних наук, професор, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (Черкаси, Україна)

За дотримання права інтелектуальної власності,
достовірність матеріалів та обґрунтування висновків відповідають автори.

Адреса редакційної колегії:

18031, Черкаси, бульвар Шевченка, 81,
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації.

Тел. (0472) 45-44-23

<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>
skhomenko@ukr.net

Founder, editorial, publisher and manufacturer –
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Media Identificator in the Register of Media Sector Subjects R30-01521.
This journal is meant for teachers, researchers, postgraduates and students.

Journal is entered into the «List of scientific professional editions of Ukraine of category «B» in which results of dissertational researches in competition for scientific degrees of doctor of science and candid ate of science (PhD) may be published by a Decree of MES of Ukraine dd 17.03.2020 No 409

Issue №1 of the scientific journal «Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky national university. Biological sciences» is recommended for publication and dissemination through the Internet by the Academic Council of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (protocol number 10 dated 16.04.2026).

The journal are indexed in an international scientific and metric databases Index Copernicus, Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory) and Google Scholar.

Editorial board:

Chief editor: Volodymyr Lyzohub, Doctor of Biological Sciences, Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

Executive secretary: Serhii Khomenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

Editorial board

Mehmet Arslan, PhD in Biology, Professor, Ardahan University (Ardahan, Turkey)

Lesia Korobeinikova, Doctor of Biological Sciences, Professor, National University of Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)

Stanislav Kovalenko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

Mykola Makarchuk, Doctor of Biological Sciences, Professor, Taras Shevchenko National University (Kyiv, Ukraine)

Ahmet Alperen Palabiyik, PhD in Biology, Lecturer, Ardahan University (Ardahan, Turkey)

Volodymyr Portnichenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Bogomoletz Institute of Physiology (Kyiv, Ukraine)

Yukhymenko L., Doctor of Biological Sciences, Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

Ruslan Salamatin, Candidate of Biological Sciences, Assistant professor, Medical University of Warsaw (Warsaw, Poland)

Boris Minaev, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

Volodymyr Ilyin, Doctor of Biological Sciences, Professor, National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)

Denys Vynokurov, Candidate of Biological Sciences, Research Fellow, Martin Luther University Halle-Wittenberghttps (Halle, Germany)

The authors are responsible for the observance of the intellectual property right, for the reliability of the materials and for the substantiation of the conclusions.

Editorial office address:

18031, Cherkasy, Shevchenko Blvd., 81
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Phone. (0472) 45-44-23
<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>
skhomenko@ukr.net

UDC 612.821:159.944

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-4-16

Bohdan Olehovych Chernolevskiy

Oles Honchar Dnipro National University

bogdanchernolevskij@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9089-1380>

Olena Viktorivna Severynovska

Oles Honchar Dnipro National University

eseverinovskaya@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0002-1237>

DYNAMICS OF SLEEP ARCHITECTURE RESTORATION AND AUTONOMIC RESPONSES AFTER NIGHTLY WAR-RELATED STRESS

Objective. To investigate neurophysiological patterns of sleep recovery after acute stress and to evaluate the capabilities of consumer-grade wearable devices for recording microstructural changes in sleep, using the Xiaomi Smart Band 9 as an example.

Methods. Data from 39 individual sleep cycles recorded over five consecutive nights were analyzed (Baseline – control night, Night 0 – night of missile attack, Night 1-3 – recovery period). Sleep architecture and heart rate indicators were assessed using wearable data. Additionally, an exploratory single-case observation with parallel EEG (Hypnodyne ZMax) recording was performed. Statistical analysis included RM-ANOVA, Bonferroni post hoc test, Pearson correlation, and event-based metrics (PPV, F1-score, Cohen's κ).

Originality. The study provides the quantitative evidence of dissociation between REM sleep macro- and microstructure under real war-related stress conditions. It offers a novel approach for remote sleep assessment using heart rate dynamics as a proxy for detecting microarousals.

Results. The sleep macrostructure remained relatively stable despite acute stress, whereas REM sleep showed pronounced fragmentation. Detection of microarousals based on heart rate demonstrated consistency with EEG and greater informational value of autonomic responses under stress.

Conclusions. Sleep parameter recovery after acute stress follows a delayed, gradual pattern. Although consumer-grade wearable devices have limitations in estimating absolute sleep parameters, they can be used to monitor stress-related dynamics and indirectly assess REM-fragmentation.

Keywords: sleep neurophysiology; REM sleep; microarousals; sleep microstructure; autonomic regulation; wearable devices; post-stress recovery.

Problem statement. Sleep is one of the main integrative mechanisms for maintaining the physiological homeostasis. It is involved in regulating cellular metabolism, hormonal balance, and energy balance [1, 2]. Sleep architecture is formed by the complex interaction of homeostatic and circadian processes, which ensure the alternation of slow and fast sleep stages [3]. Each stage has a specific functional significance. Slow-wave sleep is associated with somatic recovery, metabolic regulation, and maintenance of neural plasticity [4], while the REM phase is involved in the processing of emotional experience and memory consolidation [5]. That is why the stability of the sleep architecture is an important condition for the normal functioning of the nervous system. Numerous studies show that sleep is highly sensitive to stressors. Emotional imbalance is accompanied by changes in the neurophysiological mechanisms of sleep regulation, manifested by increased short awakenings, fragmented sleep stages, and decreased overall sleep efficiency [5]. It is believed that the key role in these processes is played by the activation of limbic structures, primarily the amygdala, which maintains increased sympathetic activity even after the stressful event ends. Such prolonged autonomic activation can change the stability of neural networks responsible for maintaining sleep [6, 7]. REM sleep is considered particularly sensitive to emotional stress. This is because REM sleep plays an important role in adaptive responses to stressful experiences and in the processing of affective information [8, 9]. Accordingly, clinical studies have

shown that trauma-related conditions, including posttraumatic stress disorder, are associated with increased REM sleep fragmentation and instability of REM episodes, suggesting disruption of REM-related regulatory processes [10]. In response to a deficit of REM sleep, the phenomenon of the so-called REM rebound is sometimes observed - a compensatory increase in the intensity or frequency of REM episodes in subsequent nights [11].

Under conditions of stress, particularly those associated with war-related threats, sleep disorders often become persistent with alterations in their structure and quality. Notably, nocturnal stressors can affect recovery processes during sleep.

In this context, it is important to study how the architecture of sleep disruptions following such influences and how these alterations relate to the regulation of physiological processes. Of particular interest are the associations between sleep's structural characteristics and autonomic activity parameters.

Therefore, the problem lies in clarifying the features of changes in sleep architecture under acute nocturnal stress and their dynamics during subsequent recovery.

Analysis of recent studies and publications. Sleep disorders are especially often recorded in populations located in areas of prolonged social or armed conflicts. Under such conditions, the frequency of insomnia, nightmares, and sleep fragmentation increases significantly, which is often combined with symptoms of posttraumatic stress disorder [12, 13, 14, 15]. Studies conducted among the civilian population in war zones show that one of the most characteristic manifestations is REM sleep disturbance, which is considered an important neurophysiological marker of emotional maladaptation [9].

After the start of the war in Ukraine, the problem of sleep disorders has become particularly urgent. According to epidemiological studies, a significant proportion of the population reports deterioration in sleep quality, increased frequency of night awakenings, and reduced duration of recovery phases [12, 15]. Similar changes are observed among students living under conditions of regular air raid alerts and missile attacks [13]. Chronic stress in such conditions can lead to a gradual destabilization of sleep regulatory mechanisms and affect cognitive performance [3, 6].

At the same time, most studies assess mainly subjective indicators of sleep quality or symptoms of insomnia, while objective changes in sleep architecture during real stressful events remain insufficiently studied. The architecture of sleep reflects the complex organization of the NREM and REM cycles, their duration, sequence, and stability throughout the night. These parameters may serve as sensitive indicators of impaired neurophysiological regulation under strong emotional stress [3, 6]. Therefore, the study of changes in sleep architecture after nightly stressful events can provide a deeper understanding of the nervous system adaptation mechanisms to extreme conditions.

In recent years, wearable devices have been increasingly used in sleep research. Modern wearable activity trackers allow recording motor activity and heart rate parameters for extended periods without significant interference with a person's usual routine [16, 17]. This makes them a convenient tool for field observations, when full polysomnography is technically difficult or not feasible [18].

Highlighting previously unresolved parts of the general problem. Despite the significant research on the associations between stress and sleep, the dynamics of sleep architecture restoration after acute stressful events have not been sufficiently studied. Most of the work is based either on laboratory experiments or on subjective assessments of sleep quality. Data on short-term neurophysiological changes in the first days after real extreme events, especially in conditions of threats related to armed conflict, remain limited. Of particular interest is the potential to use cardiovascular autonomic signals as indicators of microstructural sleep disorders. Short-term increases in heart rate may accompany microarousals and reflect sympathetic nervous system activation [21, 22, 23]. However, the possibility of using such reactions as proxy markers of microarousal during REM sleep has not yet been sufficiently investigated, especially in field conditions using wearable devices [24].

In this regard, the study of changes in sleep architecture and related cardiovascular responses under natural conditions of exposure to intense stressors is of particular importance.

The aim of the study was to analyze the dynamics of sleep architecture on the night of a war-related stressful event and on subsequent recovery nights, and to assess the potential of cardiovascular-autonomic signals as proxy markers of sleep microstructural disturbances.

Scientific novelty. The dynamics of sleep recovery following acute nocturnal stress were assessed using monitoring with wearable activity trackers. The dissociation between relatively stable REM sleep macroarchitecture and disrupted microstructure was observed under real war-induced stress conditions. Autonomic responses, particularly heart rate spikes, showed potential as proxy markers of REM microarousals, with their informative value depending on stress exposure conditions.

Participants and study design. The study involved 20 civilians aged 21-35 years who resided in Ukraine and were within the potential range of military strikes. The inclusion criteria were the absence of diagnosed sleep disorders and severe psychiatric illnesses in the medical history, as well as no regular use of medications that may affect sleep or psychological state (e.g., hypnotics, sedatives, antidepressants, or anxiolytics).

The study was conducted as a prospective naturalistic observation. A total of 420 sleep recordings were collected. Since the occurrence of night-time stressful events, including missile strikes, drone attacks, and air defense system activity, was unpredictable, only a subset of the collected data met the criteria for night-time stressful exposure, which led to the selection of 39 individual five-day observation cycles for further analysis. Each participant contributed multiple observation cycles.

Each cycle included five consecutive nights: a control night (Baseline), the night of the stressful event (Night 0), and three subsequent recovery nights (Night 1-3).

The stress exposure night was defined based on multiple sources, including participants' self-reports, official air-raid alerts issued by regional authorities, and verified reports of missile or drone attacks. In most cases, the event was accompanied by the audible explosions or the operation of air defense systems in the participants' city of residence.

Only complete five-day observation cycles containing a single nocturnal attack were included in the analysis to ensure interpretability of recovery dynamics. Cycles with multiple attacks were excluded.

Participants followed their usual sleep schedule and were not subjected to any experimental interventions.

Hardware and monitoring. During sleep, heart rate (photoplethysmography) and motor activity (accelerometry) were recorded using the Xiaomi Smart Band 9.

The device's photoplethysmographic sensor provided continuous heart rate monitoring, while the accelerometer assessed motor activity during sleep.

Sleep stage estimation and autonomic responses was performed based on synchronized heart rate and motor activity data.

Hypothesis-generating naturalistic observation. During the devices' pilot validation, naturalistic observation was recorded. One participant simultaneously used two sleep monitoring devices for 5 consecutive nights: the Xiaomi Smart Band 9, a photoplethysmographic wearable device, and the Hypnodyne ZMax portable EEG system (Hypnodyne Corp., USA).

The second night of the study coincided with an acute stressful event - a massive missile and drone attack. Despite the discomfort of the EEG headband and the emotional strain, the participant decided to continue recording his sleep. The next three nights were used to observe the recovery period.

This situation was not experimentally induced; it occurred naturally, so the data obtained are considered a descriptive single-case observation rather than a controlled experiment or clinical validation.

The ZMax system provided frontal EEG, triaxial accelerometry, and photoplethysmography recording. Sleep stages were defined according to the American Academy of Sleep Medicine (AASM) criteria.

The naturalistic observations obtained during the devices' validation procedure allowed evaluation of their performance under conditions of real acute stress. In this case, the heart rate spikes recorded by the wearable device's photoplethysmographic sensor showed temporal coherence with EEG-recorded REM sleep microactivations. Although these results are descriptive and cannot be generalized, they provide a basis for a hypothesis-generating observation regarding the use of photoplethysmographic signals as indirect markers of microarousals.

Microarousals were identified in EEG recordings according to AASM criteria as abrupt frequency shifts lasting at least 3 seconds.

Based on photoplethysmographic data from the wearable activity tracker, heart rate spikes exceeding 15% of the individual's nocturnal median heart rate were identified. Such events were considered as potential proxy indicators of sleep fragmentation.

Statistical analysis. Statistical analyses were conducted using Statistica 12.0 software. (StatSoft Inc., USA). Normality was assessed using the Shapiro-Wilk test. Data with a normal distribution are presented as mean \pm standard deviation ($M \pm SD$).

The dynamics of indicators during the observation period (Baseline-Night 3) were assessed using repeated-measures analysis of variance (RM-ANOVA with time as a within-subject factor) with Bonferroni post hoc correction.

The associations between sleep architecture parameters and autonomic regulation indicators were analyzed using Pearson's correlation matrices.

Agreement between the two devices under acute stress exposure was assessed using Cohen's kappa coefficient. The level of statistical significance was set at $p < 0,05$.

Ethical aspects. The study was approved by the Ethics Committee of Oles Honchar Dnipro National University (Dnipro, Ukraine) (protocol No. 4 dated 05/19/2025). All participants provided written informed consent. Personal data were anonymized in accordance with the Law of Ukraine "On the Protection of Personal Data".

The study was non-invasive, did not involve interference with participants' behavior during air raid alerts, and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki (2013). Participants were free to withdraw from the study at any time without providing a reason.

Artificial intelligence tools were used exclusively to improve the grammar, clarity, and coherence of the text. Data analysis, result interpretation, and conclusion formulation were performed by the authors.

Exploratory single-case observation data analysis. Assessing the consistency of integral sleep parameters obtained over five consecutive days during naturalistic observation using the Xiaomi Smart Band 9 and Hypnodyne ZMax in parallel revealed varying levels of coherence between devices, depending on the metric studied. Table 1 shows the mean values with standard deviation ($M \pm SD$) and mean absolute error (MAE) values.

Table 1

Comparison of sleep architecture parameters

Parameter	ZMax ($M \pm SD$)	Xiaomi Smart Band 9 ($M \pm SD$)	MAE \pm SD
Total sleep time (TST), min	356,6 \pm 40,9	367,2 \pm 36,8	14,2 \pm 10,9
Duration of deep sleep (N3), min	113,8 \pm 20,5	113,2 \pm 6,1	13,6 \pm 12,4
Duration of REM sleep, min	102,0 \pm 27,2	94,2 \pm 18,6	17,8 \pm 9,8
Duration of light sleep (N1-N2), min	126,0 \pm 34,1	160,2 \pm 22,2	40,2 \pm 20,3
Wake after sleep onset (WASO), min	13,4 \pm 13,1	0,6 \pm 0,55	12,8 \pm 13,7

The smallest absolute error was observed for the wake after sleep onset (WASO) parameter; however, this value was accompanied by a systematic underestimation of wakefulness duration by the wearable device. According to ZMax, the average WASO was over 13 min, while the Xiaomi Smart Band 9 almost did not register such episodes, suggesting a limited ability to detect short-term awakenings.

For the deep sleep duration (N3) parameter, the mean absolute error was $13,6 \pm 12,4$ min, one of the smallest among the analyzed sleep stages. Moderate discrepancies were recorded for the parameters of total sleep duration (TST) and REM sleep. The largest differences were observed in the total duration of light sleep stages (N1-N2), with an MAE exceeding 40 min.

Event analysis of REM fragmentation. To test the hypothesis that heart rate spikes could serve as a proxy marker of REM sleep fragmentation, an event analysis was performed. A heart rate spike was defined as a short-term increase in heart rate of more than 15% above the individual's average during a REM epoch. Microarousals were identified in EEG recordings collected by the ZMax system according to AASM criteria.

In total, during the observation period, an average of 28 microarousals were recorded during REM sleep according to EEG data (ZMax) and 25 cardiovascular reactions (heart rate spikes) according to Xiaomi Smart Band 9 data.

Event classification matrix. To evaluate the correspondence between heart rate spikes and EEG-verified microarousals, events within REM sleep epochs were compared. For each REM sleep epoch, it was determined whether a microarousal was observed from EEG data and whether a heart rate spike was recorded from Xiaomi Smart Band 9 data. An event classification matrix was constructed.

Four types of results were distinguished: True Positive (TP) – simultaneous registration of microarousal and heart rate spike (20 events); False Negative (FN) – microarousal without heart rate response (8 events); False Positive (FP) - heart rate spike without EEG event (5 events); True Negative (TN) – absence of both events in the REM epoch (15 events).

Based on this classification matrix, the main accuracy indicators of matching heart rate spikes as a proxy marker of microarousals were calculated.

The positive predictive value (PPV) of the method was 80,0%, while the sensitivity and specificity were moderate (Sensitivity = 71,4%, Specificity = 75,0%). The overall classification accuracy was 72,9%, and the harmonic mean of precision and recall (F1-score) was 0,755.

To assess the overall agreement between the methods, Cohen's kappa coefficient (Cohen's κ) was calculated based on the event classification matrix in REM epochs. The obtained value of $\kappa \approx 0,66$ indicates a moderately high level of agreement between the event detection methods.

Dependence of detection on the stress exposure condition. Since cardiovascular reactions during sleep can vary with the emotional and physiological state of the person, it was further examined whether the accuracy of heart rate spike detection depends on the physiological context of the night. For this purpose, microarousals detected from EEG data (ZMax) were distributed across study periods: baseline night, night of the acute stressful event, and three subsequent nights. For each period, the match rate (proportion of microarousals accompanied by heart rate spikes) was calculated.

The analysis showed that heart rate spike detection accuracy varied depending on stress exposure conditions (Table 2).

Table 2

Match rate by study period

Period	Match Rate (TP/Events ZMax)	Detection Characteristics
Baseline	20% (1/5)	Low detection of "quiet" microarousals
Night 0 (Attack)	78% (7/9)	High sensitivity to acute events
Night 1-3 (Aftereffect)	86% (12/14)	Maximum identification accuracy

During the baseline night, only 1 out of 5 microarousals coincided with a heart rate spike. During the stress exposure night, such coincidences were observed more frequently, with 7 of 9 microarousals accompanied by autonomic responses. The association between heart rate spikes and microarousals was highest during the three subsequent nights after the attack, with 12 out of 14 paired events (86%).

These results suggest that heart rate responses preferentially reflect microarousals associated with emotionally salient events rather than spontaneous microarousals during stable sleep.

Results of the main phase of the study using the Xiaomi Smart Band 9. Table 3 presents the mean values and standard deviations ($M \pm SD$) of sleep architecture and autonomic parameters derived from the wearable device data over 39 five-day observation cycles, along with the results of a repeated-measures analysis of variance (RM-ANOVA) for the time factor. For indicators with a statistically significant time effect, post hoc comparisons were performed using the Bonferroni correction.

Table 3

Mean values and variability of sleep architecture and autonomic sleep parameters derived from wearable device data (n = 39 sleep cycles)

Cycle day	Baseline ($M \pm SD$)	Night 0 ($M \pm SD$)	Night 1 ($M \pm SD$)	Night 2 ($M \pm SD$)	Night 3 ($M \pm SD$)	F (4,152)	p
Total sleep duration, min	466,87 $\pm 77,24^{a,b}$	419,00 $\pm 69,86^b$	482,77 $\pm 92,25^a$	466,51 $\pm 71,31^{a,b}$	458,38 $\pm 67,32^{a,b}$	4,7	0,001
Duration of deep sleep (N3), min	155,56 $\pm 25,42^{a,b}$	139,54 $\pm 30,13^b$	156,62 $\pm 32,61^a$	157,82 $\pm 28,27^{a,b}$	148,36 $\pm 31,62^{a,b}$	3,41	0,011
Duration of light sleep (N1-N2), min	197,69 $\pm 45,38^a$	171,69 $\pm 40,44^{b*}$	203,28 $\pm 50,90^a$	197,69 $\pm 38,14^a$	194,18 $\pm 36,90^{a,b}$	4,54	0,002
Duration of REM sleep, min	115,08 $\pm 24,36$	107,05 $\pm 25,78$	117,74 $\pm 9,34$	113,92 $\pm 28,45$	116,41 $\pm 29,18$	1,45	0,221
Wake after sleep onset (WASO), min	8,82 $\pm 14,24$	10,13 $\pm 15,92$	16,69 $\pm 28,12$	7,36 $\pm 12,25$	6,85 $\pm 11,95$	2,42	0,051
REM episode count, (n)	9,51 $\pm 1,93$	9,31 $\pm 3,03$	10,77 $\pm 3,44$	10,79 $\pm 3,30$	9,03 $\pm 2,98$	2,77	0,029
Mean REM episode duration, min	12,14 $\pm 3,42$	12,54 $\pm 4,27$	11,85 $\pm 4,50$	11,57 $\pm 3,81$	13,23 $\pm 4,32$	1,57	0,186
Heart rate spikes, (n)	3,15 $\pm 1,60^a$	6,03 $\pm 2,45^{b, c*}$	6,36 $\pm 2,36^{c*}$	7,08 $\pm 2,31^{b*}$	4,10 $\pm 1,93^a$	47,31	<0,01
Minimum heart rate, bpm	57,56 $\pm 5,52$	57,46 $\pm 6,07$	57,72 $\pm 5,34$	57,95 $\pm 5,49$	57,92 $\pm 6,00$	0,16	0,959
Mean heart rate, bpm	68,21 $\pm 6,53$	68,79 $\pm 7,28$	68,41 $\pm 6,15$	69,31 $\pm 7,43$	69,08 $\pm 7,18$	0,40	0,805
Maximum heart rate, bpm	79,49 $\pm 8,25^a$	88,92 $\pm 8,82^{b*}$	83,46 $\pm 10,16^{a*}$	82,28 $\pm 9,14^a$	82,31 $\pm 9,53^a$	19,48	<0,01

Notes: * – statistically significant differences ($p < 0,05$) compared to Baseline.

Letter indices (^a, ^b, ^c) reflect the results of multiple comparisons between observation nights (Post-hoc Bonferroni test). Values with different letters within the same row differ significantly ($p < 0,05$).

Repeated analysis of variance revealed that some sleep architecture parameters varied across nights. The most pronounced changes concerned the total sleep duration, deep sleep duration, and light sleep duration.

During the night of the attack, total sleep duration decreased, followed by an increase on the first night after the event. Similar dynamics were observed for deep sleep duration, which decreased during the attack night and gradually returned to baseline levels on subsequent nights. Light sleep showed a slightly different pattern: its duration also decreased during the attack night, but recovered already on the first post-event night. No significant time effect was found for total REM sleep duration. The values of this parameter remained relatively stable throughout the observation period. Similarly, the mean duration of a single REM episode did not differ significantly between nights.

Wake after sleep onset showed only a trend toward change. The highest value was observed on the first night after the event; however, due to substantial inter-individual variability, the effect did not reach statistical significance.

The REM episode count varied across observation days, but post-hoc comparisons did not reveal statistically significant differences between individual nights, suggesting that the overall organization of REM sleep, as estimated by wearable device, remained relatively stable.

A different pattern of cardiovascular reactivity was observed. The frequency of heart rate spikes during REM sleep showed a significant time effect. It increased markedly on the attack night compared to baseline and remained elevated over the following two nights, before returning to baseline levels on the third night after the event. The minimum and mean heart rates during sleep remained stable throughout the observation period. In contrast, the maximum heart rate showed significant changes: it increased during the attack night, remained elevated on subsequent nights, and gradually declined during the recovery period.

In general, sleep architecture parameters demonstrated moderate, relatively short-term changes following a stressful event, whereas autonomic responses, particularly heart rate spikes and maximum heart rate, displayed more pronounced, longer-lasting dynamics.

These findings suggest that, under acute stress conditions, autonomic regulation may serve as a more sensitive indicator of physiological response than sleep architecture metrics derived from consumer-grade wearable devices.

In addition, these results are consistent with the event-based analysis, which showed that heart rate responses during REM sleep are more often associated with microarousals linked to stressful or emotionally salient events.

Correlations between sleep parameters and cardiovascular regulation. To assess the dynamics of the associations between sleep architecture and cardiovascular regulation parameters, a correlation analysis was performed for each study stage. Table 4 shows the Pearson's correlation coefficients between sleep architecture parameters and heart rate indicators.

Throughout the observation period, a stable pattern of associations among the main components of sleep architecture was maintained. Total sleep duration showed strong positive correlations with both deep and light sleep durations, as well as moderate positive correlations with REM sleep duration. During REM sleep, characteristic internal associations were maintained: REM sleep duration was positively correlated with the REM episode count, while the mean duration of REM episodes showed a stable negative correlation with episode count. Indicators of cardiovascular regulation also demonstrated high internal consistency across all observation periods: the minimum, mean, and maximum heart rates showed strong positive correlations with each other.

The most stable correlation structure was observed in the baseline period. In addition to the expected internal associations between sleep phases, positive correlations were found between the WASO duration and heart rate indicators. During the attack night (Night 0), the overall pattern of correlations between sleep stages was preserved, whereas associations between sleep parameters and heart rate measures weakened. In particular, correlations between WASO and heart rate parameters were no longer significant. During the first two post-event nights (Night 1, Night 2), the correlation pattern became more pronounced again, with the main changes observed during REM sleep.

Table 4

Correlation coefficients between sleep parameters
and heart rate variables (n = 39 sleep cycles)

Pair of variables	Baseline	Night 0	Night 1	Night 2	Night 3
Duration of deep sleep, min - Minimum heart rate, bpm	0,04	-0,13	-0,21	-0,18	-0,13
Duration of deep sleep, min - Mean heart rate, bpm	0,11	-0,09	-0,11	-0,32*	-0,23
Duration of REM sleep, min - Minimum heart rate, bpm	-0,23	-0,17	-0,43**	-0,51***	-0,35*
Duration of REM sleep, min - Mean heart rate, bpm	-0,14	-0,07	-0,30	-0,51***	-0,30
Duration of REM sleep, min - Maximum heart rate, bpm	-0,30	-0,17	-0,14	-0,35*	-0,24
REM episode count, (n) - Minimum heart rate, bpm	0,13	0,05	0,21	0,01	-0,20
Mean duration of REM episode, min - Minimum heart rate, bpm	-0,37*	-0,13	-0,52***	-0,18	-0,11
Duration of awakenings, min - Minimum heart rate, bpm	0,63***	0,26	0,17	0,57***	0,05
Duration of awakenings, min - Mean heart rate, bpm	0,47**	0,21	0,15	0,51***	-0,01
Duration of awakenings, min - Maximum heart rate, bpm	0,27	0,22	0,07	0,46**	0,13

Note: correlations significance levels: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Marked negative correlations were observed between REM sleep duration and heart rate parameters. Similar correlations were observed for the mean duration of REM episodes. On the second night after the event (Night 2), positive correlations between the duration of awakenings and heart rate indicators were also restored, approaching the baseline pattern. However, this pattern was associated with a stronger negative correlation between REM sleep and heart rate. On the third night after the event (Night 3), the correlation structure almost fully recovered to baseline levels.

Overall, the results showed that an acute stressful event was associated with a temporary weakening of connections between the sleep-regulating systems and cardiovascular activity. Over the following nights, this interaction gradually returned, with the most pronounced changes in the correlation structure occurring during REM sleep. This may indicate a special role for REM sleep in restoring autonomic regulation after stress.

Discussion. During naturalistic observation, the performance of a consumer-grade wearable device and an EEG system was analyzed in assessing microarousals during REM sleep. Heart rate spikes recorded with the Xiaomi Smart Band 9 photoplethysmographic sensor showed temporal coherence with microactivation episodes recorded with EEG data. Although the findings cannot be generalized due to the lack of a representative sample, they suggest that consumer-grade wearable devices may be useful for detecting physiologically meaningful responses during REM sleep under acute stress.

Comparison of sleep architecture parameters obtained from the two monitoring systems under real war-induced stress conditions revealed variable agreement across sleep stages. In particular, the consumer device showed sufficient accuracy in detecting deep sleep but differed markedly from the reference system in estimating WASO and light sleep stages (N1-N2). The observed tendency to classify nocturnal awakening periods as light sleep suggests that wearable activity device algorithms underestimate the fragmentation indices of sleep's macrostructure.

The sleep architecture dynamics assessed during the main study generally corresponded to the principles of homeostatic regulation and compensatory recovery. On the night of the extreme event, total sleep duration decreased, consistent with the known effects of acute stress on the regulation of the sleep-wake cycle. On subsequent nights, this indicator gradually increased, which may reflect compensatory prolongation of sleep after disruption of its structure.

Similar dynamics were observed for slow-wave sleep. Deep sleep duration decreased during the attack night and gradually recovered over subsequent nights. This pattern is consistent with the concept that slow-wave sleep contributes to the restoration of neural resources and the maintenance of brain homeostasis.

In contrast, the architecture of REM sleep appeared relatively stable on initial analysis. The total REM sleep duration did not change significantly during the studied period. The results obtained may indicate a high adaptive potential of the nervous system and the development of mechanisms to maintain sleep homeostasis under prolonged war-related stress. At the same time, significant alterations in REM episode count, alongside a relatively stable total REM duration, suggest an internal reorganization of this sleep stage. Accordingly, while the macroarchitecture of REM sleep appears externally stable, processes of destabilization and redistribution of phase cycles may occur at the microstructural level. A similar dissociation between macro- and microstructure of sleep has been described in studies analyzing the effects of stress on REM sleep, as well as in works focused on sleep state misperception in paradoxical insomnia [25, 26]. Accordingly, sleep disorders in the context of war-induced stress occur mainly at the microstructural level, underscoring the importance of using highly sensitive methods for quantitative analysis of sleep microarchitecture rather than relying on standard assessment of temporal parameters alone.

A key component of stress-induced changes observed in this study was autonomic regulation. Elevations in maximum heart rate and in the frequency of heart rate spikes during REM sleep may reflect enhanced autonomic reactivity. Such cardiovascular responses are often associated with brief cortical arousals and transient disruptions in sleep stability [27].

Considering heart rate spikes as proxy markers of microarousals suggests that increased autonomic reactivity may contribute to microstructural fragmentation of REM sleep even after the end of direct stress exposure. At the same time, the stability of the minimum heart rate throughout the entire observation period indicates the preservation of stable autonomic homeostasis. Therefore, the results obtained indicate a certain dissociation between the basic autonomic tone and the peak reactivity of the cardiovascular system.

This dissociation was also manifested in the structure of correlations between sleep parameters and heart rate. In the baseline period, a relatively stable system of correlations was observed. WASO demonstrated positive correlations with the minimum and mean heart rate parameters, reflecting coordinated autonomic responses and sleep maintenance.

During acute stress (Night 0), these correlations were significantly weakened. Such desynchronization may indicate an increased variability of autonomic responses and a temporary disruption of the usual regulatory connections between the autonomic system and the architecture of sleep.

During the first two post-event nights (Night 1 and Night 2), the correlation structure was partially rebuilt, with the main changes concentrated in the REM sleep. In particular, negative correlations were recorded between the duration of REM episodes and heart rate parameters. This may indicate that increased autonomic activation limits the duration of individual REM cycles and contributes to their premature interruption. Concurrently, on the second night after the event, positive correlations between WASO and heart rate re-emerged, suggesting a gradual reintegration of sleep regulatory processes and autonomic activity. The negative correlation between REM sleep and WASO during this period reflects the competitive nature of the interaction between sleep maintenance mechanisms and destabilizing factors. On the third night after the event (Night 3), the correlation structure almost completely returned to the baseline pattern. This may indicate the completion of the acute adaptation phase and the gradual restoration of the coordinated work of the sleep regulation systems and the autonomic nervous system.

The results obtained are also consistent with modern ideas about the functional role of REM sleep in the processing of emotional experience and the regulation of stress reactions. A number of studies have shown that REM sleep is involved in emotional adaptation and recovery from stress. From this point of view, the detected changes in the REM structure may reflect the active phase of the neurophysiological adaptation to the experienced stressful impact [3, 6].

However, the study's results should be interpreted in light of certain methodological limitations. The assessment of sleep architecture was carried out using a consumer wearable device, whose algorithms may have limited accuracy in determining individual sleep stages and short episodes of awakening. That is why the interpretation of changes in sleep architecture should be considered alongside additional indicators, particularly the dynamics of cardiovascular responses.

Overall, the results indicate that, even with the relative stability of the macroarchitecture of REM sleep after acute stress exposure, significant changes in its microstructure may occur, reflected in increased autonomic reactivity and in the restructuring of associations between sleep parameters and heart rate.

Conclusions and future research directions. The restoration of sleep architecture after acute stress is gradual. The most pronounced instability of parameters is observed during the first two nights after the event, whereas the correlation structure between sleep indicators and heart rate returns to baseline pattern only by the third night.

Despite the relative stability of sleep macrostructure, stress is associated with microstructural alterations, such as REM sleep fragmentation and autonomic desynchronization, indicating a dissociation between macro- and microarchitectural levels of sleep organization.

The Xiaomi Smart Band 9 wearable activity tracker can be used for longitudinal monitoring of general sleep trends, but has limitations in detecting WASO, potentially leading to an underestimation of sleep fragmentation.

Heart rate spikes during REM sleep can serve as proxy markers of microarousals. The proposed approach demonstrated sufficient agreement with EEG recordings ($F1 = 0,755$; Cohen's $\kappa = 0,66$), supporting the feasibility of using cardiovascular-autonomic parameters for indirect evaluation of REM sleep fragmentation.

Future research directions include expanding the sample across demographic groups, conducting detailed analyses of REM sleep microstructure under chronic stress, and developing machine-learning-based methods for automated sleep fragmentation detection. Further work should focus on integrating wearable device data with polysomnography to improve the accuracy of ambulatory sleep disorder assessment and on establishing a quantitative index of REM sleep fragmentation based on cardiovascular-autonomic markers derived from wearable devices.

REFERENCES (in language original)

1. Liu P. Y., Reddy R. T. Sleep, testosterone and cortisol balance, and ageing men. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*. 2022. Vol. 23, No. 6. P. 1323–1339. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09755-4>.
2. Feeney S. P., McCarthy J. M., Petruconis C. R., Tudor J. C. Sleep loss is a metabolic disorder. *Science signaling*. 2025. Vol. 18, No. 881. Art. eadp9358. DOI: <https://doi.org/10.1126/scisignal.adp9358>.
3. Franken P., Dijk D. J. Sleep and circadian rhythmicity as entangled processes serving homeostasis. *Nat. Rev. Neurosci*. 2024. Vol. 25. P. 43–59. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00764-z>.
4. Xu Y., Schneider A., Wessel R. et al. Sleep restores an optimal computational regime in cortical networks. *Nat Neurosci*. 2024. Vol. 27. P. 328–338. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01536-9>.
5. Tempesta D., Succi V., De Gennaro L., Ferrara M. Sleep and emotional processing. *Sleep medicine reviews*. 2018. Vol. 40. P. 183–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2017.12.005>.
6. Van Someren E. J. W. Brain mechanisms of insomnia: new perspectives on causes and consequences. *Physiological reviews*. 2021. Vol. 101, No. 3. P. 995–1046. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00046.2019>.
7. Dressle R. J., Riemann D. Hyperarousal in insomnia disorder: Current evidence and potential mechanisms. *Journal of Sleep Research*. 2023. Vol. 32, No. 6. Art. e13928. DOI: <https://doi.org/10.1111/jsr.13928>.
8. Werner G. G., Schabus M., Blechert J., Wilhelm F. H. Differential Effects of REM Sleep on Emotional Processing: Initial Evidence for Increased Short-term Emotional Responses and Reduced Long-term Intrusive Memories. *Behavioral sleep medicine*. 2021. Vol. 19, No. 1. P. 83–98. DOI: <https://doi.org/10.1080/15402002.2020.1713134>.

9. Rho Y. A., Sherfey J., Vijayan S. Emotional Memory Processing during REM Sleep with Implications for Post-Traumatic Stress Disorder. *The Journal of neuroscience*. 2023. Vol. 43, No. 3. P. 433–446. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1020-22.2022>.
10. Repantis D., Wermuth K., Tsamitros N. et al. REM sleep in acutely traumatized individuals and interventions for the secondary prevention of post-traumatic stress disorder. *European Journal of Psychotraumatology*. 2020. Vol. 11, No. 1. Art. 1740492. DOI: <https://doi.org/10.1080/20008198.2020.1740492>.
11. Machado, R. B., & Suchecki, D. (2016). Neuroendocrine and Peptidergic Regulation of Stress-Induced REM Sleep Rebound. *Frontiers in endocrinology*, 7, 163. <https://doi.org/10.3389/fendo.2016.00163>
12. Pavlova I., Rogowska A. M. Exposure to war, war nightmares, insomnia, and war-related posttraumatic stress disorder: A network analysis among university students during the war in Ukraine. *Journal of affective disorders*. 2023. Vol. 342. P. 148–156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.09.003>.
13. Rogowska A. M., Pavlova I. A path model of associations between war-related exposure to trauma, nightmares, fear, insomnia, and posttraumatic stress among Ukrainian students during the Russian invasion. *Psychiatry research*. 2023. Vol. 328. Art. 115431. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2023.115431>.
14. Boiko D. I. Sleep problems in combatants with posttraumatic stress disorder and its acceptance. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny*. 2024. Vol. 2, No. 173. P. 165–174. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-165-174>.
15. Kurapov A., Schabus M., Kahveci S. et al. Explaining post-traumatic stress symptoms and sleep disturbance in Ukrainian civilians: perceived threat versus objective war exposure. *European journal of psychotraumatology*. 2024. Vol. 15, No. 1. Art. 2381371. DOI: <https://doi.org/10.1080/20008066.2024.2381371>.
16. Chinoy E. D. et al. Performance of seven consumer sleep-tracking devices compared with polysomnography. *Sleep*. 2021. Vol. 44, No. 5. Art. zsa291. DOI: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsa291>.
17. Kainec K. A., Caccavaro J., Barnes M. et al. Evaluating Accuracy in Five Commercial Sleep-Tracking Devices Compared to Research-Grade Actigraphy and Polysomnography. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 2. Art. 635. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24020635>.
18. Herberger S., Aurnhammer C., Bauerfeind S. et al. Performance of wearable finger ring trackers for diagnostic sleep measurement in the clinical context. *Sci Rep*. 2025. Vol. 15. Art. 9461. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93774-z>.
19. de Zambotti M. et al. Rigorous performance evaluation for informed use of new technologies for sleep health measurement. *Sleep Health*. 2022. Vol. 8, No. 3. P. 263–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2022.02.006>.
20. Schyvens A. M., Peters B., Van Oost N. C. et al. A performance validation of six commercial wrist-worn wearable sleep-tracking devices for sleep stage scoring compared to polysomnography. *Sleep advances*. 2025. Vol. 6, No. 2. Art. zpaf021. DOI: <https://doi.org/10.1093/sleepadvances/zpaf021>.
21. Trinder J., Kleiman J., Carrington M. et al. Autonomic activity during human sleep as a function of time and sleep stage. *Journal of Sleep Research*. 2001. Vol. 10. P. 253–264. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2001.00263.x>.
22. Halász P., Terzano M., Parrino L., Bódizs R. The nature of arousal in sleep. *Journal of Sleep Research*. 2004. Vol. 13. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2004.00388.x>.
23. Stein P. K., Pu Y. Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep medicine reviews*. 2012. Vol. 16, No. 1. P. 47–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.02.005>.
24. Walch O., Huang Y., Forger D., Goldstein C. Sleep stage prediction with raw acceleration and photoplethysmography heart rate data derived from a consumer wearable device. *Sleep*. 2019. Vol. 42, No. 12. Art. zsz180. DOI: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz180>.
25. Chen C. X., Li S. X., Ho C. S. et al. Associations of psychological resilience with macro- and microstructures in NREM and REM sleep in adolescents. *International journal of clinical and health psychology*. 2025. Vol. 25, No. 2. Art. 100570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2025.100570>.
26. Ren W., Zhang N., Sun Y. et al. The REM microarousal and REM duration as the potential indicator in paradoxical insomnia. *Sleep medicine*. 2023. Vol. 109. P. 110–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2023.06.011>.
27. Attoh-Mensah, E., Igor-Gaez, I., Vincent, L., Bessot, N., Nathou, C., & Etard, O. (2023). Cardiorespiratory changes associated with micro-arousals during naps. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*, 14, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.nbscr.2023.100093>

REFERENCES

1. Liu, P. Y., & Reddy, R. T. (2022). Sleep, testosterone and cortisol balance, and ageing men. *Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders*, 23(6), 1323–1339. <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09755-4>
2. Feeney, S. P., McCarthy, J. M., Petruconis, C. R., & Tudor, J. C. (2025). Sleep loss is a metabolic disorder. *Science Signaling*, 18(881), eadp9358. <https://doi.org/10.1126/scisignal.adp9358>
3. Franken, P., & Dijk, D. J. (2024). Sleep and circadian rhythmicity as entangled processes serving homeostasis. *Nature Reviews Neuroscience*, 25, 43–59. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00764-z>

4. Xu, Y., Schneider, A., Wessel, R., et al. (2024). Sleep restores an optimal computational regime in cortical networks. *Nature Neuroscience*, 27, 328–338. <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01536-9>
5. Tempesta, D., Soccia, V., De Gennaro, L., & Ferrara, M. (2018). Sleep and emotional processing. *Sleep Medicine Reviews*, 40, 183–195. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2017.12.005>
6. Van Someren, E. J. W. (2021). Brain mechanisms of insomnia: New perspectives on causes and consequences. *Physiological Reviews*, 101(3), 995–1046. <https://doi.org/10.1152/physrev.00046.2019>
7. Dressle, R. J., & Riemann, D. (2023). Hyperarousal in insomnia disorder: Current evidence and potential mechanisms. *Journal of Sleep Research*, 32(6), e13928. <https://doi.org/10.1111/jsr.13928>
8. Werner, G. G., Schabus, M., Blechert, J., & Wilhelm, F. H. (2021). Differential effects of REM sleep on emotional processing: Initial evidence for increased short-term emotional responses and reduced long-term intrusive memories. *Behavioral Sleep Medicine*, 19(1), 83–98. <https://doi.org/10.1080/15402002.2020.1713134>
9. Rho, Y. A., Sherfey, J., & Vijayan, S. (2023). Emotional memory processing during REM sleep with implications for post-traumatic stress disorder. *The Journal of Neuroscience*, 43(3), 433–446. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1020-22.2022>
10. Repantis, D., Wermuth, K., Tsamitros, N., et al. (2020). REM sleep in acutely traumatized individuals and interventions for the secondary prevention of post-traumatic stress disorder. *European Journal of Psychotraumatology*, 11(1), 1740492. <https://doi.org/10.1080/20008198.2020.1740492>
11. Machado, R. B., & Suchecki, D. (2016). Neuroendocrine and peptidergic regulation of stress-induced REM sleep rebound. *Frontiers in Endocrinology*, 7, 163. <https://doi.org/10.3389/fendo.2016.00163>
12. Pavlova, I., & Rogowska, A. M. (2023). Exposure to war, war nightmares, insomnia, and war-related posttraumatic stress disorder: A network analysis among university students during the war in Ukraine. *Journal of Affective Disorders*, 342, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.09.003>
13. Rogowska, A. M., & Pavlova, I. (2023). A path model of associations between war-related exposure to trauma, nightmares, fear, insomnia, and posttraumatic stress among Ukrainian students during the Russian invasion. *Psychiatry Research*, 328, 115431. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2023.115431>
14. Boiko, D. I. (2024). Sleep problems in combatants with posttraumatic stress disorder and its acceptance. *Visnyk Problem Biologii i Medytsyny* (Bulletin of Problems in Biology and Medicine), 2(173), 165–174. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-165-174>
15. Kurapov, A., Schabus, M., Kahveci, S., et al. (2024). Explaining post-traumatic stress symptoms and sleep disturbance in Ukrainian civilians: Perceived threat versus objective war exposure. *European Journal of Psychotraumatology*, 15(1), 2381371. <https://doi.org/10.1080/20008066.2024.2381371>
16. Chinoy, E. D., et al. (2021). Performance of seven consumer sleep-tracking devices compared with polysomnography. *Sleep*, 44(5), zsa291. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsa291>
17. Kainec, K. A., Caccavaro, J., Barnes, M., et al. (2024). Evaluating accuracy in five commercial sleep-tracking devices compared to research-grade actigraphy and polysomnography. *Sensors*, 24(2), 635. <https://doi.org/10.3390/s24020635>
18. Herberger, S., Aurnhammer, C., Bauerfeind, S., et al. (2025). Performance of wearable finger ring trackers for diagnostic sleep measurement in the clinical context. *Scientific Reports*, 15, 9461. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93774-z>
19. de Zambotti, M., et al. (2022). Rigorous performance evaluation for informed use of new technologies for sleep health measurement. *Sleep Health*, 8(3), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2022.02.006>
20. Schyvens, A. M., Peters, B., Van Oost, N. C., et al. (2025). A performance validation of six commercial wrist-worn wearable sleep-tracking devices for sleep stage scoring compared to polysomnography. *Sleep Advances*, 6(2), zpaf021. <https://doi.org/10.1093/sleepadvances/zpaf021>
21. Trinder, J., Kleiman, J., Carrington, M., et al. (2001). Autonomic activity during human sleep as a function of time and sleep stage. *Journal of Sleep Research*, 10(4), 253–264. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2001.00263.x>
22. Halász, P., Terzano, M., Parrino, L., & Bódizs, R. (2004). The nature of arousal in sleep. *Journal of Sleep Research*, 13(1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2004.00388.x>
23. Stein, P. K., & Pu, Y. (2012). Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews*, 16(1), 47–66. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.02.005>
24. Walch, O., Huang, Y., Forger, D., & Goldstein, C. (2019). Sleep stage prediction with raw acceleration and photoplethysmography heart rate data derived from a consumer wearable device. *Sleep*, 42(12), zsz180. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz180>
25. Chen, C. X., Li, S. X., Ho, C. S., et al. (2025). Associations of psychological resilience with macro- and microstructures in NREM and REM sleep in adolescents. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 25(2), 100570. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2025.100570>
26. Ren, W., Zhang, N., Sun, Y., et al. (2023). The REM microarousal and REM duration as the potential indicator in paradoxical insomnia. *Sleep Medicine*, 109, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2023.06.011>
27. Attoh-Mensah, E., Igor-Gaez, I., Vincent, L., Bessot, N., Nathou, C., & Etard, O. (2023). Cardiorespiratory changes associated with micro-arousals during naps. *Neurobiology of sleep and circadian rhythms*, 14, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.nbscr.2023.100093>

Чернолевський Б. О., Севериновська О. В.

ДИНАМІКА ВІДНОВЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СНУ ТА ВЕГЕТАТИВНІ РЕАКЦІЇ ПІСЛЯ НІЧНОГО ВОЄННОГО СТРЕСУ

Сон є ключовим механізмом емоційної регуляції та нейрофізіологічної адаптації, при цьому REM-фаза відіграє провідну роль у переробці стресового досвіду. В умовах воєнних конфліктів цивільне населення зазнає гострого нічного стресу, що може порушувати стабільність сну. Водночас об'єктивні дані щодо мікроструктурних змін REM-сну в природних умовах залишаються обмеженими, особливо у випадках, коли макроархітектура сну залишається відносно стабільною.

Метою дослідження було проаналізувати нейрофізіологічні закономірності відновлення сну після гострого нічного стресу та оцінити можливість використання кардіовегетативних показників як непрямих маркерів мікроструктурних порушень сну.

Для оцінки основних структурних та вегетативних показників сну було проведено проспективне натуралістичне дослідження із використанням носимих пристроїв для багатоденного моніторингу сну. Проаналізовано п'ятиденні цикли, що включали фонову ніч, ніч стресової події та період відновлення. Для перевірки інформативності кардіовегетативних сигналів в рамках дослідницького спостереження за окремим випадком було використано паралельну реєстрацію з портативною ЕЕГ-системою.

Встановлено, що макроархітектура REM-сну, зокрема його загальна тривалість, залишалася відносно стабільною після стресової події, тоді як на мікроструктурному рівні спостерігалася її дестабілізація. Обґрунтовано можливість використання кардіовегетативних реакцій як проксі-маркерів мікроароузлів, що відкриває перспективи дистанційної оцінки фрагментації сну без застосування полісомнографії.

Виявлено, що відновлення структури сну після гострого стресу має інерційний характер: найбільш виражені порушення спостерігаються у перші дві ночі, тоді як нормалізація функціональних взаємозв'язків відбувається на третю ніч. Підтверджено, що носимі пристрої можуть бути використані для довготривалого моніторингу вегетативної динаміки сну, однак мають обмеження у детекції нічних пробуджень. Отримані результати можуть бути використані для розробки підходів до раннього виявлення порушень сну, зумовлених стресом.

Ключові слова: *нейрофізіологія сну; REM-фаза; мікроароузали; мікроструктура сну; вегетативна регуляція; носимі смарт-трекери; постстресове відновлення.*

Надійшла до редакції / Received: 08.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

UDC 612.8; 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-17-30

Kateryna Hennadiivna Koval

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

kolybri.777@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-2920-2343>**Serhii Mykolaiovych Khomenko**

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

skhomenko@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>**Liliia Ivanivna Yukhymenko**

Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy

liyukhimenko@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

THE ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY AND NUTRITION IN THE FORMATION OF STUDENTS' PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION TO THE EDUCATIONAL PROCESS UNDER CONDITIONS OF MARTIAL LAW

Relevance. Psychophysiological adaptation (PA) is essential for successful academic achievement and functioning during chronic stress. This issue is particularly relevant in Ukraine, where students face martial law conditions, sleep deprivation, poor nutrition, and elevated academic demands. Understanding how body mass index (BMI), physical activity, and dietary behaviour modulate adaptation is crucial for developing targeted interventions.

Aim. To determine the relationships between PA and behavioural factors (BMI, physical activity, dietary patterns) among university students, and to develop practical recommendations for optimising psychophysiological status during chronic stress.

Materials and Methods. The study involved 76 male university students (38 students of sports specialities, 38 students of non-sports specialities, aged 17–28 years). PA was assessed using the computerised programme "Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation" (CP IAHPA). Physical activity was evaluated using IPAQ, and dietary behaviour using FFQ. Statistical analysis was performed using Microsoft Excel 2016.

Results. Students of sports specialities demonstrated significantly higher PA (59.4 ± 2.1 points) versus students of non-sports specialities (42.8 ± 1.9 points; $p < 0.05$). A statistically significant negative correlation of moderate strength was found between BMI and PA ($r = -0.51$, $p < 0.01$). Students with normal BMI showed higher adaptation levels (32.1% with high PA) compared to those with excess weight (12.5%; $p < 0.05$). Three risk profiles were identified: low risk (85.5%), moderate risk (8.0%), and high risk (13.2%), the latter requiring targeted intervention.

Conclusions. Regular physical activity exerts a pronounced protective effect against the development of maladaptive states. The identified negative association between BMI and PA suggests that weight management through combined physical activity and dietary normalisation offers significant potential for psychophysiological improvement. Multidisciplinary interventions including stress management training, physical activity programmes, nutritional counselling, and psychological support are essential, particularly during wartime conditions.

Key words: psychophysiological adaptation, body mass index, physical activity, dietary behavior, chronic stress, stress resistance, martial law.

Introduction. Psychophysiological adaptation (PA) is a complex biopsychological process encompassing the integrated interaction of neuroendocrine, autonomic, and somatic mechanisms aimed at ensuring homeostasis and effective functional activity of the organism under conditions of a changing environment [1, 2]. In the context of students' educational activity, PA represents a

dynamic process of adaptation to a complex of stressogenic factors within the academic environment, including cognitive load, emotional tension, and social demands [1, 2, 3].

However, the contemporary reality of Ukrainian students has qualitatively transformed the paradigm of understanding PA. Since 2022, following the onset of full-scale Russian aggression, Ukrainian students have been in a state of persistent chronic stress caused by martial law: constant threat, frequent air-raid alarms, sounds of explosions, uncertainty about the future, and fear for their own lives and the lives of their relatives [1, 2]. Such a state of chronic psychological tension is combined with traditional stressors of the educational process: examinations, assessments, written reports, an intensive pace of study, and high mental workloads [1, 2, 3].

Thus, there is effectively a superposition of two levels of stress – existential (war-related) and academic – creating a specific, intense stress situation that negatively affects various systems of the students' organism. This leads to the risk of critical depletion of adaptive reserves, sleep disturbances, the development of maladaptive eating patterns, and a significant decrease in motivation for physical activity, which destabilises stress resistance in young people [1, 2].

It is known from the literature that regular physical activity modulates adaptive mechanisms through optimisation of functions within the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis and metabolic neurotrophic support [4, 5]. Physical activity acts as a powerful factor counteracting the development of mental disorders and contributes to strengthening stress resistance mechanisms in students [6]. On the other hand, morphological body factors (body mass, height, circumferences) and nutritional characteristics (rationality, balance, regimen) are of great importance, as they directly influence neuroendocrine and emotional regulation of physiological processes [7, 8]. It has been established that overweight signals low-grade chronic inflammation and adipokine imbalance, which disrupts the functioning of the prefrontal cortex and activates the amygdala – the centre of fear and anxiety [8, 9, 10]. The authors emphasise that in students already experiencing stress due to martial law, overweight further worsens the organism's ability to cope with it [5, 8, 11].

It has been found that diet quality can modulate the composition of the gut microbiome, which is involved in regulating the synthesis of neurotransmitters necessary for emotional stability, cognitive activity, etc. Gazolla J. C., Yoon E. S. and their co-authors emphasise that a diet rich in ultra-processed foods is associated with emotional instability and may contribute to deterioration of mental health [12, 13]. This situation may pose significant risks to the health of young people studying under martial law conditions.

According to scientific studies by Kisiel D. et al., the psychophysiological mechanisms of student adaptation under chronic stress depend on various behavioural factors, including the level of physical activity and dietary behaviour [1]. According to studies by Tilov B., Shevchenko S., Kokun O. M. et al., a high prevalence of depressive symptoms and anxiety disorders is observed among students, especially during periods of intensive study [8, 9, 11].

Modern psychophysiology recognises that the adaptive capacity of the organism depends on a complex of behavioural, individual characteristics and environmental factors [2, 8]. Body mass index (BMI), level of physical activity, and quality of dietary behaviour are considered modifiable factors that significantly affect the psychophysiological status of a person and their stress resistance [7, 10, 11, 14]. The results of studies by Salmon P., Hamer M., Brownley K. demonstrate that increased BMI correlates with elevated psychological stress and reduced emotional resilience in young people [4, 5, 6]. Regular physical activity acts as a powerful means of protecting students' health from stressogenic influences and contributes to the development of their stress resistance [1]. Conversely, a deficiency of physical activity creates conditions for chronic inflammation and the development of imbalance in the autonomic nervous system, significantly reducing the adaptive reserves of the organism [12, 13].

Thus, the relevance of studying the relationship between adaptive capacity, morpho-functional characteristics of the organism, and dietary behaviour is caused by the lack of comprehensive data and the need to clarify their role in the formation of PA in Ukrainian students under martial law conditions. Most previous studies have examined these factors in isolation,

without considering their synergistic influence [1, 2, 3]. Moreover, to date, there are no differentiated programmes of psychohygiene and health preservation developed with regard to the specific military-political situation in the country and its psychological, physiological, and social consequences for the student youth.

Statement of the problem and purpose of the study. The current military situation in Ukraine has created extreme conditions for the PA of students in relation to learning. Unlike students studying in peaceful countries who face only traditional academic stress, Ukrainian students experience its layering with stressogenic factors of martial law, namely:

- constant threat to life and safety manifested by frequent air-raid alarms, explosions, concern for relatives and friends, uncertainty about the future, loss of stability, and psychological trauma (loss of life, damage to infrastructure);
- an intensive pace of study in various formats (full-time, part-time, distance, blended), characterised by high mental loads caused by interruptions or absence of heating and electricity; difficulties related to access to information and assimilation of educational material. All this occurs under conditions of competition with peers, uncertainty regarding future employment, and safety of life in a country at war.

Such layering of influencing factors produces a synergistic effect, where both stress levels reinforce each other, creating challenges that far exceed the natural adaptive capacities of the organism, especially after several years of continuous war under conditions of depleted reserves [11, 15].

It has been established that during periods of high psychological tension, students exhibit a significant increase in depression and anxiety levels [8, 16]. Despite this, the majority of modern studies consider stress in isolation (either academic or psychosocial), without taking into account their cumulative combined effect on the psychophysiological status of young individuals. To date, studies of the interrelationships between physical development characteristics, level of physical activity, and diet quality – which simultaneously affect adaptive capacity, particularly psychophysiological adaptation to learning under conditions of dual stress (martial law and academic load) – are almost absent. It remains unknown which behavioural factors most effectively protect students from states bordering on maladaptation in such extreme conditions. Furthermore, the current scientific literature contains virtually no differential (or personalised) health-promoting programmes designed to support the physical and mental aspects of health and to mitigate the psychophysiological effects of stressful situations on Ukrainian students living and studying under the specific conditions of martial law.

The purpose of our research was to determine the role of physical activity and nutrition in the formation of psychophysiological adaptation of students to the educational process under martial law conditions.

Research objectives:

- to describe and assess morphological (by BMI), functional (by level of physical activity) characteristics of the organism and the lifestyle and quality of nutrition of students;
- to perform correlation analysis between indicators of PA, BMI, characteristics of dietary behaviour, and level of physical activity of students;
- to create and substantiate an empirical risk profile of PA;
- to develop practical recommendations for optimisation of the educational process and support of students' PA.

Organisation and methods of the study. The study involved 76 practically healthy male volunteers – students of higher education at Bohdan Khmelnytskyi National University of Cherkasy (aged 17–28 years), who were divided into two experimental groups: students of sports specialities (n = 38) and students of non-sports specialities (n = 38). The group of sports specialities consisted of students of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture, Sport and Health, who regularly engaged in physical activity (≥ 10 hours per week of organised physical activity). The group of non-sports specialities included students of faculties of psychology, computer engineering, intelligent and control systems, as well as the Educational and Scientific Institute of Pedagogical

Education, Social Work and Arts, who did not engage in systematic professional physical training. Data collection was carried out during 2024–2025 in the intersession period.

To determine the level of PA, psychophysiological testing was conducted using the author's computerised programme "Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation" (CP IAHPA) [15]. The PA index was determined within the range of 30.0–70.0 points and above. It was assumed that $PA \geq 56.0$ points indicated high adaptation, 49.0–55.99 points – average adaptation, 40.0–48.99 points – low adaptation, ≤ 39.99 points – critically low adaptive reserves.

Anthropometric measurements included height measurement using a Martin stadiometer (cm) and body mass determination (kg) using medical floor scales (accuracy 0.1 cm and 0.1 kg respectively). BMI was calculated according to formula 1.

$$BMI = m / h^2 \quad (1)$$

where BMI – body mass index;

m – body mass in kg;

h^2 – square of height in metres.

BMI (kg/m^2) was categorised according to WHO recommendations: underweight (<18.5), normal weight (18.5–24.9), overweight (25.0–29.9), obesity (≥ 30) [8]. Functional muscle strength was assessed using hand dynamometry by determining maximum grip strength of the right and left hands (kg) and back muscle strength (kg).

The nature and intensity of physical activity were assessed using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), validated for adults [16]. IPAQ differentiates results into low (<600 MET-min/week), moderate (600–2999 MET-min/week), and high (≥ 3000 MET-min/week) physical activity.

Dietary behaviour was assessed using the Food Frequency Questionnaire (FFQ), adapted for the Ukrainian context, including consumption of fruits, vegetables, whole grains, proteins, as well as stimulants, processed foods, and sugar-containing products [14].

Statistical analysis was performed using Microsoft Excel 2016 and standard methods of mathematical statistics. Descriptive statistics included mean (M), standard error (SE), standard deviation (SD), and range. Data normality was confirmed by the Shapiro–Wilk test. Differences between independent groups were assessed using Student's t-test, while qualitative variables were analysed with the χ^2 test. Correlations were determined using Pearson's coefficient (r) with significance level (p); correlation strength was classified as weak ($|r| = 0.1–0.3$), moderate ($|r| = 0.3–0.5$), and strong ($|r| > 0.5$). Statistical significance was set at $p < 0.05$. Data are presented as $M \pm SE$ (mean value \pm standard error). All student assessments in this study were conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki (1975, revised 1996–2013). At the time of examination, participants were practically healthy and provided written informed consent to participate. The obtained data were used solely for scientific purposes under conditions of full anonymity and confidentiality.

The results of the study and their discussion. The distribution of higher education students in both groups by levels of PA that we conducted revealed the existence of significant differences (Fig. 1). The figure shows that in the group of examined students of sports specialities, 10 of them (which accounted for 26% of the total number of participants in this group) had a high level of PA, 25 individuals (66%) had a medium level, and 3 students (8%) had a low level. At the same time, none of the students in this group demonstrated a critically low level of PA.

In contrast, in the group of students of non-sports specialities, only 2 individuals (5%) had a high level of PA, 15 students (40%) showed a medium level, 16 individuals (42%) had a low level, and 5 participants (13%) were characterised by a critically low level ($p < 0.05$). It is possible that the differences we identified in the distribution of PA levels in favour of better indicators among athletes can be explained by the positive effect of regular physical activity on their adaptive mechanisms. Similar results were obtained by Kisiel D., Gazolla J. C., Brownley K. A. [1, 12, 6].

In addition, Tilov B., Holubnycha L., and Dakanalis A. emphasised that psychosocial determinants, including activity level, significantly affect adaptive capacity [8, 17, 10].

Furthermore, it was found that students from the group of sports specialities were characterised by a significantly higher level of PA (59.4 ± 2.1 points) compared with students from the group of non-sports specialities, respectively 42.8 ± 1.9 points ($p < 0.05$).

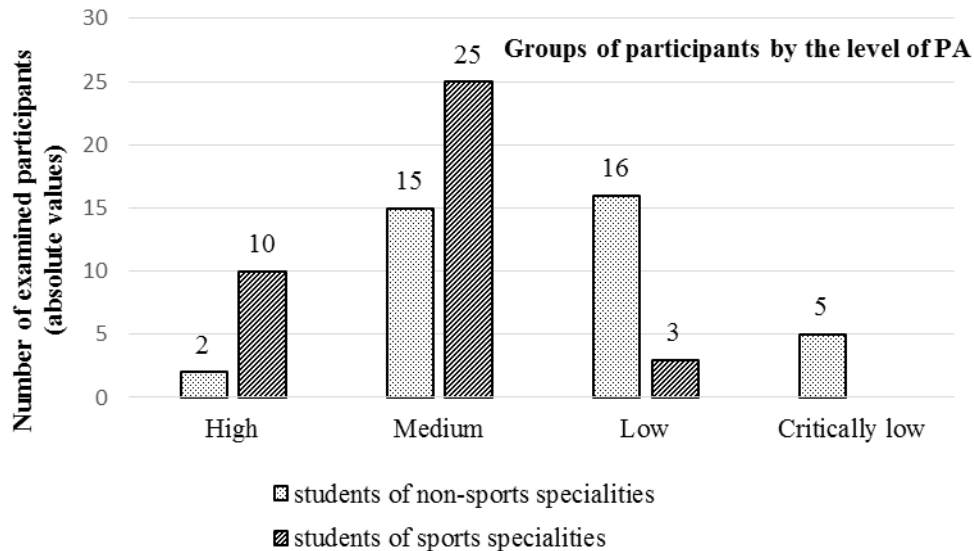


Fig. 1. Quantitative distribution of the examined participants by levels of psychophysiological adaptation (PA); * – significance of differences $p < 0.05$.

This additionally indicated a substantial positive effect of regular physical activity on the adaptive capacity of the organism. Our results are consistent with the data of other authors, such as Gazolla J. C., Salmon P., Hamer M., Yoon E. S., Sabu S. and their co-authors, who emphasised that physical activity with elements of self-determined motivation significantly improves psychophysiological status and emotional stress resistance in young people [4, 5, 7, 12, 13].

Thus, it can be assumed that the differences in PA established by us between the examined groups may indicate optimisation of regulatory mechanisms of the HPA axis and a higher overall tone in students who regularly engage in physical culture. This enables them to cope more effectively with chronic stress [4, 12].

It is known from the literature that systematic aerobic training reduces the reactivity of the HPA axis to stress stimuli and enhances parasympathetic regulation of cardiac activity, which manifests as lower anxiety and better emotional stability. According to Gazolla J. C. et al., such mechanisms are ensured through optimisation of neuroendocrine processes and autonomic regulation [12]. According to Sabu S., systematic physical activity promotes the synthesis of neurotrophic factors and improves cognitive function under conditions of chronic stress [7].

It should be noted that a large proportion of the examined students from the sports group had high and medium levels of PA (which amounted to 92.1% of their total number). This confirms that systematic physical training ensures stable functioning of adaptive mechanisms [3, 9, 11].

At the same time, 7.9% of participants in this group demonstrated a low level of PA. Further analysis established that this level in these participants was due to their being in a state of convalescence after a short-term illness or minor injury, or due to personal circumstances that could temporarily reduce the regularity of their training. This once again emphasises that even in a physically active population, short-term interruptions in training can result in a noticeable decline in functional state and the development of maladaptive processes.

At the same time, the examined individuals of non-sports specialities were characterised by a high proportion of maladapted students: 42.1% had a low level, and 13.2% had a critically low level of PA. Such a distribution indicates insufficient adaptive mechanisms to stressogenic factors

among physically untrained students [1, 2, 3]. Our results are consistent with the data of Yoon E. S., who emphasised that young people with low physical activity exhibit significantly higher levels of anxiety and depression, which negatively affects their ability to cope with stress [13]. Thus, a deficit of physical activity in combination with other negative maladaptive behavioural factors leads to a pronounced inability to adapt among student youth [4–6, 18].

We analysed BMI and muscle strength indicators in students with different levels of PA (Table 1). It was found that among students of non-sports specialities there was a clear gradient of dependence of PA level on BMI. Specifically, as BMI increased, muscle strength indicators consistently decreased, which has also been emphasised by other authors [8, 10, 14]. Representatives of the sports group demonstrated a qualitatively different profile: even students with a “low” level of PA by group standards had significantly higher muscle strength and lower BMI ($24.17 \pm 1.15 \text{ kg/m}^2$) than the best-adapted individuals from the non-sports group. This convincingly demonstrates that systematic motor activity and physical loads provide a fundamentally higher baseline of both adaptive potential and muscle strength [1, 4]. Yoon E. S., Salmon P., Hamer M. showed that sufficient muscle strength correlates with neurotrophic factors, HPA axis functions, and psychological resilience under chronic stress [4, 5, 13].

Table 1.

Indicators of BMI and muscle strength in students with different levels of psychophysiological adaptation

Indicators	High PA level	Medium PA level	Low PA level	Critically low PA level
Students of non-sports specialities (n = 38)				
Number of examined participants	2	15	16	5
BMI, kg/m^2 (M \pm SE)	21.45 ± 1.52	23.61 ± 0.40	25.45 ± 0.56	28.34 ± 1.19
Dynamometry: right hand, kg	31.50 ± 2.50	25.49 ± 0.99	21.83 ± 1.50	18.27 ± 2.05
Dynamometry: left hand, kg	28.50 ± 2.30	22.11 ± 0.96	17.92 ± 1.23	15.65 ± 1.88
Dynamometry: back, kg	81.00 ± 7.50	62.38 ± 3.35	52.47 ± 5.54	44.21 ± 6.84
Students of sports specialities (n = 38)				
Number of examined participants	10	25	3	–
BMI, kg/m^2 (M \pm SE)	20.52 ± 0.48	21.84 ± 0.65	24.17 ± 1.15	–
Dynamometry: right hand, kg	38.94 ± 1.72	36.18 ± 1.95	28.67 ± 2.80	–
Dynamometry: left hand, kg	36.22 ± 1.84	33.47 ± 1.99	26.00 ± 2.65	–
Dynamometry: back, kg	110.28 ± 4.95	102.06 ± 5.45	78.33 ± 8.12	–

Note: M \pm SE – mean value \pm standard error; BMI – body mass index; PA – psychophysiological adaptation.

We found that in 3 students of sports specialties with a low level of psychophysiological adaptation, BMI ranged within $24.17 \pm 1.15 \text{ kg/m}^2$ (slight overweight), but according to dynamometric indicators (28.67 kg for the right hand, 78.33 kg for back strength), they significantly exceeded even the best-adapted non-athletes (with dynamometric results of 31.50 kg for the right hand and 81.00 kg for back strength). This fact demonstrates that even in athletes with temporarily reduced PA, the baseline of physical fitness remains significantly higher than in non-sporting youth.

We analysed BMI in both examined groups, which allowed us to identify clear intergroup differences. Thus, students of sports specialties were predominantly characterised by normal body weight. 33 individuals (which accounted for 87% of the group) had normal BMI ($18.5\text{--}24.9 \text{ kg/m}^2$), while 5 students (13%) were overweight ($25.0\text{--}29.9 \text{ kg/m}^2$). At the same time, no cases of obesity or underweight were detected in this group. In contrast, in the group of non-sports specialties, the BMI distribution was less favourable: 23 individuals (61%) had normal body weight ($18.5\text{--}24.9 \text{ kg/m}^2$), 11 students (29%) were overweight ($25.0\text{--}29.9 \text{ kg/m}^2$), 3 individuals (7%) had obesity ($\geq 30 \text{ kg/m}^2$), and 1 student (3%) had underweight ($< 18.5 \text{ kg/m}^2$).

We were interested in how PA levels (from high to critically low) were distributed in the groups of sports and non-sports specialties with normal BMI, and what the distribution of PA levels was among students who were overweight. The results of this distribution are presented in Fig. 2.

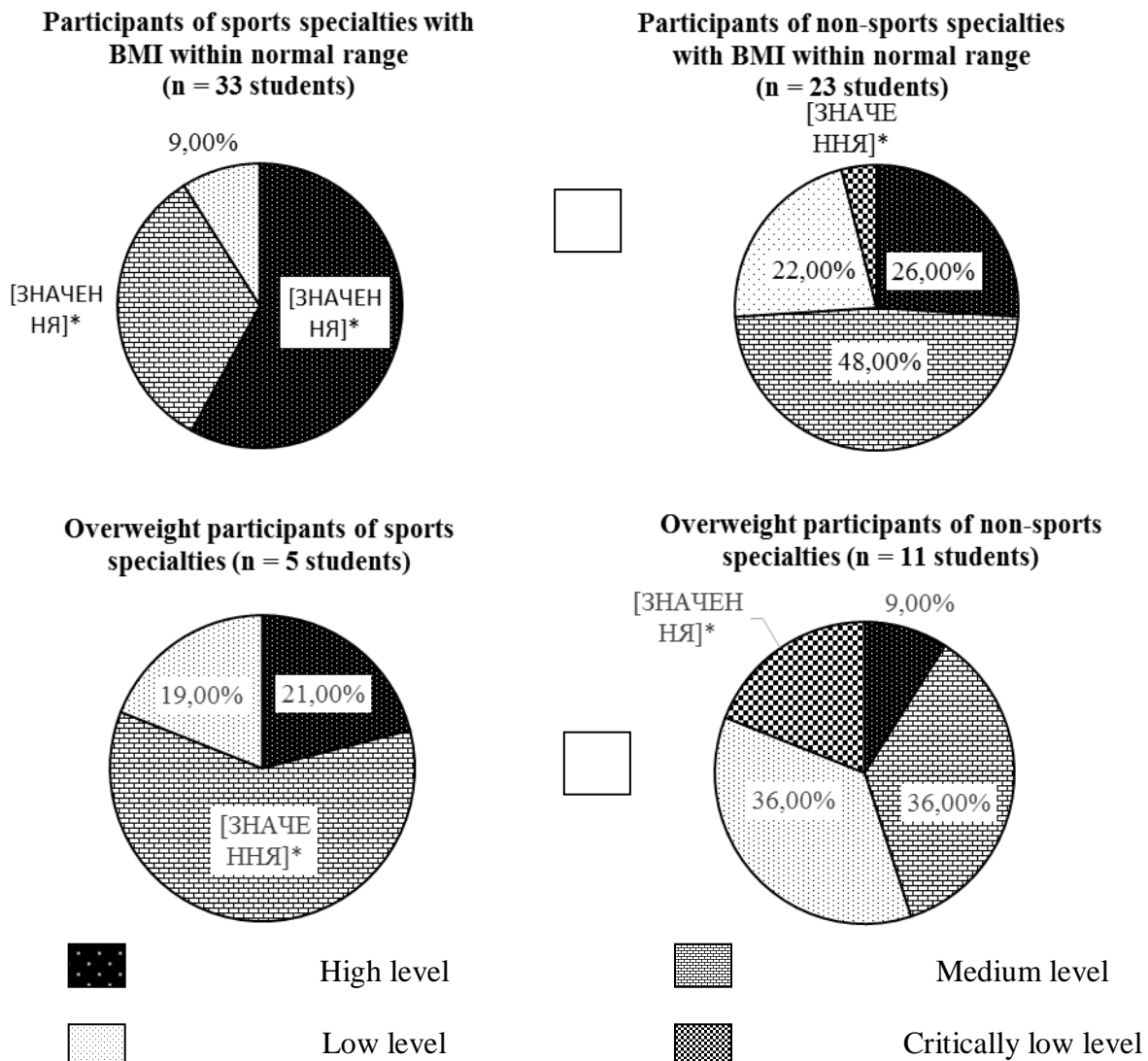


Fig. 2. Distribution of students (%) by PA levels in groups of sports and non-sports specialties with normal BMI (A) and BMI indicating overweight (B); * – statistical significance of differences ($p < 0.05$) within the group compared with overweight participants

Among students of sports specialties with normal BMI ($n = 33$), a predominance of a high level of PA (58%) was established, with no critically low values and a small proportion of individuals with a low level of adaptive capacity (9%). Overall, such a distribution may indicate a sufficient level of functional reserves of the organism in athletes, effective regulation of autonomic functions, optimal cardiovascular system activity, and high neurodynamic balance. It is likely that regular muscular activity in this group acts as a leading factor in the formation of sufficient adaptation, ensuring economisation of physiological processes and increased tolerance to mental loads.

Among students of the same group but who were overweight ($n = 5$), the proportion of individuals with a high level of PA was only 21%, which was significantly lower compared to athletes without excess weight ($p < 0.05$). The dominant level among overweight individuals was medium PA (60.0%), whereas in athletes with normal BMI this level occurred almost twice as rarely ($p < 0.05$). The proportion of individuals with low PA did not exceed 19%. This distribution is likely due to the fact that overweight created additional load on the cardiorespiratory system, limiting the efficiency of energy supply for academic activity. At the same time, regular physical activity partially compensated for the negative impact of increased BMI, preventing the transition to critically low PA values.

Attention is drawn to the distribution of PA levels in the group of students of non-sports specialties with normal BMI ($n = 23$). In this group, a shift of distribution towards medium (48%) and low (22%) PA levels was observed, and the presence of critically low PA was detected in 4% of participants. This indicates insufficient mobilisation of adaptive mechanisms in the absence of systematic physical activity. Despite relatively normal morphometric indicators, functional reserves of the organism in this group were limited, confirming the leading role of physical activity in maintaining adaptive potential.

The most pronounced decrease in adaptive capacity was recorded in untrained students who were overweight ($n = 11$), where only 9% had a high level of PA, while the proportion of individuals with low and critically low levels totalled 54.5%. Particularly concerning is the nearly fivefold increase in the prevalence of critically low PA compared with those with normal BMI ($p < 0.05$). This distribution likely indicates depletion of adaptive reserves, possible imbalance of autonomic regulation towards sympathicotonia, low efficiency of neurohumoral regulation, and impaired stress reactivity.

Thus, our findings convincingly demonstrate that normal body weight is associated with a high adaptive potential, whereas being overweight has a negative impact on the body's ability to cope with chronic stress [8, 9, 14]. According to the findings of Tilov B. et al., the mechanisms underlying this association include dysregulation of the HPA axis and increased systemic inflammation, which, in the context of overweight, place additional stress on the body [8]. Studies by Gazolla, J. C. et al. have shown that obesity and overweight are accompanied by a decline in cognitive function and emotional stability, which makes it more difficult to cope with academic stress [12].

To confirm the established links between PA and BMI, we conducted a correlation analysis. This revealed a statistically significant negative correlation in the average density between BMI and PA ($r = -0.51$, $p < 0.01$), (Table 2). This relationship demonstrates that the higher the BMI value, the lower the body's ability to adapt to stress, which is consistent with the findings of other researchers [7, 9, 10]. We are inclined to believe that the mechanisms underlying this negative correlation may be multifactorial. After all, overweight, especially when caused by the accumulation of adipose tissue, triggers the activation and unfolding of pro-inflammatory biochemical cascades and creates an imbalance of adipokines, which disrupts hippocampal function [8]. It is also known that visceral obesity is associated with dysregulation of the HPA axis and a persistent elevation of basal cortisol levels [9]. The literature contains evidence suggesting that obesity causes an imbalance in the regulatory function of the autonomic nervous system, which significantly reduces the body's ability to rapidly restore homeostasis [10]. The weak negative correlations between BMI and dynamometric parameters that we have established are consistent with the findings of other authors [8, 10, 12]. Thus, according to Dakanalis A. and co-authors,

sarcopenic obesity is a condition characterised by the accumulation of adipose tissue alongside a loss of muscle mass, which significantly impairs functional capacity and PA [10].

At the same time, we identified positive correlations between PA and dynamometric parameters, which were of moderate strength. These correlations confirm the existence of a fundamental relationship between adaptive capacity and functional muscle strength [12]. According to the findings of Yoon E. S. and co-authors, strength training positively modulates psychophysiological markers of stress and improves emotional regulation [13]. Thus, the better the muscle strength indicators, the higher the level of PA. This confirms the fact that physical condition and PA are inseparably linked aspects of a person's overall health [16, 17].

To determine the nature of nutrition (FFQ) and the level of physical activity (IPAQ) among the groups of students we examined, we analysed the results of the questionnaire survey and identified significant differences in behavioural factors between them [14, 16]. Thus, in the group of students of non-sports specialties, only 19% consumed an adequate amount of fruit and vegetables (≥ 5 portions per day), 61% demonstrated an insufficient level of physical activity (< 150 minutes of aerobic activity per week), and 20% frequently skipped meals during periods of increased stress ($p < 0.05$).

Table 2.

Results of the correlation analysis between BMI, PA, and muscular strength indicators in the examined groups of higher education students

Indicator 1	Indicator 2	r	p	n	Type of correlation
Students of non-sports specialties					
BMI, kg/m ²	PA, points	-0.51	<0.01	38	Moderate negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: right hand, kg	-0.34	<0.05	38	Weak negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: left hand, kg	-0.32	<0.05	38	Weak negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: back, kg	-0.36	<0.05	38	Weak negative
PA, points	Dyn.: right hand, kg	0.33	<0.01	38	Moderate positive
PA, points	Dyn.: left hand, kg	0.32	<0.01	38	Moderate positive
PA, points	Dyn.: back, kg	0.34	<0.01	38	Moderate positive
Students of sports specialties					
BMI, kg/m ²	PA, points	-0.38	<0.01	38	Moderate negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: right hand, kg	-0.24	<0.05	38	Weak negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: left hand, kg	-0.22	<0.05	38	Weak negative
BMI, kg/m ²	Dyn.: back, kg	-0.26	<0.05	38	Weak negative
PA, points	Dyn.: right hand, kg	0.43	<0.01	38	Moderate positive
PA, points	Dyn.: left hand, kg	0.41	<0.01	38	Moderate positive
PA, points	Dyn.: back, kg	0.45	<0.01	38	Moderate positive

Note: r – Pearson correlation coefficient (0.1–0.3 – weak, 0.3–0.5 – moderate, > 0.5 – strong correlation); p – level of statistical significance; n – number of participants; BMI – body mass index; PA – psychophysiological adaptation; dyn. – dynamometry.

At the same time, students of sports specialities who engaged in physical activity ≥ 3 times per week preferred foods with a low glycaemic index, demonstrated higher PA levels, and reported fewer psychosomatic complaints.

Numerous studies have described the mechanisms underlying the positive effects of physical activity on PA [4–6, 9, 10, 13]. According to Kisiel D., as well as Sabu S. and their co-authors, physical activity reduces systemic inflammation and improves cognitive function in individuals experiencing chronic stress [1, 7]. It is known that regular physical activity promotes the synthesis of brain-derived neurotrophic factor and enhances neuroplasticity [1, 3]. According to Gazolla J. C. et al., adequate motivation for physical activity is a key factor in students' psychophysiological health [12]. Regarding dietary behaviour, we are inclined to believe that a diet rich in polysaccharides and antioxidants contributes to the integrity of the blood-brain barrier and supports a healthy gut microbiome composition [12, 14]. The literature emphasises that adherence to a balanced diet is associated with a higher level of psychophysiological well-being among students [8, 10]. Conversely, according to Shevchenko S., stressful conditions often lead to dysregulation of dietary behaviour and the selection of unhealthy foods, which significantly worsens adaptation [9].

Subsequently, we classified participants from both groups according to their PA levels and identified three groups: low, medium, and high risk of developing maladaptive reactions.:

1. *Low-risk group*, comprising individuals with high and medium PA levels ($n = 65$; 85%). Representatives of this group demonstrated PA within the range of 49–70 points, indicating relatively well-functioning adaptive mechanisms [15]. This group included 35 students of sports specialities (92% of the sports group), who were physically active and adhered to a rational diet, and 30 students of non-sports specialities (79% of the non-sports group).

2. *Medium-risk group*, mainly consisting of individuals with low PA levels ($n = 6$; 8%). Their PA ranged between 40–48 points, indicating a moderate reduction in adaptive capacity [15]. This group included 3 students of sports specialities (8%) and 3 students of non-sports specialities (8%). These students required targeted interventions aimed at increasing physical activity and normalising dietary behaviour.

3. *High-risk group*, consisting of students with critically low PA levels ($n = 10$; 13%). These individuals had PA values < 40 points, indicating severe maladaptation and critical depletion of adaptive reserves [15]. This group consisted exclusively of 10 students of non-sports specialities (26% of that group). High-risk individuals were characterised by low physical activity, negative dietary patterns, and the majority were overweight. It is likely that their adaptive mechanisms exhibit excessive reactivity even to minimal stressors, as reported by several authors [1, 6, 9, 10], and therefore require comprehensive rehabilitation and psychocorrection. According to Tilov B. et al., individuals with critically low PA have a significantly increased risk of developing chronic mental disorders, necessitating multidisciplinary intervention [8].

Our research findings are consistent with the current understanding of the role of physical activity, dietary behaviour and optimal body weight in shaping students' physical activity levels in relation to the learning process under conditions of chronic stress [1, 3, 8, 10, 12, 13, 17]. The significance of the differences between the sports and non-sports groups (the difference in PA is 16.6 points, indicating that individuals of sports specialties perform 39% better) demonstrates the profound impact of systematic physical training on psychophysiological functions ($p < 0.05$).

Particularly noteworthy is the fact that, within the sports group, even students with low levels of physical activity demonstrated significantly better muscle strength and a lower BMI than students from the non-sports group with high levels of physical activity. This confirms that basic physical training provides lasting protection against the threshold beyond which maladaptation develops [1, 3, 12].

The negative correlation between BMI and PA ($r = -0.51$) that we have established is particularly significant, as it indicates that BMI influences adaptation through multiple mechanisms: metabolic, immune, neuroendocrine and autonomic [4–6, 8, 12, 13]. Comprehensive measures aimed at optimising body weight through a combination of physical activity and the normalisation

of dietary behaviour have significant potential for the comprehensive improvement of the psychophysiological status of students studying under the challenging conditions of martial law.

A particularly worrying finding was the high proportion of students at high risk of developing maladaptive reactions (13.2% of the total sample, or 26.3% of the non-sports group) and with critically low levels of PA. The researchers note that uncontrolled chronic stress leads to the development of cardiovascular diseases and mental disorders. Our findings are consistent with the literature on the negative impact of chronic stress on the psychophysiological status of young people [1–3, 9, 17, 18].

It is known from the literature that aerobic physical activity may even lengthen telomeres and reduce biological ageing in individuals experiencing chronic stress [1]. This confirms the fundamental importance of integrating physical activity into health preservation programmes. This is also emphasised by other researchers, whose studies demonstrate the significance of digital interventions for stress management [3, 17, 18].

Naturally, the studies we conducted and the results obtained cannot fully resolve the problem of the relationship between morphological characteristics and PA, which requires further investigation. At the same time, based on the identified findings and established patterns, we developed a number of practical recommendations that may be implemented in higher education institutions in order to optimise the level of PA among students in accordance with potential levels of maladaptation risk.

For students of the low-risk group for psychophysiological disorders, we propose:

- Implementation of comprehensive psychohygiene and stress prevention programmes, including training in stress resistance and the development of adaptive coping strategies through regulated physical activity and educational initiatives on healthy nutrition;
- Inclusion of practical modules on emotional regulation and the development of metacognitive skills in academic curricula;
- Regular monitoring of students' psychophysiological status using validated computerised methods;
- Ensuring access to sports infrastructure and creating conditions for regular physical activity (at least 150 minutes of moderate aerobic activity per week).

For students of the medium-risk group, it is advisable to:

- Develop individualised programmes to enhance physical activity with gradual increases in intensity (starting from 30 minutes of moderate activity three times per week with a gradual increase to 150 minutes per week);
- Provide individual and group consultations with a dietitian to normalise dietary behaviour;
- Offer recommendations on sleep hygiene (7–8 hours per night at fixed times) and assess sleep quality;
- Conduct group sessions involving relaxation techniques, breathing exercises, and progressive muscle relaxation.

For students of the high-risk group, we recommend:

- Implementation of comprehensive rehabilitation programmes under the supervision of a multidisciplinary team (psychologists, physical rehabilitation specialists, and dietitians);
- Provision of individual psychocorrective and psychotherapeutic sessions (cognitive behavioural therapy, dialectical behavioural therapy) for the treatment of anxiety disorders and depressive symptoms;
- Development of adapted physical activity programmes tailored to current physical and mental condition and potential contraindications;
- Recommendation of protein- and micronutrient-enriched dietary programmes with reduced intake of processed foods, sugar, and stimulant beverages;
- Use of biofeedback methods, relaxation techniques, and meditative practices (breathing exercises, progressive muscle relaxation, mindfulness meditation, yoga) to normalise autonomic responses and reduce baseline activation levels;

We also recommend providing psychosocial support to learners of all groups and involving family members and relatives in the rehabilitation process.

Conclusions:

1. The level of psychophysiological adaptation (PA) in students is the result of an integrated interaction of neuroendocrine, autonomic, and somatic mechanisms, modulated by behavioural factors and environmental conditions. Students of sports specialities were characterised by significantly higher PA levels (59.4 ± 2.1 points) compared to the non-sports group (42.8 ± 1.9 points; $p < 0.05$), which convincingly demonstrates the fundamental role of regular physical activity in shaping adaptive potential. Particularly indicative is the fact that 92.1% of the sports group demonstrated adequate PA (high and medium levels), whereas only 44.7% of the non-sports group reached such levels, emphasising the crucial role of systematic physical training.
2. A statistically significant negative correlation of moderate strength was established between BMI and PA ($r = -0.51$, $p < 0.01$): students with normal BMI (18.5–24.9 kg/m²), regular physical activity (≥ 150 minutes per week), adequate sleep, and rational nutrition demonstrated higher stress resistance and more balanced adaptive mechanisms. 32% of students with normal BMI exhibited high PA levels, whereas only 12% of those who were overweight did so, indicating a direct relationship between optimal body weight and adaptive capacity.
3. Students with insufficient physical activity and unbalanced nutrition were characterised by significantly lower PA levels and demonstrated maladaptive behavioural patterns, including social avoidance and emotional overeating, whereas individuals with high PA exhibited more effective coping strategies for chronic stress and better social adaptation, indicating the critically important role of lifestyle in mental health development.
4. The distribution of participants according to risk profiles of psychophysiological disorders revealed three distinct categories: low risk of maladaptation (high and medium PA), medium risk (low PA), and high risk (critically low PA). Individuals at high risk of maladaptation require comprehensive psychocorrective interventions, including physical activity programmes, nutritional normalisation, and psychological support, particularly in the context of wartime conditions. A critically important observation is that no individual from the sports group fell into the high-risk category, confirming the protective effect of systematic physical activity against maladaptive processes.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kisiel D. The role of physical activity in stress management among university students. *Modern management review*. 2025. №30 (4), P. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.7862/rz.2025.mmr.21>
2. Юхименко Л. І., Хоменко С. М., Коваль К. Г. Психофізіологічні основи навчальної діяльності здобувачів вищої освіти України. *Prospects of Innovative Development in Science and Technology*: матеріали XXVIII міжнар. наук.-практ. конф. (19–21 черв. 2024 р., Gothenburg, Sweden). Gothenburg: International Scientific Unity. С. 30–37.
3. Restrepo J. E., Bedoya Cardona E. Y., Cuartas Montoya G. P., Cassaretto Bardales M. de los M., Vilela Alemán Y. P. Academic stress and adaptation to university life: mediation of cognitive-emotional regulation and social support. *Anales de Psicología*. 2023. 39(1), P. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.6018/analesps.472201>
4. Salmon P. Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: A unifying theory. *Clinical Psychology Review*. 2001. № 21(1), P. 33–61.
5. Hamer M., Taylor A., Steptoe A. The effect of acute aerobic exercise on stress related blood pressure responses: A systematic review and meta-analysis. *Biological Psychology*. 2006. № 71(2), P. 183–90.
6. Brownley K. A., et al. Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003. № 35(6), P. 978–86.
7. Sabu, S., Kisan, R. Effect of relaxation intervention on stress levels and cognitive skills in professional students. *Digital Journal of Clinical Medicine*. 2023. №5(5), P. 217–231.
8. Tilov B., Stanchev P., Dimitrova M., Hristamyan M., Makakova-Tilova D. Mapping the Associations Between Body Mass Index and Key Psychosocial Determinants: Resilience, Perceived Stress, and Emotion Regulation in Young Adults—A Cross-Sectional Study. *Healthcare*. 2025. №13 (23), p. 3150. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare13233150>
9. Шевченко С. Ключові аспекти дослідження психофізіологічної адаптації першокурсників. *Бюлетень Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Психологія*. 2019. №1(10), С. 109-112. DOI: [https://doi.org/10.17721/BSP.2019.1\(10\).28](https://doi.org/10.17721/BSP.2019.1(10).28)

10. Dakanalis A., Voulgaridou G., Alexatou O., Papadopoulou S.K., Jacovides C., Pritsa A., Chrysafi M., Papacosta E., Kapetanou M.G., Tsourouflis G., et al. Overweight and obesity is associated with higher risk of perceived stress and poor sleep quality in young adults. *Medicina*. 2024. №60, p. 983. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina60060983>
11. Коқун О. М. Психофізіологія. – Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 184 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1608/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BD_%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B7%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F.pdf
12. Gazolla J. C., Ferreira-Júnior J. B., Encarnação S., Schneider A. C., Monteiro A. M., Teixeira J. E., Forte P., Verbena e Oliveira J. P., Borba D. A., Costa C. M. A., & Vieira C. A. Relationship Between Quality of Life, Level of Physical Activity, Physical Fitness, and Body Composition on the Academic Performance of High School Students in an Integrated Educational System. *Perceptual and Motor Skills*. 2025. № 132(6), P. 1351-1372. DOI: <https://doi.org/10.1177/00315125251344404>
13. Yoon, E. S., So, W. Y., Jang, S. Association between perceived psychological stress and exercise behaviors: A cross-sectional study using the survey of national physical fitness. *Life*. 2023. №13(10), p. 2059. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13102059>
14. Food Frequency Questionnaire (FFQ). Retrieved from
15. https://biolincc.nhlbi.nih.gov/media/studies/framoffspring/Forms/Exam%203%20Food%20Frequency%20Questionnaire.pdf?link_time=2018-08-11_23:58:42.966309
16. Комп'ютерна програма «Інтегральна оцінка психофізіологічної адаптації людини» : свідоцтво про реєстрацію авторського права № 139404. Україна : УкрНОІВІ, 31.10.2025. Бюл. № 94. Електронне джерело: <https://iprop-ua.com/cr/rdysqr4c/> (дата звернення: 24.02.2026).
17. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). Retrieved from
18. <https://youthrex.com/wp-content/uploads/2019/10/IPAQ-TM.pdf>
19. Holubnycha L., Matsapura L., Miroshnik L., Hetmanets I., Kovalchuk O., & Khodakovska O. (2022). Psychophysiological adaptation of international students to learning abroad. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(1), P. 37–46.
20. Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І. Психофізіологічні основи поняття стресостійкості людини // Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society : матеріали XL міжнар. наук.-практ. конф. (25–27 верес. 2024 р., Salzburg, Austria). Salzburg : International Scientific Unity, 2024. С. 29–31. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>.

REFERENCES

1. Kisiel D. (2025). The role of physical activity in stress management among university students. *Modern Management Review*, 30(4), 29–42. doi: <https://doi.org/10.7862/rz.2025.mmr.21>
2. Yukhymenko L. I., Khomenko S. M., & Koval K. H. (2024). Psychophysiological foundations of educational activity of higher education students of Ukraine. In *Prospects of Innovative Development in Science and Technology: Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference* (pp. 30–37). International Scientific Unity.
3. Restrepo J. E., Bedoya Cardona E. Y., Cuartas Montoya G. P., Cassaretto Bardales M. de los M., & Vilela Alemán Y. P. (2023). Academic stress and adaptation to university life: Mediation of cognitive-emotional regulation and social support. *Anales de Psicología*, 39(1), 62–71. doi: <https://doi.org/10.6018/analesps.472201>
4. Salmon P. (2001). Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: A unifying theory. *Clinical Psychology Review*, 21(1), P. 33–61. [https://doi.org/10.1016/s0272-7358\(99\)00032-x](https://doi.org/10.1016/s0272-7358(99)00032-x)
5. Hamer M. Taylor A., Steptoe A. (2006). The effect of acute aerobic exercise on stress related blood pressure responses: A systematic review and meta-analysis, *Biological Psychology*. 71(2), 183–90. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.04.004>
6. Brownley K. A., et al. (2003). Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(6), 978–86. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000069335.12756.1B>
7. Sabu, S., Kisan, R. (2023). Effect of relaxation intervention on stress levels and cognitive skills in professional students. *Digital Journal of Clinical Medicine*, 5(5), 217–231. <https://doi.org/10.55691/2582-3868.1172>
8. Tilov B., Stanchev P., Dimitrova M., Hristamyan, M., & Makakova-Tilova D. (2025). Mapping the associations between body mass index and key psychosocial determinants: Resilience, perceived stress, and emotion regulation in young adults—A cross-sectional study. *Healthcare*, 13(23), 3150. doi: <https://doi.org/10.3390/healthcare13233150>
9. Shevchenko, S. (2019). Key aspects of the study of psychophysiological adaptation of first-year students. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Psychology*, 1(10), 109–112. doi: [https://doi.org/10.17721/BSP.2019.1\(10\).28](https://doi.org/10.17721/BSP.2019.1(10).28) (in Ukr.)
10. Dakanalis A., Voulgaridou G., Alexatou O., Papadopoulou S.K., Jacovides C., Pritsa A., Chrysafi M., Papacosta E., Kapetanou M.G., Tsourouflis G., et al. Overweight and obesity is associated with higher risk of perceived stress and poor sleep quality in young adults. *Medicina*. 2024. 60, 983. doi: <https://doi.org/10.3390/medicina60060983>

11. Kokun, O. M. (2006). *Psykhofizioloiiia* [Psychophysiology]. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury. Retrieved from https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/1608/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BD_%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B7%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F.pdf (in Ukr.)
12. Gazolla J. C., Ferreira-Júnior J. B., Encarnação S. Schneider A. C., Monteiro A. M. Teixeira, J. E. Forte P., Verbena e Oliveira J. P., Borba D. A., Costa C. M. A., & Vieira C. A. (2025). Relationship between quality of life, level of physical activity, physical fitness, and body composition on the academic performance of high school students in an integrated educational system. *Perceptual and Motor Skills*, 132(6), 1351–1372. doi: <https://doi.org/10.1177/00315125251344404>
13. Yoon, E. S., So, W. Y., Jang, S. Association between perceived psychological stress and exercise behaviors: A cross-sectional study using the survey of national physical fitness. *Life*. 2023. №13(10), 2059. doi: <https://doi.org/10.3390/life13102059>
14. Food Frequency Questionnaire (FFQ). Retrieved from https://biolincc.nhlbi.nih.gov/media/studies/framoffspring/Forms/Exam%203%20Food%20Frequency%20Questionnaire.pdf?link_time=2018-08-11_23:58:42.966309
15. Komputerna prohrama "Intehralna otsinka psykhofizioloichnoi adaptatsii liudyny" [Computer program "Integral Assessment of Human Psychophysiological Adaptation"]: Svidotstvo pro reiestratsiyu avtorskoho prava No. 139404. Ukraine: UKRNII, October 31, 2025. Bulletin No. 94. Retrieved from <https://iprop-ua.com/cr/rdysqp4c/>
16. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). Retrieved from <https://youthrex.com/wp-content/uploads/2019/10/IPAQ-TM.pdf>
17. Holubnycha L., Matsapura, L., Miroshnik, L., Hetmanets, I., Kovalchuk, O., Khodakovska, O. (2022). Psychophysiological adaptation of international students to learning abroad. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v5i1.359>
18. Koval K. H., Khomenko, S. M., & Yukhymenko, L. I. (2024). Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance. In *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society: Proceedings of the XL International Scientific and Practical Conference* (pp. 29–31). International Scientific Unity. doi: <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024> (in Ukr.)

Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І.

РОЛЬ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ХАРЧУВАННЯ У ФОРМУВАННІ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СТУДЕНТІВ ДО НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Метою дослідження було встановлення взаємозв'язків між ПА та поведінковими чинниками (ІМТ, фізична активність, особливості харчової поведінки) у студентської молоді та розроблення практичних рекомендацій щодо оптимізації психофізіологічного стану в умовах хронічного стресу. У дослідженні взяли участь 76 практично здорових здобувачів вищої освіти Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького віком 17-28 років (чоловічої статі): 38 студентів ННІ фізичної культури, спорту і здоров'я різних спортивних спеціальностей та 38 студентів факультетів психології та обчислювальної техніки, інтелектуальних та управляючих систем, а також ННІ педагогічної освіти, соціальної роботи і мистецтва неспортивних спеціальностей.

У результаті дослідження виявлено залежність ПА від ІМТ, рівня фізичної активності та якості харчової поведінки. Встановлено, що студенти спортивних спеціальностей характеризувалися значно вищим рівнем ПА (59.4 ± 2.1 балів) порівняно зі студентами неспортивних спеціальностей (42.8 ± 1.9 балів; $p < 0.05$). Встановлено негативну кореляцію середньої щільності між ІМТ та рівнем ПА ($r = -0.51$, $p < 0.01$), яка свідчить про те, що контроль маси тіла шляхом поєднання фізичної активності та нормалізації харчування має значний потенціал для поліпшення психофізіологічного стану. Студенти з нормальним ІМТ мали вищі показники ПА (32% з високим рівнем ПА) порівняно з особами з надлишковою масою тіла (12%; $p < 0.05$). Виділено три профілі ризику розвитку дезадаптації: низький (85.5%), помірний (8.0%) та високий (13.2%), представники якого потребують застосування корекційних заходів.

Обґрунтовано, що комплексні міждисциплінарні заходи, які включають тренінги зі стрес-менеджменту, програми фізичної активності, дієтологічне консультування та психологічну підтримку, є особливо необхідними в умовах воєнного стану.

Ключові слова: психофізіологічна адаптація, індекс маси тіла, фізична активність, харчова поведінка, хронічний стрес, стресостійкість, воєнний стан.

Надійшла до редакції / Received: 07.05.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-31-37

Станіслав Олександрович КоваленкоЧеркаський національний університет імені Богдана Хмельницького
kovstas@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0464>**Іван Сергійович Дзюник**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
ivandzunik@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7491-4116>**Петро Миколайович Гунько**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
gunkopeter@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0609-8550>**Роман Анатолійович Циганник**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
roma.tsygannyk@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-7343>

ВПЛИВ ТИМЧАСОВОЇ ОКЛЮЗІЇ НИЖНІХ КІНЦІВОК НА ЦЕНТРАЛЬНУ ГЕМОДИНАМІКУ АТЛЕТІВ

***Анотація.** Останніми роками значного поширення набули методики тимчасової оклюзії нижніх кінцівок, які використовуються як у тренувальному процесі, так і в реабілітаційних програмах спортсменів. Водночас питання характеру та ступеня цих змін у атлетів в залежності від інтенсивності впливів залишаються недостатньо вивченими, а результати наявних досліджень є суперечливими. Особливої актуальності набуває необхідність визначення безпечності та ефективності тимчасової оклюзії для спортсменів, оскільки надмірне навантаження на серцево-судинну систему може призводити до розвитку функціональних порушень і зниження результативності.*

Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій. Оклюзійні впливи виконували на стегнах манжетною для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу складала рівень діастолічного тиску + 50 мм рт.ст.; другого - рівень систолічного тиску + 50 мм рт.ст. Показники центральної гемодинаміки реєстрували реографічним методом.

Як венозна так і артеріальна оклюзія нижніх кінцівок в основному спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію. Відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях ударного індексу та серцевого індексу, їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей. Кровонаповнення органів грудної клітки збільшувалось в тривалий період часу після артеріальної оклюзії нижніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності показників центральної гемодинаміки за різних градацій оклюзії нижніх кінцівок.

***Ключові слова:** центральна гемодинаміка; оклюзія нижніх кінцівок; функціональний стан; атлети*

Постановка питання. Актуальність дослідження зумовлена зростаючим інтересом сучасної фізіології до механізмів адаптації серцево-судинної системи спортсменів та осіб різного віку та статі до нестандартних фізіологічних впливів [1]. У спортивній медицині та фізіології особливу увагу приділяють вивченню центральної гемодинаміки як одного з ключових показників функціонального стану організму атлетів, що визначає ефективність кровообігу, рівень працездатності та адаптаційні резерви серцево-судинної системи.

Останніми роками значного поширення набули методики тимчасової оклюзії нижніх кінцівок, які використовуються як у тренувальному процесі, так і в реабілітаційних програмах спортсменів [2, 3]. Водночас питання характеру та ступеня цих змін у атлетів в залежності від інтенсивності впливів залишаються недостатньо вивченими, а результати наявних досліджень є суперечливими.

Особливої актуальності набуває необхідність визначення безпечності та ефективності тимчасової оклюзії для спортсменів, оскільки надмірне навантаження на серцево-судинну систему може призводити до розвитку функціональних порушень і зниження результативності. Дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на центральну гемодинаміку дозволить поглибити уявлення про адаптаційні механізми організму атлетів, оптимізувати тренувальний процес та удосконалити засоби контролю функціонального стану спортсменів.

Таким чином, вивчення впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на центральну гемодинаміку атлетів є своєчасним і має важливе теоретичне та практичне значення для фізіології спорту, спортивної медицини та системи підготовки атлетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реактивна гіперемія широко використовується для дослідження макросудинної - розширення, опосередковане потоком та мікросудинної - тест на оклюзію судин за допомогою ближньої інфрачервоної спектроскопії функції. Rasica L e.a. [4] отримані суперечливі результати щодо відмінностей у результатах реактивної гіперемії, пов'язаних з рівнем фізичної підготовки та статтю. Втім в дослідженні Giovanna M. e.a. [5] показано, що пікова аеробна потужність, тривалість вправ, максимальний накопичений дефіцит кисню та споживання кисню покращилися під час вправ з надмаксимальною постійною інтенсивністю після шести сеансів оклюзії нижніх кінцівок. Однак комбінований гіпоксичний стрес або часткове оклюзія не призвели до подальшого збільшення пікової аеробної потужності. Метааналіз літератури [6] також надав помірні докази того, що ішемічне прекодиціонування не покращує аеробну здатність здорових дорослих, але сприяє збільшенню часу до виснаження під час аеробних вправ. Результати оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежали не тільки від її параметрів, а і від ширини оклюзійної манжети [7]. Отже результати впливу оклюзії нижніх кінцівок у спортсменів залежать від багатьох факторів і не завжди односпрямовані.

Разом з цим показано, що ішемічне прекодиціонування може суттєво вплинути на сприйняття болю та підвищити збудливість кортикоспінального тракту під час довільних скорочень [8]. Це може вказувати не тільки на вплив цього тесту на кровообіг, але й на діяльність вегетативної нервової системи. Втім знайдене тільки одне дослідження [9] в котрому у дослідах на мишах доведено, що оклюзія кінцівок пов'язана зі змінами активності вегетативної нервової системи (частота серцевих скорочень, кровотік, ВСР) та легким ішемічним стресом міокарда, що сприяє кардіопротекції.

Сучасний спорт високих досягнень характеризується постійним пошуком інноваційних методів інтенсифікації тренувального процесу та прискорення відновлення. Одним із таких методів, що набув значної популярності останніми роками, є тренування з обмеженням кровотоку (Blood Flow Restriction Training, BFRT) або використання дистальної оклюзії для стимуляції адаптаційних механізмів [10].

Тому актуальним є дослідження впливу тимчасової оклюзії нижніх кінцівок на показники центральної гемодинаміки які відображають не тільки особливості змін тонуусу вегетативної нервової системи, але й функціонування серцево-судинної системи в цілому.

Мета. З'ясувати особливості показників центральної гемодинаміки при різних рівнях тимчасової оклюзії нижніх кінцівок у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей.

Методи дослідження. Вимірювання здійснювали на 30 чоловіках віком 18-25 років - студентах фізкультурно-спортивних спеціалізацій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, Гельсінської декларації Всесвітньої медичної

асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 pp.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23 вересня 2009 року.

Всі вони за даними медичного обстеження були здорові, не мали гострих та хронічних захворювань.

Спочатку на та грудну клітку обстежуваного накладали електроди реографа, вимірювали артеріальний тиск. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально упродовж 5-10 хвилин здійснювали двохвилинну реєстрацію реограми грудної клітки. Вимірювання повторювали з 1-ї, 10-ї та 20-ї хвилинах після припинення оклюзійних впливів.

Оклюзійні впливи виконували на стегнах манжетою для вимірювання артеріального тиску шириною 200 мм упродовж 3 хвилин. Інтенсивність першого впливу (венозна оклюзія – В) складала рівень діастолічного тиску ($AT_{діаст}$) + 50 мм рт.ст.; другого (артеріальна оклюзія – А) - рівень систолічного тиску ($AT_{сисст}$) + 50 мм рт.ст.

Систолічний ($AT_{сисст}$) та діастолічний ($AT_{діаст}$) артеріальний тиск вимірювали за допомогою тонометра Короткова (Reiker, Germany). Середній артеріальний тиск ($AT_{сер}$) розраховували за формулою Хікема. Для оцінки гемодинамічних показників використовували трансоракальну тетраполярну імпедансну реоплетизмографію. Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі XAI-medica standard (XAI-medica, Харків, Україна). За сигналами диференційованої реограми грудної клітки та електрокардіограми в програмі цього розробника розраховували наступні показники центральної гемодинаміки.

Тривалість інтервалу RR (t-RR) – відстань між найвищими ділянками зібців R сусідніх кардіоінтервалів.

Ударний індекс (VI) знаходили шляхом поділу ударного об'єму крові на площу поверхні тіла. Ударний об'єм розраховували за методом Kubichek .

Серцевий індекс (CI) знаходили шляхом поділу хвилинного об'єму крові на площу поверхні тіла.

З показників кардіодинаміки оцінювали наступні: тривалість фази вигнання ($T_{вигн}$), тривалість фази напруження ($T_{напр}$), об'єму швидкість серцевого викиду (ОШВ).

Крім цього розраховували рівень кровонаповнення органів грудної клітки (КНП) як відношення квадрату відстані між грудними електродами реографа до електричного опору грудної клітки.

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 . Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher [11].

Результати та їх обговорення. Показники артеріального тиску в спокої лежачи та після оклюзійних впливів у вимірюваних представлени в табл.

Таблиця

Показники артеріального тиску ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (В – інтенсивність $AT_{діаст} + 50$ мм рт.ст.;

А - $AT_{сисст} + 50$ мм рт.ст.)

Умови	$AT_{сисст}$, мм рт.ст.	$AT_{діаст}$, мм рт.ст.	$AT_{сер}$, мм рт.ст.
спокій	128,33±1,71	74,56±1,74	92,48±1,57
В 1 хв	125,96±1,72	71,81±1,44	89,86±1,44
В 10 хв	125,37±1,39	69,78±1,37*	88,31±1,23*
В 20 хв	124,41±1,59*	69,74±1,54*	87,96±1,40*
А 1 хв	124,56±1,46*	69,15±1,53*	87,62±1,28*
А 10 хв	123,70±1,43*	69,81±1,45*	87,73±1,28*
А 20 хв	124,26±1,38*	70,81±1,52*	88,63±1,37*

Примітка. * - $p < 0,05$ в порівнянні з рівнем у спокої

В стані спокою систолічний артеріальний тиск був дещо підвищений в порівнянні з загальноприйнятими нормами для такого віку. Подібна закономірність характерна для спортсменів, що виконують значні об'єми тренувальних навантажень була відмічена нами раніше [12].

Після першого оклюзійного впливу 10 хвилин не відбувалось зрушення цього показника у порівнянні з фоном і тільки на 20-й хвилині відновлення спостерігали вірогідне збільшення зниження його рівня. Зменшення діастолічного та середнього артеріального тиску реєстрували вже на 10-й хвилині після венозної оклюзії. Після другого впливу, що супроводжувався пережиманням артерій, упродовж всіх 20 хвилин реєстрації відбувалось зменшення по відношенню до фону всіх показників артеріального тиску.

Аналіз реактивності цих показників не виявив відмінностей у амплітуді змін між 1-м та 2-м впливами за винятком різниць у зниженні АТсер на 1-й хвилині після першого ($-2,62 \pm 0,9$ мм рт.ст) та другого ($-4,86 \pm 1,20$ мм рт.ст., $P < 0,05$). Цілком ймовірно це може пояснюватись високою девіантністю реакцій артеріального тиску у різних спортсменів. Артеріальна оклюзія може викликати більшу реакцію системного артеріального тиску одразу ж після її припинення.

Таким чином як венозна так і артеріальна оклюзія в основному спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію.

Показники серцевого викиду при експериментальних впливах вірогідно не змінювались. Разом з цим були відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях УІ та СІ, так і в їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії. Також не знайдено відмінностей у рівнях та реактивності тривалості фаз напруження та вигнання.

Втім аналіз швидкості вигнання крові з серця показав, що цей показник зростав на 20-й хвилині після кожної оклюзії (рис. 1). Це може бути як наслідком розширення периферійних судин так і зменшення частоти серцевих скорочень.

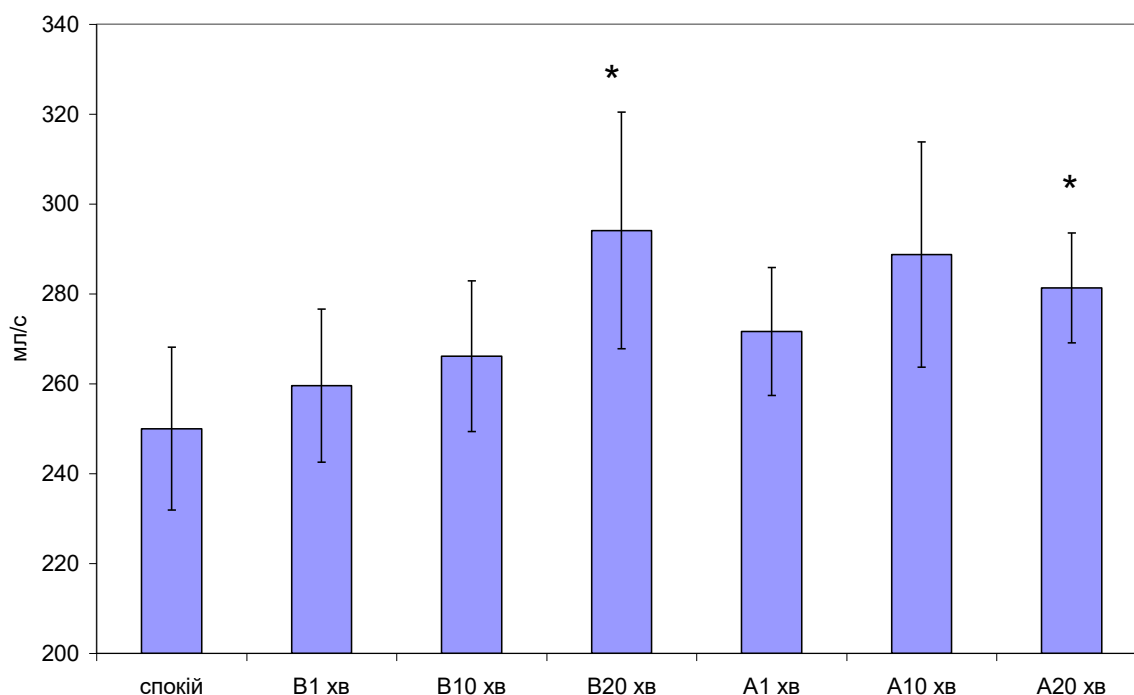


Рис. 1. Рівні об'ємної швидкості серцевого викиду ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей в спокої лежачи та після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (B – інтенсивність АТ_{діаст}+50 мм рт.ст.; А – АТ_{сист}+50 мм рт.ст.).

* – $p < 0,05$ в порівнянні з фоном

Зміни кровонаповнення органів грудної клітки при проведенні впливів характеризувались наступним (рис. 2).

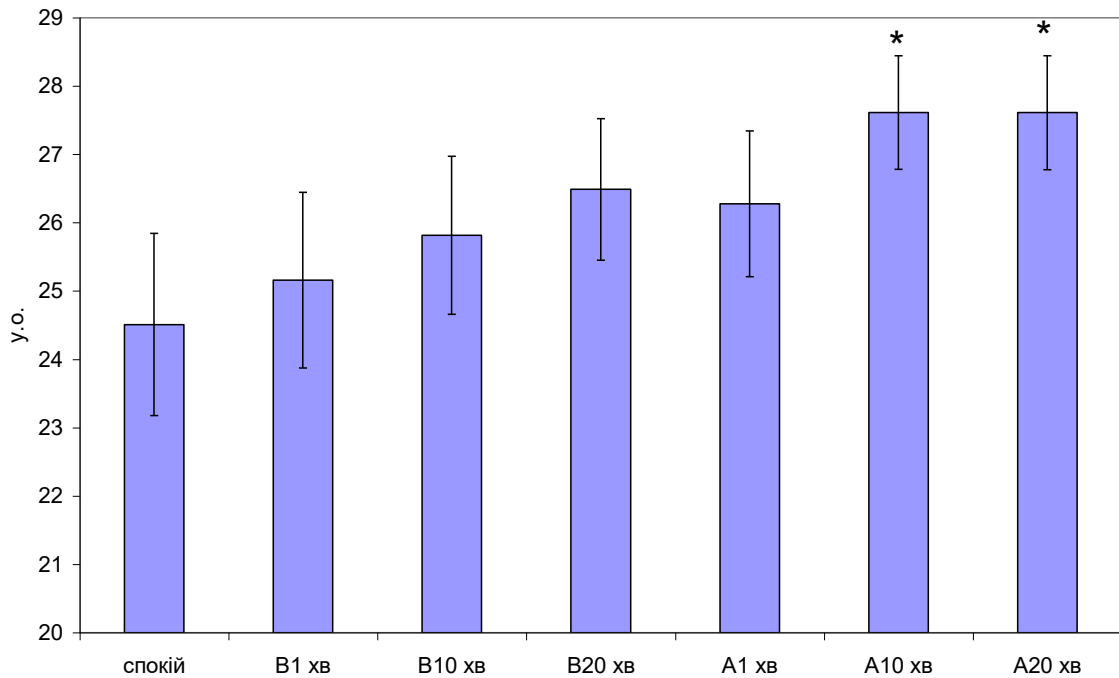


Рис. 2. Рівні кровонаповнення органів грудної клітки ($M \pm m$) у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей в спокої лежачи та після тимчасової оклюзії нижніх кінцівок (В – інтенсивність $AT_{\text{діаст}}+50$ мм рт.ст.; А – $AT_{\text{сист}}+50$ мм рт.ст.).
* – $p < 0,05$ в порівнянні з фоном

Статистично значущим було збільшення цього показника в порівнянні з фоном на 10-й та 20-й хвилині після артеріальної оклюзії. Реактивність КНП вірогідно вищою на 10-й хвилині після артеріальної оклюзії ніж на 10-й хвилині після венозної.

Таким чином як венозна так і артеріальна оклюзія призводили до суттєвих змін центральної гемодинаміки, що мали широкий міждивідуальний розкид.

Висновки

1. Як венозна так і артеріальна оклюзія нижніх кінцівок, в основному, спричиняла зниження всіх показників артеріального тиску, що мало тривалу післядію.
2. Відмічені високі міжіндивідуальні відмінності як у фонових рівнях ударного індексу та серцевого індексу, їх реактивності після венозної та артеріальної оклюзії у студентів фізкультурно-спортивних спеціальностей.
3. Кровонаповнення органів грудної клітки збільшувалось в тривалий період часу після артеріальної оклюзії нижніх кінцівок.

Перспективи подальших досліджень. Вбачаються у з'ясуванні індивідуальних особливостей реактивності показників центральної гемодинаміки за різних градацій оклюзії нижніх кінцівок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kovalenko S.O., Kudij L.I., Lutsenko O.I. Peculiarities of male and female heart rate variability // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2013. – Issue 15. – P.17-20
2. Martin PM, Bart RM, Ashley RL, Velasco T, Wise SR. An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations. Curr Sports Med Rep. 2022 Apr 1;21(4):123-128. doi: <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000948>
3. French C, Robbins D, Gernigon M, Gordon D. The effects of lower limb ischaemic preconditioning: a systematic review. Front Physiol. 2024 Jan 11;14:1323310. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1323310>
4. Rasica L, Inglis EC, Iannetta D, Soares RN, Murias JM. Fitness Level- and Sex-Related Differences in Macrovascular and Microvascular Responses during Reactive Hyperemia. Med Sci Sports Exerc. 2022 Mar 1;54(3):497-506. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002806>

5. Giovanna M, Solsona R, Sanchez AMJ, Borrani F. Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. *J Physiol Anthropol.* 2022 Sep 3;41(1):32. doi: <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00304-1>
6. Zhou L, Gan J, Tan Y, Zhang Y, Bao D, Zhou J. Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2025 Jan 1;50:1-18. doi: <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0456>
7. Brown H, Binnie MJ, Dawson B, Bullock N, Scott BR, Peeling P. Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. *Eur J Sport Sci.* 2018 Apr;18(3):387-396. doi: <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1421712>
8. Norbury R, Grant I, Woodhead A, Patterson SD. Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. *Exp Brain Res.* 2025 Jan 8;243(1):41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00221-024-06985-7>
9. Abdul-Ghani S, Fleishman AN, Khaliulin I, Meloni M, Angelini GD, Suleiman MS. Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: implications for cardioprotection. *Physiol Rep.* 2017 Feb;5(3):e13085. doi: 10.14814/phy2.13085.
10. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021 Jun;49(7):1938-1944. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546520964454>. Epub 2020 Nov 16.
11. Glantz S.A. *Primer of biostatistics.* 7th edition, McGraw-Hill: Medical, New York, 2012, 320 p.
12. Kalenichenko Aleksej; Kovalenko Stanislav; Tokar Svetlana; Harchenko Dmitriy. Features of blood pressure in student-athletes from different directions of the training process// *Pedagogics psychology medical-biological problems of physical training and sports*, 2011, V.11, P. 55-58.

REFERENCES

1. Kovalenko, S. O., Kudij, L. I., & Lutsenko, O. I. (2013). Peculiarities of male and female heart rate variability. *Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences*, (15), 17–20.
2. Martin, P. M., Bart, R. M., Ashley, R. L., Velasco, T., & Wise, S. R. (2022). An overview of blood flow restriction physiology and clinical considerations. *Current Sports Medicine Reports*, 21(4), 123–128. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000948>
3. French, C., Robbins, D., Gernigon, M., & Gordon, D. (2024). The effects of lower limb ischaemic preconditioning: A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 14, 1323310. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1323310>
4. Rasica, L., Inglis, E. C., Iannetta, D., Soares, R. N., & Murias, J. M. (2022). Fitness level- and sex-related differences in macrovascular and microvascular responses during reactive hyperemia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(3), 497–506. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002806>
5. Giovanna, M., Solsona, R., Sanchez, A. M. J., & Borrani, F. (2022). Effects of short-term repeated sprint training in hypoxia or with blood flow restriction on response to exercise. *Journal of Physiological Anthropology*, 41(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s40101-022-00304-1>
6. Zhou, L., Gan, J., Tan, Y., Zhang, Y., Bao, D., & Zhou, J. (2025). Can lower limb ischemic preconditioning improve aerobic capacity in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 50, 1–18. <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0456>
7. Brown, H., Binnie, M. J., Dawson, B., Bullock, N., Scott, B. R., & Peeling, P. (2018). Factors affecting occlusion pressure and ischemic preconditioning. *European Journal of Sport Science*, 18(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1421712>
8. Norbury, R., Grant, I., Woodhead, A., & Patterson, S. D. (2025). Acute hypoalgesic and neurophysiological responses to lower-limb ischaemic preconditioning. *Experimental Brain Research*, 243(1), 41. <https://doi.org/10.1007/s00221-024-06985-7>
9. Abdul-Ghani, S., Fleishman, A. N., Khaliulin, I., Meloni, M., Angelini, G. D., & Suleiman, M. S. (2017). Remote ischemic preconditioning triggers changes in autonomic nervous system activity: Implications for cardioprotection. *Physiological Reports*, 5(3), e13085. <https://doi.org/10.14814/phy2.13085>
10. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021 Jun;49(7):1938-1944. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546520964454> Epub 2020 Nov 16..
11. Glantz S.A. *Primer of biostatistics.* 7th edition, McGraw-Hill: Medical, New York, 2012, 320 p.
12. Kalenichenko, A., Kovalenko, S., Tokar, S., & Harchenko, D. (2011). Features of blood pressure in student-athletes from different directions of the training process. *Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, 11, 55–58.

Stanislav Kovalenko, Ivan Dziunyk, Petro Gunko, Roman Tsyhannyk.

THE EFFECT OF TEMPORARY OCCLUSION OF THE LOWER LIMBS ON THE CENTRAL HEMODYNAMICS OF ATHLETES

Introduction. In recent years, methods of temporary occlusion of the lower limbs have become increasingly widespread and are used both in the training process and in rehabilitation programs for

athletes. At the same time, the nature and extent of these changes in athletes depending on the intensity of the interventions remain insufficiently studied, and the results of existing studies are contradictory. The need to determine the safety and effectiveness of temporary occlusion for athletes is of particular relevance, since excessive stress on the cardiovascular system may lead to the development of functional disorders and reduced performance.

Objective. To determine the characteristics of central hemodynamic parameters under different levels of temporary lower limb occlusion in students specializing in physical culture and sports

Methods of the study. Measurements were conducted on 30 male students aged 18–25 years specializing in physical culture and sports. Occlusion was applied to the thighs using a 200 mm-wide blood pressure cuff for 3 minutes. The intensity of the first intervention corresponded to the level of diastolic blood pressure + 50 mmHg; the second intervention corresponded to the level of systolic blood pressure + 50 mmHg. Central hemodynamic parameters were recorded using the rheographic method.

Main results of the study. Both venous and arterial occlusion of the lower limbs generally caused a decrease in all blood pressure parameters, with a prolonged aftereffect. High interindividual differences were observed both in the baseline levels of stroke index and cardiac index and in their reactivity after venous and arterial occlusion among students specializing in physical culture and sports. Blood filling of the thoracic organs increased for a prolonged period after arterial occlusion of the lower limbs.

Scientific novelty of the study results. For the first time, a comparative analysis of the effects of short-term venous and arterial occlusion on the functional state of hemodynamics in students specializing in physical culture and sports was carried out.

Conclusions and specific suggestions of the author. Prospects for further research lie in clarifying the individual characteristics of central hemodynamic parameter reactivity under different gradations of lower limb occlusion.

Keywords: central hemodynamics; lower limb occlusion; functional status; athletes

Надійшла до редакції / Received: 10.05.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

Кожемяко Тетяна Володимирівна
Черкаський національний університет
імені Б. Хмельницького
kozhemako@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4752-4197>

ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ СТАТОКІНЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ З ТИПОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НЕРВОВИХ ПРОЦЕСІВ В ОНТОГЕНЕЗІ ОСІБ З РІЗНОЮ РУХОВОЮ АКТИВНІСТЮ

Мета дослідження – з'ясувати особливості взаємодії регуляторних характеристик статокінетичної стійкості з індивідуально типологічними властивостями нервових процесів в онтогенезі осіб з різною руховою активністю.

Матеріали та методи. У дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку від 7 до 22 років, які систематично займались спортом ($n=187$) та їх однолітків не спортсменів ($n=148$) проводили дослідження статокінетичної стійкості за показником довжини траєкторії коливання центру тиску стопи (Length) на стійкій і нестійкій платформі стабілографа «МПФІ стабілограф-1». Комп'ютерною системою «Діагност-1» у обстежуваних визначали індивідуальні типологічні властивості зрівноваженості нервових процесів (ЗНП).

Результати дослідження. Доведено, що ЗНП відіграє важливу регуляторну роль у формуванні індивідуальних реакцій статокінетичної стійкості в онтогенезі. Функціональна взаємодія статокінетичної стійкості з типологічними властивостями нервових процесів в онтогенезі дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку поступово посилювалась та знаходилась у залежності від складності виконання завдання утримання рівноваги та рухової активності обстежуваних. У юнаків 19-20 та осіб зрілого віку 21-22 років досліджувані показники типологічних властивостей нервових процесів та статокінетичної функції були вищі та виявлено більш тісний прояв функціональної взаємодії, ніж у дітей 7-8 та підлітків 11-12 років. У спортсменів з нижче за середній рівень ЗНП показники Length були статистично значуще вищі (статокінетична стійкість нижча), ніж у обстежуваних з середнім та вище за середній рівень досліджуваної типологічної властивості. Коефіцієнти кореляції підтвердили наявність інтегративних процесів типологічних властивостей ЗНП з регуляторними функціями статокінетичної стійкості Length обстежуваних на нестійкій платформі стабілографа. Взаємодія ЗНП та Length на стабільній платформі стабілографа була відсутня.

Висновки. Результати свідчать, що інтегративні процеси ЗНП у взаємодії з регуляторними механізмами статокінетичної стійкості в онтогенезі дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку знаходяться у залежності від рівня рухової активності обстежуваних та складності виконання завдання утримання рівноваги.

Ключові слова: онтогенез, статокінетична стійкість, зрівноваженість нервових процесів, фізична активність.

Передумови дослідження. З'ясували, що під час спортивної діяльності регуляторні процеси у мозку та індивідуально-типологічні властивості основних нервових процесів можуть встановлювати функціональний зв'язок з регуляторними характеристиками статокінетичної стійкості. У літературі відмічається як посилення, так і послаблення взаємодії регуляторних процесів статокінетичної стійкості з індивідуально-типологічними властивостями ЗНП. Припустили, що індивідуальні особливості формування статокінетичної стійкості в онтогенезі можуть бути обумовлені генетично детермінованими типологічними властивостями нервових процесів та рівнем рухової активності.

Актуальність. В літературі показано, що процес багаторічної фізичної підготовки у спорті відбувається паралельно із онтогенетичним розвитком спортсмена. У роботах

багатьох дослідників описано різні сторони процесу підготовки організму до спеціальних фізичних навантажень [1-4]. Особливої уваги заслуговують питання формування статокінетичної стійкості у спортсменів [5, 6]. Але багато питань цієї проблематики ще не розкриті та потребують подальших досліджень. Зокрема, надзвичайно важливим є дослідження особливостей формування статокінетичної стійкості та їх механізмів в онтогенезі. Не завершеними залишаються питання формування статокінетичної стійкості у осіб різного віку упродовж довготривалої напруженої тренувальної та змагальної роботи. Відсутні знання про роль індивідуально-типологічних властивостей нервових процесів у реалізації статокінетичної стійкості осіб з різною руховою активністю. Потребують дослідження та пояснення питання взаємодії статокінетичної стійкості з індивідуально-типологічними властивостями нервових процесів осіб з різною руховою активністю.

Припустили, що у дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку, що займаються у спортивних секціях статокінетична стійкість може бути вища, ніж у їх однолітків, що спортом не займаються. Також намагались надати докази того, що генетично детерміновані типологічні властивості нервових процесів такі як функціональна рухливість, сила та зрівноваженість зв'язані, а рухова активність може вносити корективи у формування статокінетичної функції в онтогенезі.

Тому **метою** дослідження було визначити особливості взаємодії індивідуальних типологічних властивостей основних нервових процесів з регуляторними характеристиками статокінетичної стійкості дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку з різною руховою активністю.

Необхідно було встановити закономірності та особливості зв'язку інтегративних функцій індивідуально-типологічними властивостями нервових процесів з регуляторними характеристиками статокінетичної стійкості дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку з різною руховою активністю.

Методи та організація дослідження. Для вирішення поставленої задачі використовували комп'ютерний стабілоаналізатор з біологічним зворотнім зв'язком «МПФІ стабілограф-1» та комп'ютерний нейродинамічний комплекс «Діагност-1М» для дослідження типологічних властивостей нервових процесів.

В ході дослідження статокінетичної стійкості обстежуваний підтримував зручну вертикальну позу, стоячи на платформі (40×40 см). Статокінетичну стійкість оцінювали за показником довжини траєкторії коливання центру тиску стопи (Length, мм). Стопи досліджуваних знаходилися в зручному положенні, при цьому вони були розгорнуті по відношенню один до одного на кут 20°, а п'ятки віддалені на відстань 6 см. одна від одної. Для дослідження змін коливань тіла людини проводили дослідження на нестабільній платформі стабілографа. Для цього на платформу клали поролон товщиною 100 мм, а на нього дощечку (40×40 см), з наклеєними мітками для стопи. Дослідження статокінетичної стійкості проводили у дітей, підлітків, юнаків та дорослих 7-22 років спортсменах (n=187), що систематично займалися футболом та їх однолітків, які спортом не займалися (n=148).

Починали дослідження з визначення утримання вертикальної пози стоячи на стабільній платформі стабілографа. Потім переходили до нестабільної платформи. Реєстрували переміщення загального центру маси (ЗЦМ) у системі координати у різні моменти часу, що відбиває особливості статокінетичної стійкості як основи коливальних процесів тіла досліджуваних. Виконували два тести на рівновагу: 1 – вертикальна стійка на стійкій платформі стабілографа і 2 – вертикальна стійка на нестійкій платформі стабілографа. Тести фіксувались по 60 с. Аналіз здійснювали за показниками зміщення ЗЦМ стоп на опору у секторах просторової оцінки схеми тіла відносно вертикального положення. Визначали довжину траєкторії коливання центру тиску (Length, мм).

Визначення зрівноваженості нервових процесів (ЗНП) передбачало реєстрацію точності реакцій на рухомий об'єкт, що рухається з рівномірною швидкістю. Момент руху

об'єкту задається програмою на комп'ютері. Інтервал між пусками об'єкту змінюється у діапазоні 0,5-2,5 с за законом випадкових чисел. Реакцію вважали точною коли обстежуваний зупиняв рухомий об'єкт зупиняв від маркера в межах ± 10 мс, або точне співпадіння об'єкту з маркером. Якщо фіксація рухомого об'єкту проведена передчасно, тобто перевищує величину $- 10$ мс, то відмічається переважання гальмівного процесу, і, навпаки, якщо фіксація рухомого об'єкту проведена із запізненням і перевищує $+10$ мс, то відмічається переважання процесу збудження. В цілому про ЗНП судили по загальній кількості правильних відповідей і співвідношення передчасних та реакцій з запізненням з урахуванням середніх величин всіх відхилень у мс [7, 8]. Оцінку ЗНП робили по сумарній величині реакцій, що випереджали чи запізнювались. Чим менша сума відхилень рухових реакцій (в мс), тим вище рівень ЗНП.

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 . Розраховували: середнє значення показників (M), величину середньої арифметичної похибки ($\pm m$), середнє квадратичне відхилення (σ), коефіцієнт варіації (CV), а також медіану та 1 і 3 квартилі ($Me [25\%; 75\%]$). Для вибірок з ненормальним розподілом, критерії достовірності Вілкоксона (парні порівняння) або Мана-Уїтні (порівняння незалежних вибірок). Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher та критерієм Вілкоксона. Кореляційний аналіз проводили з допомогою коефіцієнту Пірсона (r) та Спірмена (Spearman rank correlation coefficient) і визначали довірчий рівень кореляції на рівні $p \leq 0,05$ [9].

Результати дослідження. Завдання включало довільний контроль вертикального положення тіла стоячи на стабільній та нестійкій платформі стабілографа. Визначали Length у дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку та з'ясовували участь індивідуально-типологічних властивостей ЦНС у механізмах регуляції статокінетичної стійкості осіб різного віку за умови різного рівня ЗНП та фізичної активності.

Оскільки раніше нами було доведено, що нейродинамічні індивідуально-типологічні властивості функціональної рухливості, сили та зрівноваженості нервових процесів є генетично детермінованими властивостями то це дало нам підстави припустити, що індивідуальні варіації досліджуваних показників стабілографії Length мали значний статистичний розкид та могли бути обумовлені саме індивідуальними типологічними властивостями нервової системи [10, 11]. Найбільші коефіцієнти варіації CV (%) були встановлені за показником довжини траєкторії коливання центру тиску Length (у діапазоні від 46 % до 88 %).

Експериментально ми намагались встановити зв'язок індивідуально-типологічних властивостей ЗНП обстежуваних з характеристиками статокінетичної стійкості Length обстежуваних різного віку та рухової активності. Тому у групах спортсменів та не спортсменів провели розрахунки коефіцієнту кореляції та визначили довірчий рівень значущості статистичної гіпотези між показниками ЗНП та Length для кожної вікової групи окремо, що були отримані на стабільній платформі стабілографа.

Результати аналізу кореляції, що були визначені між показниками ЗНП та Length у групах спортсменів та не спортсменів різного віку на стійкій платформі стабілографа представлені у таблиці 1.

Результати кореляційного аналізу, що наведені у табл. 1 не виявили статистично значущого зв'язку між перемінними ЗНП та показниками довжини траєкторії коливання центру тиску в жодній віковій групі, як у обстежуваних спортсменів, так і не спортсменів. З показниками Length та ЗНП у не спортсменів різних вікових груп не виявили статистично значущої кореляції. Коефіцієнти кореляції були надзвичайно низькі ($r = -0,04 - 0,32$) та вказували на відсутність зв'язку між цими перемінними. Аналогічні результати кореляції отримані для ЗНП і Length у вікових групах спортсменів де $r = -0,31 - 0,33$. Наведені коефіцієнти кореляції між ЗНП та Length та довірчий рівень статистичної значущості вказують на відсутність зв'язку між перемінними рядами досліджуваних ознак.

Таблиця 1.

Коефіцієнти кореляції (r) та довірчий рівень статистичної значущості (p) між показниками Length та ЗНП у спортсменів та не спортсменів різного віку на стійкій платформі стабілографа

Групи Обстежуваних	Вікові групи, роки								
	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	
Не спортсмени	r	-0,09	0,18	-0,04	-0,28	0,32	0,17	-0,14	0,13
	p	0,072	0,088	0,093	0,075	0,065	0,073	0,083	0,092
Спортсмени	r	0,06	-0,31	0,11	0,33	0,32	0,22	-0,21	0,31
	p	0,074	0,067	0,085	0,056	0,053	0,071	0,073	0,059

Уже ці результати, на нашу думку, є експериментальним доказом того, що регуляторні функції статокінетичної стійкості не зв'язані з властивостями основних нервових процесів, якими є ЗНП.

Для підтвердження наявності зв'язків нейродинамічних, індивідуально-типологічних властивостей основних нервових процесів з показниками статокінетичної стійкості у вікових групах на стійкій платформі стабілографа, ми провели аналіз вірогідності різниць середніх величин Length у обстежуваних з різним рівнем ЗНП. Для цього юнаків спортсменів ($n=43$) та їх однолітки не спортсменів ($n=47$) 15-16 років методом сигмальних відхилень поділили на три групи: з високим, середнім і низьким рівнем ЗНП. Для кожної групи ми вираховували M_e значення показників стабілографії Length та встановлювали статистично значущі різниці між групами обстежуваних з різними градаціями типологічних властивостей нервової системи. Між цими групами провели порівняння середніх значень довжини Length. Цифрові значення стабілографії за показником довжини траєкторії коливання центру тиску Length, мм порівнювали для кожної групи ЗНП окремо (табл.2).

Таблиця 2.

Довжина траєкторії коливання центру тиску (мм) на стійкій платформі у обстежуваних юнаків спортсменів ($n=43$) та не спортсменів ($n=47$) з різними рівнями ЗНП

Досліджувані групи	Рівні зрівноваженості нервових процесів			Вірогідність різниці, P н-с, н-в, с-в
	Н	С	В	
Не спортсмени	548,7 [498,5; 572,2]	523,1 [473,6; 563,2]	529,3 [491,4; 543,5]	0,078; 0,065; 0,056
Спортсмени	533,6 [484,6; 558,5]	514,6 [476,1; 533,8]	511,4 [487,2; 538,5]	0,068; 0,057; 0,076

Примітка: В – високий, С – середній, Н – низький рівень типологічної властивості

Так, в кожній із виділених груп за рівнями ЗНП порівняння показників довжини траєкторії коливання центру тиску, які отримані на стійкій платформі стабілографа у не спортсменів не виявило статистично значущих різниць ($p>0,05$). Це вказує на відсутність статистично значущих відмінностей Length між групами з низькою, середньою та високою ЗНП.

У групах з низькою, середньою та високою зрівноваженістю нервових процесів показник Length у спортсменів на стабільній платформі стабілографа також не мав статистично значущих відмінностей ($p>0,05$).

Отже, наведені результати можуть бути доказом про відсутність зв'язку між показниками стабілографії, що характеризують статокінетичну стійкість на стабільній

платформі з типологічними властивостями нервових процесів. Показники стабілографії, Length на стійкій платформі стабілографа не мали статистично значущих різниць або були відсутні у групах осіб з різною ЗНП та руховою активністю.

Для дослідження ролі зрівноваженості нервових процесів у постуральному контролі за умови зміни м'язово-суглобової аферентації та уточнення зв'язків властивостей основних нервових процесів з показниками статокінетичної стійкості ми провели кореляційний аналіз результатів дослідження ЗНП і Length на нестабільній платформі стабілографа обстежуваних різного віку та рухової активності (табл. 3).

Таблиця 3.

Коефіцієнти кореляції (r) та довірчий рівень статистичної значущості (p) між показниками Length та ЗНП у спортсменів та не спортсменів різного віку на нестійкій платформі стабілографа

Групи обстежуваних		Вікові групи, роки							
		7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22
Не спортсмени	r	0,14	-0,21	0,29	0,28	0,31	0,29	0,33	0,31
	p	0,087	0,067	0,055	0,058	0,045	0,053	0,045	0,042
Спортсмени	r	0,26	0,18	0,37	0,34	0,32	0,36	0,41	0,43
	p	0,084	0,063	0,036	0,041	0,043	0,041	0,033	0,035

Примітка: жирним виділені значущі кореляції

Результати, що наведені у табл. 3 виявили статистично значущі коефіцієнти кореляції між перемінними ЗНП та Length у не спортсменів старших вікових груп 15-16, 19-20 та 21-22 роки ($r = 0,31 - 0,33$). Виходить, що наведені коефіцієнти кореляції між цими ознаками та статистичної значущості довірчий рівень доводить наявність зв'язку між перемінними рядами досліджуваних ознак. З показником Length та ЗНП у не спортсменів вікових груп дітей 7-8, 9-10, підлітків 11-12, 13-14, та юнаків 17-18 років статистично значущої кореляції на нестійкій платформі стабілографа не виявили. Коефіцієнти кореляції були низькими ($r = -0,21 - 0,29$). Це вказувало на відсутність зв'язку між досліджуваними показниками у цих вікових групах обстежуваних.

У групі спортсменів встановили наявність більш щільного кореляційного зв'язку у більшості вікових груп. Між досліджуваними властивостями нервових процесів ЗНП та стабілографічними показниками Length у спортсменів встановлені довірчі коефіцієнти кореляції. У спортсменів був встановлений зв'язок ЗНП та Length у групах підлітків 11-12, 13-14, юнаків 15-16, 17-18, та осіб зрілого віку 19-20 і 21-22 років ($r = 0,32 - 0,43$). Це вказувало на наявність зв'язку між досліджуваними властивостями стабілографії та зрівноваженістю нервових процесів. Але між показниками довжини траєкторії коливання центру тиску та силою нервових процесів у вікових групах дітей 7-8 та 9-10 років статистично значущої кореляції у спортсменів на нестійкій платформі стабілографа не встановили. Коефіцієнти кореляції були низькими ($r = 0,18 - 0,26$). Це вказувало на відсутність зв'язку між цими ознаками у дітей, що відвідували спортивні секції.

Статистично значущі відмінності показників Length ми виявили, як правило, на нестійкій платформі стабілографа у крайніх групах з високим та низьким рівнем ЗНП. Показники стабілографії Length у групі з високим ЗНП були статистично значуще нижчі, ніж у групі з низькими значеннями досліджуваної типологічної властивості (табл. 4).

Таблиця 4.

Довжина траєкторії коливання центру тиску (мм) на нестійкій платформі у обстежуваних юнаків спортсменів (n=43) та не спортсменів (n=47) з різними рівнем зрівноваженості нервових процесів

Досліджувані групи	Рівні зрівноваженості нервових процесів			Статистична значущість різниці, p
	Н	С	В	
Не спортсмени	762,1 [743,5; 783,1]	741,6 [694,2; 768,1]	717,3 [683,2; 756,2]	0,083; 0,034 ; 0,066
Спортсмени	653,1 [484,6; 558,5]	628,4 [476,1; 533,8]	601,5 [487,2; 538,5]	0,048 ; 0,037 ; 0,056

Примітка: жирним виділені статистично значущі різниці між В – високим, С – середнім та Н – низьким рівнем типологічних властивостей

Порівняння показників довжини траєкторії коливання центру тиску, які отримані на нестійкій платформі стабілографа у не спортсменів з різною ЗНП, вказують на відсутність відмінностей поміж груп з низькою та середньою ЗНП, а також і між значеннями у групах обстежуваних з середньою та високою ЗНП (табл. 4). Так, якщо у групі осіб з низькою ЗНП Length становила 762,1 [743,5; 783,1], а в групі з середнім рівнем ЗНП цей показник у середньому дорівнював 741,6 [694,2; 768,1] то між ними статистично значущої різниці не виявили ($p = 0,083$). Схожі результати отримали і під час зіставлення результатів Length у не спортсменів для групи з середньою та високою ЗНП. Виконання аналогічного завдання з утримання постави на нестійкій опорі стабілографа показало, що середній показник Length у групі з високою градацією ЗНП дорівнював 717,3 [683,2; 756,2] і статистично значущих відмінностей між ними не було встановлено ($p = 0,066$). Статистично значущі відмінності між середніми значеннями у двох групах обстежених з низькою та високою градацією ЗНП були статистично значущі ($p = 0,034$). Отримані результати вказують на наявність зв'язку між досліджуваними властивостями стабілографії та зрівноваженістю нервових процесів.

У групі спортсменів на нестійкій платформі стабілографа між стабілографічними показниками Length та типологічними властивостями нервових процесі ЗНП отримали дещо інші результати. Статистичний аналіз різниць значень Length у групах обстежуваних з низьким та середнім рівнем ЗНП показав наявність значущих різниць між цими групами обстежуваних ($p = 0,048$), а також між групами з низькою та високою досліджуваною типологічною властивістю нервових процесів ($p = 0,037$). Ці результати є доказом наявності зв'язку між досліджуваними перемінними стабілографії та зрівноваженістю нервових процесів.

Обговорення результатів. У дослідженні встановлено, що в онтогенезі взаємодія типологічних властивостей ЗНП та статокінетичної стійкості як у групах дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку з різною руховою активністю поступово підвищується. У юнаків 19-20 та осіб зрілого віку 21-22 років досліджувані показники типологічних властивостей нервових процесів та регуляторних характеристик статокінетичної функції були вищими і характеризувались високим рівнем функціональної взаємодії ЗНП та Length, ніж у дітей 7-8 та підлітків 11-12 років. Імовірно, у дітей та підлітків ще не завершений морфо-функціональний розвиток досліджуваних типологічних властивостей ЗНП та недосконала взаємодія властивостями статокінетичної функції з моторними і сенсорними системами, що залучаються до підтримання рівноваги [12, 13].

Вікова динаміка функціональної взаємодії статокінетичної стійкості з типологічними властивостями нервових процесів в онтогенезі знаходилась у залежності від рухової активності обстежуваних. У вікових групах підлітків, юнаків та осіб зрілого віку спортсменів показники статокінетичної стійкості і кореляції з ЗНП була вища, ніж у їх однолітків не

спортсменів. За свідченнями дослідників показники статокінетичної стійкості залежали від обсягу рухової активності, кількості та характеру фізичних вправ спрямованих на розвиток та удосконалення різних систем, що підтримують функції утримання постави [14, 15].

Наші результати показали, що вікова динаміка функціональної взаємодії статокінетичної стійкості з типологічними властивостями нервових процесів в онтогенезі знаходилась у залежності від складності виконання завдання. Встановлено різну взаємодію типологічних властивостей ЗНП з індивідуальними характеристиками статокінетичної стійкості Length. За умови виконання завдання утримання рівноваги на нестійкій платформі стабілографа у групах підлітків, юнаків та осіб зрілого віку спортсменів та не спортсменів встановили статистично значущі кореляції досліджуваної властивості ЗНП з показниками статокінетичної стійкості Length. Крім того, у групах спортсменів з нижче за середній рівень ЗНП показники Length були статистично значуще вищими (статокінетична стійкість нижча), ніж у обстежуваних з середнім та вище за середній рівень досліджуваної типологічної властивості. Виходячи з наведених вище результатів та літературних даних відзначаємо, що тест на нестійкій опорі стабілографа є більш складним для сенсомоторної інтеграції і реалізується за умови складної сенсомоторної інтеграції [14, 16]. На нашу думку для зорової, пропріорецептивної та вестибулярної систем не стабільна платформа створює додаткове аферентне суглобово-м'язові навантаження, що знижує інтегративну активність базових та залучає вищі генно-регуляторні властивості ЗНП до механізмів регуляції статокінетичної стійкості. Підкреслимо, що з точки зору системно-еволюційної теорії [17] нейрофізіологічні властивості ЗНП мають менший нейрофізіологічний ресурс, ніж базові регуляторні механізми статокінетичної стійкості, що є еволюційно старші та мають більший нейрофізіологічний резерв [18]. Крім того, наведені результати можуть свідчити, що за цих умов в роботі моторних, сенсорних систем та генорегуляторних механізмів вищих відділів ЦНС, які залучені до формування функціональної системи статокінетичної стійкості має місце асоціативна інтерференція [19, 20]. Маємо ситуацію, коли накладання на систему регуляції рівноваги додаткового фактору, нестабільної платформи, приводить до зниження успішності виконання завдання.

Отже, отримані результати можуть слугувати доказом існування зв'язку стабілографічних показників за умови виконання завдання утримання рівноваги на нестійкій платформі з індивідуально-типологічними властивостями ЦНС. Такий зв'язок підтверджується кореляційним аналізом між досліджуваними перемінними (коефіцієнт кореляції Length з ЗНП на нестабільній платформі стабілографа у юнаків спортсменів дорівнював 0,32 ($p=0,043$), а у групі не спортсменів – 0,031, ($p=0,045$)), а також наявністю статистично значуще нижчих показників Length (статокінетична стійкість вища) у обстежуваних з високим та вище за середній рівень досліджуваної типологічної властивості ЗНП на нестійкій платформі стабілографа. Взаємодія ЗНП та Length на стабільній платформі стабілографа була відсутня.

Отже, результати стабілографічних досліджень та ЗНП виявили різні варіанти інтеграції у взаємодії регуляторних характеристик статокінетичної функції утримання рівноваги з нейродинамічної системи мозку. Інтегративні процеси мозку за умови виконання моторних завдань знаходилися у залежності від віку обстежуваних, умов утримання рівноваги на стабільній та нестабільній платформі та участі регуляторних індивідуально-типологічних властивостей нервової системи.

Таким чином, важливим результатом цього дослідження є те, що ми встановили різні варіанти інтеграції функціональної взаємодії регуляторних характеристик статокінетичної стійкості з нейродинамічними індивідуально-типологічними властивостями нейромереж мозку. Виявили, як підвищення, так і зниження успішності виконання завдання утримання рівноваги як на стабільній, так і нестабільній платформі стабілографа. Підвищення результативності завдання, утримання рівноваги та статокінетичної стійкості на стабільній платформі відбувалось без додаткового залучення механізмів регуляції, що належать до індивідуально типологічних властивостей нервової системи. Тоді як виконання завдання на нестійкій опорі супроводжувалось активним залученням регуляторних механізмів якими є

генетично детерміновані індивідуально типологічних властивостей нервової системи, що підвищувало успішність виконання завдання утримання рівноваги.

Висновки

1. Обґрунтовано та експериментально доведено положення про роль індивідуально-типологічних, нейродинамічних властивостей основних нервових процесів у формуванні статокінетичної стійкості в онтогенезі.

2. Зрівноваженість нервових процесів відіграє важливу регуляторну роль у формуванні індивідуальних реакцій статокінетичної стійкості в онтогенезі, що знаходяться у залежності від типологічних властивостей основних нервових процесів, віку обстежуваних, рівня рухової активності та складності виконання завдання утримання рівноваги.

3. Функціональна взаємодія статокінетичної стійкості з типологічними властивостями нервових процесів в онтогенезі дітей, підлітків, юнаків та осіб зрілого віку від 7 до 22 років поступово підвищувалась і знаходилась у залежності від складності виконання завдання утримання рівноваги та рухової активності обстежуваних. У юнаків 19-20 та осіб зрілого віку 21-22 років досліджувані показники типологічних властивостей основних нервових процесів та статокінетичної функції були вищі та виявлено більш тісний прояв функціонально взаємодії, ніж у дітей 7-8 та підлітків 11-12 років.

3. У всіх досліджуваних вікових групах спортсменів утримання вертикального положення тіла за умови нестабільної платформи стабілографа характеризувалося нижчими значеннями Length (статокінетична стійкість вища), ніж у їх однолітків не спортсменів.

4. Виконання завдання на рівновагу на нестабільній платформі стабілографа характеризується більш низьким моторним автоматизмом та вимагало залучення до регуляторних механізмів генетично детермінованих властивостей основних нервових процесів ЗНП, ніж завдання на стабільній платформі.

5. Результати статті можуть бути використані для прогностичної оцінки спортивної діяльності та реабілітації осіб з дефіцитом рівноваги, ортопедичних та нейродегенеративних захворювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шамардін, В.М., Віноградов, В.М., & Дяченко, А.Ю. (2025) Фізична підготовка елітних спортсменів: монографія. Київ: Київський столичний університет імені Б. Грінченка. 180 с.
2. Шльонська, О., Борисова, О., & Федорчук, С. (2025). Сенсомоторні реакції та особливості їх прояву у висококваліфікованих волейболістів. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія, (1), 43–49. DOI: [10.32782/spmed.2025.1.6](https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.6)
3. Коробейникова, Л.Г., Макарчук, М.Ю., Коробейников, Г.В., Міщенко, В.С., & Заповітряна, О.Б. (2016). Стани психофізіологічних функцій елітних спортсменів різних вікових груп. Фізіологічний журнал. 61(6). 81-87. DOI: <https://doi.org/10.15407/fz62.06.081>
4. Лизогуб, В.С., Хоменко, С.М., Пустовалов, В.О., & Кожемяко, Т.В. (2025) Нейродинамічні основи програмування спорту: монографія. Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2025. – 197 с. <https://eprints.cdu.edu.ua/id/eprint/7271>
5. Коробейников, Г.В., Коробейникова, Л.Г., Вольський Д., & Шенпен Г. (2019). Оцінка психофізіологічного стану кваліфікованих кікбоксерів із різною поступальною стійкістю. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 94-97. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2019.4.94-97>
6. Коваленко, Я., Болобан, В., & Жирнов, О. (2017). Сенсомоторна координація спортсменів, які займаються художньою гімнастикою на етапі спеціалізованої базової підготовки. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. (4). 27-34. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2017.4.27-34>
7. Макаренко, М.В., & Лизогуб, В.С. (2011). Онтогенез психофізіологічних функцій людини: монографія. Черкаси: Вертикаль. 256 с.
8. Лях, Ю., Усова, О., Романюк, А., Мельничук, В., Лях, М., & Антіпов, А. (2019). Комп'ютерна стабілізоетрія в оцінці функціонального стану людини. Лікувальна фізична культура, спортивна медицина та фізична реабілітація. 2(46), 66–72 <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72>
9. Хоменко, С.М. (2007). Аналіз баз даних за допомогою Excel. Методичний посібник. Черкаси: Гордієнко Є.І. 99 с.
10. Кожемяко, Т.В. (2018). Нейрофізіологічні та вегетативні механізми обробки інформації у підлітків з різними індивідуально-типологічними особливостями нервової системи: автореф. канд. дис. Черкаси. 20 с.

11. Безкопильна, С. (2020). Вікові особливості реактивності вегетативної нервової системи під час обробки інформації різної модальності та інтенсивності пред'явлення сигналу. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки. 1(389). 94-102. DOI: <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-1-389-94-101>
12. Коваленко, Я., & Болобан, В. (2018). Статокінетична стійкість тіла спортсменок, що займаються художньою гімнастикою на етапі спеціалізованої базової підготовки. Наука в олімпійському спорті. No. 4. 70- 78. DOI: [10.32652/OLYMPIC2018.4.9](https://doi.org/10.32652/OLYMPIC2018.4.9)
13. Bezokopylna, S.V., Minaev, B.P., Bezokopylnyi, O.O., Kalenichenko, O.V., & Grechukha, S.V. (2023). Age characteristics of statokinetic stability in athletes and non-athletes. Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences. No. 1. 11–22. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34>
14. Лизогуб, В., Саливончик, І., Коваль, Ю., & Палійчук, О. (2024). Роль візуальної інформації у підтримці статокінетичної стабільності на стаціонарній та нестаціонарній платформі. Вісник Черкаського університету: Серія біологічних наук. No. 1. 35-45. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-35-45>
15. Коваль, Ю.В., Юхименко, Л.І., Чистовська, Ю.Ю., Палійчук, О.В. (2023). Вікові особливості формування статокінетичної стійкості у осіб з депривацією слухової функції. Вісник Черкаського університету: Серія біологічних наук. No. 1. 46-57. DOI 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57
16. Pau, M., Ibbi, G., Leban, B., & Scorcu, M. (2014) Characterization of static balance abilities in elite soccer players by playing position and age. Res Sports Med. 22(4). 355–367. DOI: [10.1080/15438627.2014.944302](https://doi.org/10.1080/15438627.2014.944302)
17. Brown, T.C., & McGee, A.W. (2023) Monocular deprivation during the critical period alters neuronal tuning and the composition of visual circuitry. PLoS biology. 21(4). e3002096. DOI: [10.1371/journal.pbio.3002096](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002096)
18. Adkin, A.L., Campbell, A.D., Chua, R., & Carpenter, M.G. (2018). The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. Neurosci Lett 435. 120–5. DOI: [10.1016/j.neulet.2008.02.018](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.02.018)
19. Міщенко, В.С., Лисенко, Е.Н., & Віноградов, В.Е. (2007). Реактивні властивості кардіореспіраторної системи як відображення адаптації до інтенсивних фізичних тренувань у спорті. Київ: Науковий світ. 351 с.
20. Vaillant J., Vuillerme N., & Janvey A. et al. (2008) Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. Brain Res. Bull. Jan, 31; 75(1):18-22. DOI: [10.1016/j.brainresbull.2007.07.009](https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.07.009)

REFERENCES

1. Shamardin, V.M., Vinogradov, V.E., & Dyachenko, A.Y. (2025) Physical training for elite soccer players: Monograph. Kyiv: B. Hrinchenko capital university. 180 p. (in Ukr.)
2. Shlyonska, O., Borysova, O., & Fedorchuk, S. (2025). Sensorimotor reactions and features of their manifestation in highly skilled volleyball players. Sports medicine, physical therapy and occupational therapy. (1). 43–49. <https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.6> (in Ukr.)
3. Korobeynikova, L.G., Makarchuk, M.Yu., Korobeynikov, G.V. Mischenko, V.S., & Zapovityryana, O.B. (2016) States of psychophysiological functions of elite athletes in different aging groups. Fiziol Zh. 61(6). 81-87. DOI: <https://doi.org/10.15407/fz62.06.081> (in Ukr.)
4. Lyzohub, V., Khomenko, S., Pustovalov, V., & Kozhemiako, T. (2025) Neurodynamic foundations of programming in sports: Monograph. Cherkasy: Gordienko. 197 p. (in Ukr.)
5. Korobeynikov, G., Korobeinikova, L., Volsky, D. & Shenpen, G. (2019) Assessment of the psychophysiological state of skilled kickboxers with different translational resistance. Theory and Methods of Physical Education and Sports. 94-97. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2019.4.94-97>
6. Kovalenko, Ya, Boloban, V., & Zhyrnov, O. (2017). Sensorimotor coordination of sportsmen engaged in artistic gymnastics at the stage of specialized basic training. Theory and methods of physical education and sports. (4). 27-34. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2017.4.27-34>
7. Makarenko, M.V., & Lyzogub, V.S. (2011) The ontogenesis of human psychophysiological functions: Monograph. Cherkasy: Vertikal. 256 p. (in Ukr.)
8. Lyakh, Yu., Usova, O., Romanyuk, A., Melnychuk, V., Lyakh, M., & Antipov, A. (2019) Computer stabilometry in assessing the functional state of a person. Physical education, sports and health culture in modern society. No. 2(46), 2019, 66–72 <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72> (in Ukr.)
9. Khomenko, S.M. (2007) Analysis of subdivisions of data using Excel. Basic methodological textbook. Cherkassy: Gordienko E.I. 99 p. (in Ukr.)
10. Kozhemiako, T.V. (2018) Neurophysiological and autonomic mechanisms of information processing in adolescents with different individual-typological characteristics of the nervous system: Abstract of the Ph.D. Cherkasy. 20 p. (in Ukr.)
11. Bezokopylna, S. (2020). Age-related features of reactivity of the autonomic nervous system while processing information of different modality and intensity of signal presentation. Lesia Ukrayinka Eastern European National University Scientific Bulletin. Series: Biological Sciences. 1(389). 94-102. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-1-389-94-101>
12. Kovalenko, Ya., Baloban, V. (2018) Statodynamic stability of the body of female athletes engaged in rhythmic gymnastics is in the stage of specialized basic training. Science in Olympic sports. No. 4. 70-78. [10.32652/OLYMPIC2018.4.9](https://doi.org/10.32652/OLYMPIC2018.4.9) (in Ukr.)

13. Bezcopylna, S.V., Minaev, B.P., Bezcopylnyi, O.O., Kalenichenko, O.V., & Grechukha, S.V. (2023). Age characteristics of statokinetic stability in athletes and non-athletes. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*. No. 1. 11–22. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34>
14. Lyzohub, V.S., Salivonchuk, I.I., Koval, Y.V., & Dudnyk, I.O. (2024) Formation of statokinetic stability in ontogenesis. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*. No. 2. 11–22. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-35-45>
15. Koval, Yu.V., Yukhymenko, L.I., Chystovska, Yu.Yu., & Paliychuk, O.V. (2023) Age-specific features of the formation of statokinetic stability in persons with hearing loss. *Bulletin of the Cherkasy University. Series: Biological Sciences*. No. 1. 11–22. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57> (in Ukr.)
16. Pau, M., Ibba, G., Leban, B., & Scorcu, M. (2014) Characterization of static balance abilities in elite soccer players by playing position and age. *Res Sports Med.* 22(4). 355–367. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.944302>
17. Brown, T.C., & McGee, A.W. (2023) Monocular deprivation during the critical period alters neuronal tuning and the composition of visual circuitry. *PLoS biology.* 21(4). e3002096. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002096>
18. Adkin, A.L., Campbell, A.D., Chua, R., & Carpenter, M.G. (2018). The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. *Neurosci Lett* 435. 120–5. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.02.018>
19. Mishchenko, V.S., Lysenko, E.N., & Vynogradov, V.E. (2007) Reactive properties of the cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to intense physical training in sports. Kyiv: Naukovy svit. 351 p. (in Ukr.)
20. Vaillant J., Vuillerme N., & Janvey A. et al. (2008) Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain Res. Bull.* Jan, 31; 75(1):18-22. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.07.009>

Kozhemiako T.V.

INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF THE INTERACTION BETWEEN STATOKINETIC STABILITY AND THE TYPOLOGICAL PROPERTIES OF NERVOUS PROCESSES IN THE ONTOGENESIS OF INDIVIDUALS WITH DIFFERENT LEVELS OF MOTOR ACTIVITY

The aim of the study is to investigate the interaction between the regulatory characteristics of statokinetic stability and the individual typological properties of neural processes during the ontogenesis of individuals with varying levels of physical activity.

Materials and methods. *In children, adolescents, young adults, and adults aged 7 to 22 years who regularly engaged in sports (n=187) and their non-athlete peers (n=148), a study of statokinetic stability was conducted using the indicator of the length of the trajectory of the foot pressure center's oscillation (Length) on a stable and unstable platform of the "MPFI Stabilograph-1" stabilograph. The "Diagnost-1" computer system was used to determine the individual typological characteristics of the balance of nervous processes (BNP) in the subjects.*

Research findings. *It has been demonstrated that BNP plays an important regulatory role in the formation of individual statokinetic stability responses during ontogenesis. The functional interaction between statokinetic stability and the typological properties of neural processes during the ontogenesis of children, adolescents, young adults, and adults gradually intensified and depended on the complexity of the balance maintenance task and the motor activity of the subjects. In young adults aged 19–20 and adults aged 21–22, the examined indicators of the typological properties of neural processes and statokinetic function were higher, and a closer manifestation of functional interaction was observed than in children aged 7–8 and adolescents aged 11–12. In athletes with below-average levels of BNP, Length indicators were statistically significantly higher (statokinetic stability was lower) than in subjects with average and above-average levels of the studied typological property. Correlation coefficients confirmed the presence of integrative processes between the typological properties of BNP and the regulatory functions of statokinetic stability (Length) in subjects on the unstable platform of the stabilograph. There was no interaction between BNP and Length on the stable platform of the stabilograph.*

Conclusions. *The results indicate that the integrative processes of the central nervous system, in interaction with the regulatory mechanisms of statokinetic stability during the ontogenesis of children, adolescents, young adults, and adults, depend on the level of physical activity of the subjects and the complexity of the balance task.*

Keywords: *ontogenesis, statokinetic stability, balance of nervous processes, physical activity.*

Надійшла до редакції / Received: 22.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

Володимир Сергійович Лизогуб

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
v_lizogub@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>

Олександр Олександрович Безкопильний

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького
aleksbezk1981@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7207-7590>

Юлія Віталіївна Коваль

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
uyula0077@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7160-5240>

АСИМЕТРИЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕРОБКИ ОБРАЗНОЇ ТА ВЕРБАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РЕЖИМІ GO/NO-GO/GO

Анотація. Дослідження присвячене проблемі функціональної асиметрії нейронних мереж та їх перетворення із статичного тестування із закритим циклом (Closed loop system) у динамічний стрес-тест (Dynamic stress-test). У юнаків 16-17 років прагнули надати докази наявності функціональної асиметрії нейронних мереж у динамічному тесті з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів та реакції лівою (goL) та правою (goR) рукою, а також гільмівного сигналу (no-go). Дослідження проведене на 45 юнаках 16-17 років з використанням комп'ютерної системи «Діагност-1М». Доведено, що функціональна асиметрія нейронних мереж, а також часові характеристики диференціювання у парадигмі goL/no-go/goR знаходяться у залежності від модальності (образних чи вербальних) сигналів та швидкості їх пред'явлення. У юнаків 16-17 років швидкість виконання завдання goL/no-go/goR була вища на образні, ніж на вербальні сигнали. Для вербальних сигналів виявлено статистично значуще переважання лівопівкульної функціональної асиметрії тільки на швидкості 30 та 60 сигн./хв., тоді як для образних сигналів така асиметрія нейронних мереж була відсутня. В разі підвищення швидкості виконання завдання до 90 та 120 сигн./хв для образних і вербальних сигналів асиметрія нейронних мереж також була відсутня. Дослідження надає додаткову інформацію стосовно асиметрії нейронних мереж, що лежать в основі процесів збудження та гальмування. Оговорюється питання участі різних механізмів переробки інформації у режимі go/no-go/go.

Ключові слова: асиметрія; парадигма go/no-go/go; швидкість реакції; модальність сигналів.

Вітчизняні та зарубіжні науковці встановили закономірності асиметрії нейронних мереж у людей за різних умов діяльності [1, 2]. Найчастіше для дослідження асиметрії використовували методику пред'явлення інформації у режимі двохстимульного тесту go/no-go [3]. Основна наукова проблема полягає у механізмах гальмівного контролю та здатності мозку пригнічувати імпульсивні реакції на користь цілеспрямованої дії [4]. Вважається, що нейронний компонент завдання go/no-go у когнітивній нейронауці відображає не тільки саме гальмування, скільки відстеження конфлікту між очікуваною реакцією («go») та необхідністю зупинитися («no-go»). Тому тести із завданням go/no-go використовували і у клінічних дослідженнях [5]. Дефіцит когнітивного контролю та гальмівна дисфункція, зокрема, пов'язані з такими клінічними станами, як синдром дефіциту уваги [6], черепно-мозкова травма [7] та шизофренія [8]. В цих дослідженнях прагнули зрозуміти механізми когнітивних дисфункцій та з'ясувати роль асиметрії неронних мереж [9].

Модель більш складних інформаційних завдань з переробки інформації різної складності, що вимагає постійного переключення процесів уваги, нейронних мереж лівої та правої півкулі мозку та обробки сигналів у пам'яті Макаренком М. В. [10] був

запропонований трьохстимульний тест диференціювання інформації в режимі goL/no-go/goR. Було показано, що диференціювання сигналів у режимі goL/no-go/goR включає не тільки збудливі сигнали go, на які треба діяти, але і гальмівні no-go, на які реагувати не потрібно [10, 11]. У такому разі ми маємо ситуацію, коли обидва сигнали конкурують один з одним. Успішність працюючої функціональної системи діяльності буде визначатися швидкістю руху процесів збудження по нейронній мережі, які змагаються із швидкістю гальмування. Необхідно зазначити і те, що переробка інформації у режимі goL/no-go/goR, крім збудливого та гальмівного процесу вимагає від обстежуваного ще і швидкого переключення збудження з сигналів для лівої руки на руховий акт правою рукою і, навпаки [10]. Є всі підстави думати, що запропонована трьохстимульна парадигма реагування на сигнали різної модальності та побудови програми рухової відповіді буде формувати різні нейронні мережі та проявляти особливості взаємодії між ними. Дослідження показують, що при переробці вербальної інформації кількість помилок для лівої руки (goL) може бути вищою, ніж для правої (goR), особливо при високій швидкості подачі сигналів (60–90 за хв.) [12]. Отже, підвищення темпу подачі сигналів веде до зростання кількості помилок через формування упередженої відповіді, коли у нейронних мережах мозку починає автоматично формуватись реакція на наступний стимул [12].

Питання на які ми звернули увагу стосуються, переважно, функціональної асиметрії нейронних мереж які характерні для закритого циклу тестування. Тоді як процес перетворення функціональної нейронної мережі із статичного типу тестування у динамічний стрес-тест, коли сигнали різної модальності та складності будуть пред'являтися у режимі з поступовим зростанням швидкості покищо не досліджений. Залишаються відкритими та нез'ясованими питання функціональної асиметрії нейронних мереж за умови диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR. У попередніх роботах нами було встановлено, що переробка складної інформації різної модальності у режимі диференціювання goL/no-go/goR характеризується різними функціональними перебудовами у взаємодії нейронних мереж мозку. Тому постала проблема дослідити особливості функціональної асиметрії нейронних мереж мозкової діяльності за умови переробки поступово зростаючої швидкості інформації в парадигмі goL/no-go/goR, що є актуальним для біологічної та медичної науки.

Підсумовуючи результати аналізу досліджуваної проблеми необхідно звернути увагу на те, що в разі дослідження асиметрії нейронних мереж використовуються зорові сигнали які проходять відбір та різні перетворення у сенсорній, вербальній, перцептивно-моторній, логічній, часових та просторових підсистемах і оперативної пам'яті [13]. Показано, що ці підсистеми мають чітку півкулеву латералізацію [12]. Відомо, що просторова підсистема більш латералізована до нейронної мережі правої півкулі, тоді як вербальна – до лівої [12, 13]. Результати асиметрії та взаємодії обох нейронних мереж при обробці різних типів інформації залишається мало дослідженими. Тому у дослідженні ми намагались надати докази наявності чи відсутності латералізації та взаємодії нейронних мереж у динамічному тесті з поступовим зростанням швидкості диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR.

Мета роботи – з'ясувати особливості функціональної асиметрії нейронних мереж за умови переробки інформації різної модальності у режимі диференціювання goL/no-go/goR.

Методика дослідження. У 46 юнаків 16-17 років (середній вік $16,4 \pm 1,1$ роки) на комп'ютерному пристрої «Діагност-1М» в «оптимальному режимі» провели дослідження часових характеристик реакції диференціювання двох з трьох подразників у трьохстимульний парадигмі goL/no-go/goR [3, 11]. Обстежувані виконували 2 експериментальні завдання. Перше завдання складалось з визначення часу реакції у режимі goL/no-go/goR на геометричні фігури окремо для лівої та правої руки. Ми використали нейрофізіологічний тест з випадковим і рівноваріантним (по 33 %) пред'явленням стимулів Go (відповідь потрібна) і кондиціонуючий стимул no-go (відповідь не потрібна). Обстежуваному

пропонували на появу фігури «квадрат» швидко натиснути пальцем правої руки на праву кнопку (goR). Поява фігури «коло» вимагала швидкої реакції лівою рукою на ліву кнопку (goL). На трикутник – гальмівний сигнал обстежуваний не натискав на кнопки (no-go). Тест був спрямований на визначення швидкості часових характеристик реакції goL/no-go/goR під час поступового підвищення швидкості пред'явлення образних сигналів від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за 1 хвилину.

Друге завдання було побудоване як і перше, але були пред'явлені вербальні сигнали. Обстежуваний, у відповідності до інструкції, виконував завдання у режимі goL/no-go/goR. При появі на екрані різних слів з значеннями «тварин» обстежуваний швидко натискав пальцем правої руки на праву кнопку (goR), на види «рослини» – лівою рукою на ліву кнопку (goL), а при пред'явленні «предметів» – гальмівний подразник – не натискав жодної із кнопок (no-go). Тест був спрямований на визначення швидкості часових характеристик реакції goL/no-go/goR під час поступового підвищення швидкості пред'явлення вербальних сигналів від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за 1 хвилину.

Усього обстежувані послідовно виконували два тести. Порядок подачі сигналів варіювався і був випадковим. Експозиція і паузи між сусідніми сигналами змінювались у межах 0,5–1,9 с. Час пред'явлення кожної серії був незмінний і тривав 30 секунд. Визначали середній час швидкості реакції goL/no-go/goR для правої та лівої руки, окремо на фігури і вербальні сигнали. Статистичний аналіз даних проводився з використанням програм Statgraphics, Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. У юнаків 16-17 років під час переробки інформації у трьохстимульному режимі goL/no-go/goR визначали показники, що характеризують швидкісні реакції диференціювання на пред'явлення образних і вербальних сигналів під час поступового підвищення швидкості пред'явлення інформації в режимі «нав'язаного ритму» від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за хвилину. За результатами, які ми отримали під час поступового підвищення швидкості (від 30 до 120 подр/хв) пред'явлення та диференціювання фігур у режимі goL/no-go/goR виявили загальну закономірність – швидкість реакції підвищувалась, а час реакції зменшувався (табл. 1).

Таблиця 1.

Швидкість реакції ($Me(Q_{25} - Q_{75})$ мс. для лівої і правої руки під час поступового підвищення швидкості пред'явлення геометричних фігур та слів в режимі goL/no-go/goR

Вид сигналу	Час реакції, ($Me(Q_{25} - Q_{75})$ мс.			
	Фігури		Слова	
	goL	goR	goL	goR
30	321,7 [371,7; 409,1]	318,5 [371,7; 409,7]	580,0 [567,2; 601,8] #	534,2 [243,5; 283,4]
60	272,3 [261,2; 283,7] *	263,6 [254,1; 272,5] *	504,6 [496,2; 519,3] * #	474,5 [456,5; 489,1] *
90	244,6 [236,1; 251,2] *	247,5 [236,2; 256,8]	387,7 [371,7; 409,7]	379,4 [378,6; 413,9] *
120	234,6 [227,5; 242,3]	236,9 [263,5; 282,7]	327,9 [313,5; 341,7] *	325,4 [314,3; 338,9] *

Примітка: * – статистична значущість різниць швидкості реакцій на різних швидкостях та # – пред'явлення образних і вербальних сигналів для лівої та правої руки

Моторна відповідь на сигнали goR коротші, що свідчить про активізацію роботи лівої півкулі. Під час переробки вербальної інформації у режимі goL/no-go/goR на

швидкості 90 і 120 сигн./хв не виявили статистично значущої різниці у швидкості реакції для лівої та правої руки ($p > 0,05$). Детальний аналіз показав, що сенсомоторні реакції правою рукою здійснювалися швидше, ніж лівою. Така закономірність зберігалася на швидкості пред'явлення 30 і 60 сигн./хв. На швидкості 90 та 120 сигн./хв. рухова відповідь правої руки збігалася з реакцією лівої руки, або була на 5,4 мс більшою. Разом зі скороченням часу сенсомоторної реакції спостерігали і зменшення групової варіабельності значень, на що вказували показники σ та CV, що може свідчити про вищий рівень організації нейронної мережі.

Отже, наведені результати свідчать про залежність асиметрії нейронних мереж та часу сенсомоторної реакції від швидкості пред'явлення інформації та модальності сигналів. Підвищення швидкості пред'явлення геометричних фігур скорочує час сенсомоторної реакції і нівелює асиметрію та латералізацію півкуль. У взаємодії нейронних мереж лівої та правої півкулі під час диференціювання образних сигналів у режимі goL/no-go/goR асиметрія та латералізація нейронних мереж була відсутня. У разі пред'явлення вербальної інформації ми виявили різні варіанти асиметрії нейронних мереж у залежності від швидкості пред'явлення та модальності інформації. На низькій швидкості від 30 і до 60 сигналів за хвилину мали справу з вираженою асиметрією нейронних мереж лівої та правої півкулі мозку. Оскільки швидкість реакції для правої руки була вища, то треба думати, що у цьому разі ми маємо справу з домінантою лівопівкулевою нейронною мережею і інтерференцією нейронною мережею у правій півкулі. Вразі, коли навантаження зростало до максимальної швидкості пред'явлення подразників у темпі 90 та 120 сигналів за хвилину домінантний стан та асиметрії нейронних мереж мозку змінювався на узгоджену їх взаємодію. Це підтверджується тим, що були відсутні статистично значущі різниці для швидкості реакцій лівої – goL та правої goR руки ($p > 0,05$).

В результаті аналізу дослідження можна констатувати, що тестування у статичному навантаженні пред'являє високі вимоги до швидкісних характеристик перцептивно-моторних нейронних мереж і їх часових характеристик. Тоді як у тесті з вербальними сигналами в організації функціональної системи діяльності крім часових характеристик підвищуються вимоги до просторових властивостей нейронних мереж мозку. Зазначимо, що у динамічному тесті з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення інформації у режимі goL/no-go/goR ми маємо справу з інтегрованою взаємодією часових, і просторових властивостей нейронних мереж. З літератури частково відомі механізми обробки інформації у нейронних мережах мозку в режимі go/no-go, що описує складність взаємодії різних ділянок мозку. Для успішного виконання завдання мозок залучає розгалужену мережу фронтальних та тим'яних областей. Праву нижню лобову звивину вважають ключовим центром гальмівного контролю [5]. Вона відповідає за зупинку вже підготовленої моторної програми. Тоді як премоторна область відіграє критичну роль у виборі між дією goL чи goR та утриманням no-go від неї [14]. Вважають, пошкодження цієї зони призводять до великої кількості помилкових натискань. Дорсолатеральна префронтальна мережа кори приймає участь і підтримує робочу пам'ять та правила виконання завдання, тиснути goL лише на слова «тварини» чи goR на «рослини». Нейронні структури передньої поясної кори моніторять конфлікти між бажанням натиснути goL/goR та необхідністю зупинити no-go, а також реєструє помилкові реакції [5]. Субталамічне ядро виконує роль «швидкого гальма». Воно отримує сигнали від кори напряму, що дозволяє миттєво зупинити всі моторні процеси у критичній ситуації. Між неронною мережею кори та базальними гангліями, встановлюється взаємодія, що дозволяє вибирати потрібний руховий акт або пригнічувати його [15]. Треба думати, що в разі прийняття рішення у нейронних системах мозку виникає конкуренція для реакції go яка активується одним типом дофамінових рецепторів, які посилюють збуджувальні сигнали до кори, що полегшує виконання дії [16]. В разі появи сигналу no-go активуються інші рецептори, що пригнічують небажану реакцію. Вважають, що пригнічення реакції no-go є більш сильнішим сигналом, ніж виконання go. Потрібний більш потужний

сигнал від нейронних мереж кори, щоб подолати природній активаційний бар'єр [17].

Отже, ми показали, що під час обробки інформації у режимі goL/no-go/goR у нейронних мережах виникають складні механізми просторової та часової взаємодії від реакції активації одних нейронних мереж до гальмування інших. Детальний аналіз наших результатів показав, що кілька областей мозку утворюють нейронну мережу когнітивного контролю, необхідну для виконання завдання goL/no-go/goR. З ускладненням завдання шляхом підвищення темпу подання сигналів та переходу від образних до реакції на вербальні сигнали, зростає взаємодія до максимальної синхронізації нейромереж лівої та правої півкулі на швидкості 90 та 120 сигн./хв. до десинхронізації активності та появи функціональної асиметрії на швидкості 30-60 сигналів за хвилину.

Таким чином, у цьому дослідженні ми надали додаткові докази взаємодії різних нейронних мереж у динамічному тесті з поступовим зростанням швидкості диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR. Результати можуть бути використані для прогностичної оцінки можливостей діяльності людини в умовах складних інформаційних навантажень та сприяти кращому розумінню не лише дисфункціональних схем, що лежать в основі нейромережових розладів, а й надати уявлення про засоби та тип реабілітації, який може бути ефективним для усунення дисфункцій.

Висновки

1. Доведено, що у юнаків 16–17 років за умови переробки інформації у парадигмі goL/no-go/goR функціональна асиметрія нейронних мереж мозку, а також швидкісні сенсомоторні реакції знаходяться в залежності від модальності сигналів та швидкості пред'явлення сигналів.

2. Швидкість виконання завдань була вища на образні, ніж на вербальні сигнали. Для вербальних сигналів виявлено переважання лівопівкулевої функціональної асиметрії тільки на швидкості пред'явлення 30 та 60 сигн./хв. Швидкісні характеристики рухових реакцій були вищі для правої руки goR, ніж лівої goL.

3. У юнаків асиметрія нейронних мереж відсутня за умови пред'явлення вербальних сигналів на високій швидкості (90 та 120 сигн./хв) і слабо виражена для завдань з використанням фігур.

4. Результати та методика дослідження можуть бути використані для прогностичної оцінки можливостей діяльності людини в умовах складних інформаційних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Baddeley A. Working memory // *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III, Sciences de la vie.* – 1998. – Vol. 321, № 2-3. – P. 167-173.
2. Куценко Т. В., Наседкін Д. Б. Виконання комбінованого тесту із завданнями Струпа, Поффенберга, Сперрі у нав'язаному та довільному режимах // *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки.* – 2018. – № 1. – С. 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
3. Макаренко М. В. Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми. – К. : Ін-т фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, 2006. – 395 с.
4. Acharya U. R., Oh S. L., Hagiwara Y., Tan J. H., Adeli H., Subha D. P. Automated EEG-based screening of depression using deep convolutional neural network // *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* – 2018. – Vol. 161. – P. 103-113. с. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.04.012>
5. Criaud M., Boulinguez P. Have we been asking the right questions when assessing response inhibition in go/no-go tasks with fMRI? A meta-analysis and critical review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* – 2013. – Vol. 37, № 1. – P. 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.003>
6. Casey B. J., Trainor R. J., Orendi J. L., Schubert A. B., Nystrom L. E., Giedd J. N., Castellanos F. X., Haxby J. V., Noll D. C., Cohen J. D., Forman S. D., Dahl R. E., Rapoport J. L. A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task // *Journal of Cognitive Neuroscience.* – 1997. – Vol. 9. – P. 835-847.
7. Dockree P. M., Robertson I. H. Electrophysiological markers of cognitive deficits in traumatic brain injury: a review // *International Journal of Psychophysiology.* – 2011. – Vol. 82, № 1. – P. 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.004>

8. Carter C. S., MacDonald A. W., Ross L. L., Stenger V. A. Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: an event-related fMRI study // *American Journal of Psychiatry*. – 2001. – Vol. 158, № 9. – P. 1423-1428. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.9.1423>
9. Motes M. A., Spence J. S., Yeatman K., Jones P. M., Luttrell M., O'Hair R., Shakal S., DeLaRosa B. L., To W., Vanneste S., Kraut M. A., Hart J. High-Definition Transcranial Direct Current Stimulation to Improve Verbal Retrieval Deficits in Chronic Traumatic Brain Injury // *Journal of Neurotrauma*. – 2020. – Vol. 37, № 1. – P. 170-177. <https://doi.org/10.1089/neu.2018.6331>
10. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Безкопильний О. П. Методичні вказівки до практикуму з диференціальної психофізіології та фізіології вищої нервової діяльності людини // Мін-во оборони України, Мін-во освіти і науки України. – К. – Черкаси, 2014. – 102 с.
11. Лизогуб В. С., Хоменко С. М., Пустовалов Т. В., Кожемяко Т. В. Нейродинамічні основи програмування у спорті : монографія. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є. І., 2025.
12. Lyzohub V. S., Chernenko N. P., Kozhemiako T. V., Palabiyik A. A., Bezcopylna S. V. Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. – 2019. – Vol. 10, № 3. – P. 288-294. <https://doi.org/10.15421/021944>
13. Куденко Т. В., Наседкін Д. Б. Виконання комбінованого тесту із завданнями Струпа, Поффенберга, Сперрі у нав'язаному та довільному режимах // *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. – 2018. – № 1. – С. 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
14. Mostofsky S. H., Simmonds D. J. Response inhibition and response selection: two sides of the same coin // *Journal of Cognitive Neuroscience*. – 2008. – Vol. 20, № 5. – P. 751-761. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20500>
15. Klimesch W. α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information // *Trends in Cognitive Sciences*. – 2012. – Vol. 16, № 12. – P. 606-617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
16. Ieracitano C., Mammone N., Hussain A., Morabito F. C. A novel multi-modal machine learning based approach for automatic classification of EEG recordings in dementia // *Neural Networks*. – 2020. – Vol. 123. – P. 176-190. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.006>
17. Kirmizi-Alsan E., Bayraktaroglu A., Hurvit H., Keskin Y., Emre M., Demiralp T. Comparative analysis of event-related potentials during go/nogo and CPT: decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention // *Brain Research*. – 2006. – Vol. 1104, № 1. – P. 114-128 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.05.086>

REFERENCES

1. Baddeley, A. (1998). Working memory. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III, Sciences de la Vie*, 321(2-3), 167-173.
2. Kutsenko, T. V., & Nasedkin, D. B. (2018). Performing a combined test with Stroop, Poffenberger, and Sperry tasks in imposed and voluntary modes. *Bulletin of Cherkasy University. Biological Sciences Series*, 1, 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
3. Makarenko, M. V. (2006). *Fundamentals of professional selection of military specialists and methods for studying individual psychophysiological differences among people*. Kyiv: Bohomolets Institute of Physiology, NAS of Ukraine.
4. Acharya, U. R., Oh, S. L., Hagiwara, Y., Tan, J. H., Adeli, H., & Subha, D. P. (2018). Automated EEG-based screening of depression using deep convolutional neural network. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 161, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.04.005>
5. Criaud, M., & Boulinguez, P. (2013). Have we been asking the right questions when assessing response inhibition in go/no-go tasks with fMRI? A meta-analysis and critical review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(1), 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.003>
6. Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., Castellanos, F. X., Haxby, J. V., Noll, D. C., Cohen, J. D., Forman, S. D., Dahl, R. E., & Rapoport, J. L. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.
7. Dockree, P. M., & Robertson, I. H. (2011). Electrophysiological markers of cognitive deficits in traumatic brain injury: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 82(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.004>
8. Carter, C. S., MacDonald, A. W., Ross, L. L., & Stenger, V. A. (2001). Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: An event-related fMRI study. *American Journal of Psychiatry*, 158(9), 1423-1428. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.9.1423>
9. Motes, M. A., Spence, J. S., Yeatman, K., Jones, P. M., Luttrell, M., O'Hair, R., Shakal, S., DeLaRosa, B. L., To, W., Vanneste, S., Kraut, M. A., & Hart, J. (2020). High-definition transcranial direct current stimulation to improve verbal retrieval deficits in chronic traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 37(1), 170-177. <https://doi.org/10.1089/neu.2018.6331>

10. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., & Bezcopylnyi, O. P. (2014). *Methodical guidelines for practical training in differential psychophysiology and physiology of higher nervous activity of humans*. Kyiv–Cherkasy: Ministry of Defense of Ukraine & Ministry of Education and Science of Ukraine.
11. Lyzohub, V. S., Khomenko, S. M., Pustovalov, T. V., & Kozhemiako, T. V. (2025). *Neurodynamic foundations of programming in sport* [Monograph]. FOP Hordiienko Ye. I.
12. Lyzohub, V. S., Chernenko, N. P., Kozhemiako, T. V., Palabiyik, A. A., & Bezcopylna, S. V. (2019). Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(3), 288–294. <https://doi.org/10.15421/021944>
13. Kutsenko, T. V., & Nasedkin, D. B. (2018). Performing a combined test with Stroop, Poffenberger, and Sperry tasks in imposed and voluntary modes. *Bulletin of Cherkasy University. Biological Sciences Series*, 1, 62–69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
14. Mostofsky, S. H., & Simmonds, D. J. (2008). Response inhibition and response selection: Two sides of the same coin. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 751–761. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20500>
15. Klimesch, W. (2012). α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
16. Ieracitano, C., Mammone, N., Hussain, A., & Morabito, F. C. (2020). A novel multi-modal machine learning based approach for automatic classification of EEG recordings in dementia. *Neural Networks*, 123, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.006>
17. Kirmizi-Alsan, E., Bayraktaroglu, A., Hurvit, H., Keskin, Y., Emre, M., & Demiralp, T. (2006). Comparative analysis of event-related potentials during go/nogo and CPT: Decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. *Brain Research*, 1104(1), 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.05.086>

Lyzohub V. S., Bezcopylnuy O.O., Koval Y. V.

ASYMMETRY OF THE NEURAL NETWORK OF PROCESSING VISUAL AND VERBAL INFORMATION IN THE GO/NO-GO/GO MODE

Introduction. The study is devoted to the problem of functional asymmetry of neural networks and their transformation from static closed loop testing (Closed loop system) to dynamic stress-test (Dynamic stress-test).

Purpose. In young men aged 16-17, we sought to provide evidence of the presence of functional asymmetry of neural networks in a dynamic test with gradually increasing speed of presentation of signals and reactions with the left (goL) and right (goR) hands, as well as a no-go signal.

Methods. The study was conducted on 45 young men aged 16-17 using the computer system "Diagnost-1M".

Results. It was proven that the functional asymmetry of neural networks, as well as the temporal characteristics of differentiation in the goL/no-go/goR paradigm, depend on the modality (figurative or verbal) of signals and the speed of their presentation. In 16-17 year old boys, the speed of performing the goL/no-go/goR task was higher for figurative than for verbal signals. For verbal signals, a statistically significant predominance of left-hemisphere functional asymmetry was found only at speeds of 30 and 60 signals/min, while for figurative signals such asymmetry of neural networks was absent. When the task speed was increased to 90 and 120 signals/min for figurative and verbal signals, the asymmetry of neural networks was also absent.

Conclusions. The study provides additional information regarding the asymmetry of neural networks underlying the processes of excitation and inhibition. The question of the participation of different information processing mechanisms in the go/no-go/go mode is discussed.

Keywords: asymmetry; go/no-go/go paradigm; reaction speed; signal modality.

Надійшла до редакції / Received: 12.03.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

УДК 616.34-008.6:612.39:613.2

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-55-69

Галина Володимирівна Лук'янцева

Національний університет фізичного виховання і спорту України

lukjantseva@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>**Вікторія Анатоліївна Пастухова**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Pastuhova_V@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X>**Анна Олександрівна Аншелес**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

anna.ansheles@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6266-4404>**Світлана Павлівна Краснова**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

S.Krasnova@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8592-5624>**Юлія Костянтинівна Хмельницька**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

juliyakhmel@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0231-1879>**Андрій Миколайович Скоробогатов**

Приватний заклад вищої освіти «Академія Добробут»

san_7373@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4368-0451>**Володимир Володимирович Сосновський**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

vsosnovskij099@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0838-8893>

ГЛЮТЕН-АСОЦІЙОВАНІ ПОРУШЕННЯ: МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНА ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ УЯВЛЕНЬ

Вступ. Глютен-асоційовані розлади набувають зростаючого наукового та клінічного значення у зв'язку з підвищенням їх поширеності та широким застосуванням безглютенових дієт поза межами чітко визначених медичних показань. До цієї групи належать целиакія, алергія на пшеницю та нецелиакійна чутливість до глютену, які, незважаючи на спільний дієтичний тригер, суттєво відрізняються за етіологією, патогенезом, імунними механізмами та клінічними проявами.

Мета. Узагальнити сучасні міждисциплінарні уявлення про біохімічні, імунологічні та клінічні аспекти глютен-асоційованих розладів, а також окреслити ключові проблеми їх діагностики та нутритивного менеджменту.

Основна частина. У даному нарративному огляді розглянуто основні структурно-функціональні характеристики глютену як комплексу проламінів і глютелінів, його резистентність до протеолітичного гідролізу, а також роль імуногенних пептидів у запуску патологічних реакцій. Детально проаналізовано патогенез целиакії як Т-клітинно-опосередкованого аутоімунного захворювання з вираженою асоціацією з HLA, а також механізми IgE-опосередкованої алергії на пшеницю та сучасну концепцію нецелиакійної чутливості до глютену відповідно до критеріїв Салерно. Особливу увагу приділено труднощам диференційної діагностики, метаболічним наслідкам глютен-асоційованих розладів і потенційним ризикам, пов'язаним із необґрунтованим дотриманням безглютенових дієт.

Висновки. *Глютен-асоційовані розлади є гетерогенною групою станів із різними імунопатогенетичними механізмами, що потребують стандартизованого діагностичного підходу та індивідуалізованих нутритивних стратегій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на ідентифікацію специфічних біомаркерів та уточнення довгострокових метаболічних наслідків глютен-обмежувальних дієт.*

Ключові слова: *глютен, целиакія, алергія на пшеницю, нецелиакійна чутливість до глютену, безглютенова дієта, травлення.*

Постановка проблеми. Проблематика глютен-асоційованих порушень набула значної актуальності у зв'язку зі зростанням їх поширеності та популяризацією безглютенових дієт поза межами медичних показань. З урахуванням даних про поширеність окремих форм глютен-асоційованих порушень у загальній популяції (целиакія ~1 %, нецелиакійна чутливість до глютену – до 6 %) [1, 2, 3], у низці робіт висловлюється припущення щодо потенційно подібного або дещо вищого рівня поширеності цих станів серед фізично активних осіб. Водночас такі оцінки мають переважно непрямий характер і не підтверджені великими епідеміологічними дослідженнями. Невчасна діагностика або відсутність адекватної корекції цих станів асоціюються з мальабсорбцією мікроелементів, хронічним енергетичним дефіцитом і зниженням фізичної працездатності. Водночас зростає поширеність безглютенових дієт серед осіб без підтверджених глютен-асоційованих розладів, що формує нові нутріціологічні ризики. Безпідставне виключення глютенвмісних продуктів може призводити до вторинних нутрієнтних дефіцитів, зокрема заліза, кальцію, вітамінів групи В і харчових волокон, до неадекватного енергозабезпечення та негативних змін фізичного й психоемоційного стану [4, 5, 6].

Попри зростання кількості досліджень, наукові уявлення щодо впливу глютен-асоційованих порушень залишаються фрагментарними. Більшість публікацій базується на загальнопопуляційних вибірках або зосереджена на целиакії, тоді як алергія на пшеницю та нецелиакійна чутливість до глютену вивчені значно меншою мірою. Наявні роботи сучасних науковців переважно акцентують увагу на поширеності самоініційованих безглютенових дієт, залишаючи поза фокусом метаболічні та функціональні наслідки тривалого обмеження глютену, а також питання оптимізації нутрієнтного балансу [1, 2, 4, 7, 8]. У вітчизняній науковій літературі ця проблема також висвітлена фрагментарно: переважають роботи, присвячені загальним аспектам глютену білків і харчових алергій, тоді як нецелиакійна чутливість до глютену та нутріціологічна підтримка залишаються практично невивченими, що обґрунтовує необхідність подальших комплексних досліджень.

Мета – узагальнити сучасні міждисциплінарні уявлення щодо біохімічних, імунологічних і клінічних аспектів глютен-асоційованих порушень, а також окреслити актуальні проблеми діагностики та нутріціологічної корекції.

Методи дослідження. У межах підготовки даного нарративного огляду було здійснено цілеспрямований пошук і відбір наукових джерел, присвячених глютен-асоційованим порушенням, їх патогенезу, клінічним проявам та нутріціологічним аспектам менеджменту. Пошук літератури проводився у провідних міжнародних наукометричних базах даних, зокрема PubMed, Scopus, Web of Science, а також у відкритих електронних ресурсах (Google Scholar). Часовий період охоплення джерел становив переважно останні 10–15 років (2010–2025 рр.), із включенням класичних фундаментальних праць, що мають визначальне значення для формування сучасних уявлень про проблему.

Пошук здійснювали із застосуванням комбінацій ключових слів англійською та українською мовами: “gluten-related disorders”, “celiac disease”, “non-celiac gluten sensitivity”, “wheat allergy”, “gluten metabolism”, “HLA-DQ2/DQ8”, “gluten-free diet”, «глютен-асоційовані порушення», «целиакія», «нецелиакійна чутливість до глютену», «алергія на пшеницю». До аналізу включали публікації англійською та українською мовами, що містили результати клінічних, експериментальних і оглядових досліджень, а також метааналізи та міжнародні консенсусні документи. Критеріями відбору були

наукова релевантність, методологічна якість і відповідність тематиці огляду. Загалом було проаналізовано понад 250 джерел, із яких до фінального списку включено 77 найбільш релевантних публікацій, що відображають сучасний стан проблеми. Слід зазначити, що, з огляду на нарративний характер огляду, дослідження не передбачало застосування формалізованих процедур систематичного відбору (PRISMA), однак було здійснено з дотриманням принципів репрезентативності та наукової обґрунтованості джерельної бази.

Основна частина. Біохімічні та патофізіологічні аспекти засвоєння глютену.

Целіакія є одним із найдавніше описаних захворювань травної системи, пов'язаних із непереносимістю білків злакових культур, насамперед глютену. Її виникнення пов'язують з переходом людства до землеробства в неоліті, коли пшениця стала базовим компонентом раціону. Перші описи глютенної ентеропатії належать Аретею з Каппадокії (II ст. н.е.), який охарактеризував *Morbus coeliacus* як хронічне захворювання з діареєю, метеоризмом і виснаженням [9]. Упродовж тривалого часу целіакію розглядали як неспецифічне порушення функції травного тракту. Лише наприкінці XIX ст. S. Gee систематизував її клінічні прояви у дітей та наголосив на значенні дієтотерапії.

Вирішальний внесок у встановлення ролі пшениці як етіологічного чинника зробив W. Dicke у середині XX ст., спостерігаючи покращення стану хворих у період дефіциту хлібопродуктів. Подальші дослідження дозволили описати характерні морфологічні зміни слизової оболонки тонкої кишки та запровадити біопсію як метод діагностики. Розвиток серологічних тестів і виявлення специфічних аутоантитіл наприкінці XX ст. суттєво розширили уявлення про поширеність целіакії, включно з її латентними та субклінічними формами [9]. Етіологію целіакії традиційно пов'язують з імунологічною непереносимістю глютену, однак наразі описано кілька форм глютен-асоційованих порушень, що не відповідають критеріям класичної целіакії.

Глютен є складним білковим комплексом, який формується в ендоспермі зернівки пшениці і споріднених злакових культур (жита, ячменю, тритикале) і з хімічного погляду являє собою суміш запасних білків — гліадинів і глютенінів. Після гідратації борошна ці білки формують еластичну матрицю, що визначає реологічні властивості тіста та його здатність утримувати газ [10, 11]. Білки глютену належать переважно до проламінового типу та характеризуються високим вмістом проліну й глутамінової кислоти (до 40 – 45 % амінокислотного складу) [10, 11, 12]. Відповідно до класифікації T.V. Osborne, пшеничні білки поділяють на альбуміни, глобуліни, проламіни та глютеліни, при цьому саме проламіни (гліадини) і глютеліни (глютеніни) формують глютен [12, 13].

Гліадини – це мономерні білки з молекулярною масою 28–55 кДа, що забезпечують в'язкість і розтяжність глютенного комплексу; їх поділяють на α -, β -, γ - та ω -фракції. Пролін-глутамінові ділянки гліадинів формують β -структури, зумовлюючи низьку розчинність білків і виступаючи основними антигенними детермінантами при целіакії; ключовим імуногенним фрагментом вважається 33-мерний пептид $\alpha 2$ -гліадину [14, 15].

Глютеніни представлені високомолекулярними полімерними білками (>100 кДа), що складаються з високо- та низькомолекулярних субодиниць (HMW-GS і LMW-GS), з'єднаних дисульфідними містками. Саме вони визначають еластичність і механічну міцність тіста завдяки формуванню тривимірної білкової сітки [10, 14 – 18].

Таким чином, глютен є гетерогенною системою гліадинів і глютенінів, співвідношення яких визначає технологічні властивості зернових продуктів. Водночас проламінові компоненти глютену демонструють високу резистентність до протеолітичного гідролізу в шлунково-кишковому тракті, що зумовлено високим вмістом проліну та глутаміну, дефіцитом незамінних амінокислот і здатністю до деамідування за участі тканинної трансглутамінази - центрального механізму патогенезу целіакії [10, 16, 17, 18, 19]. Ці молекулярні особливості визначають роль глютену не лише як харчового компонента, а й як тригера імунопатологічних реакцій у генетично схильних осіб.

Перетравлення глютенів білків в організмі людини є багаторівневим процесом, що включає послідовні стадії гідролізу за участі ферментів пептидного обміну [20, 21]. На відміну від більшості рослинних білків, гліадини та глютеніни характеризуються високим вмістом проліну й глютаміну, що зумовлює їх низьку чутливість до протеолітичної дії та значний патофізіологічний потенціал [22, 23]. Первинний гідроліз у шлунку здійснюється пепсином, який розщеплює пептидні зв'язки між ароматичними амінокислотами, однак пролін- і глютамін-збагачені ділянки гліадинів залишаються резистентними [21, 24]. Подальше перетравлення відбувається в дванадцятипалій кишці за участі панкреатичних протеаз - трипсину, хімотрипсину, еластази та карбоксипептидаз [20, 11, 19, 25]. Високий вміст пролінових залишків, а також стабільні β -спіральні й β -складчасті домени, укріплені водневими та дисульфідними зв'язками, обмежують доступ ферментів до пептидних зв'язків, що призводить до часткового гідролізу білка. Унаслідок цього в просвіті тонкої кишки накопичуються імуногенні пептиди довжиною 15-50 амінокислот, серед яких найбільш вивченим є 33-мерний фрагмент $\alpha 2$ -гліадину [22, 23, 26]. Остаточні етапи гідролізу здійснюються ферментами щіточкової облямівки ентероцитів, однак їх активність щодо пролін-вмісних пептидів є обмеженою [10, 24]. Частина глютенів фрагментів зберігає імуногенність, долає кишковий бар'єр і розпізнається антиген-презентувальними клітинами з експресією HLA-DQ2/DQ8, ініціюючи аутоімунний каскад [24, 25, 26, 27].

Резистентність цих пептидів до деградації зумовлена низькою каталітичною ефективністю серинових і металопротеаз щодо зв'язків за участі проліну, який створює конформаційні обмеження в поліпептидному ланцюгу [10, 27, 28]. Додатково імуногенність підсилюється деамідуванням глютамінових залишків під дією тканинної трансглютамінази, що підвищує афінність пептидів до HLA-DQ2/DQ8 і є ключовим механізмом патогенезу целиакії [27, 28]. Таким чином, поєднання резистентності до ферментативного гідролізу, стабільних β -структур і специфічних імуногенних мотивів визначає роль глютену як тригера запальних і аутоімунних реакцій у генетично схильних осіб. Водночас у здорових індивідуумів більшість глютенів пептидів елімінується без наслідків, що підкреслює роль інтактного кишкового бар'єру та механізмів імунної толерантності.

Глютен-асоційовані порушення: класифікація, патогенез, клінічні особливості.

Глютен-асоційовані порушення охоплюють широкий спектр патологій, пов'язаних із несприйняттям білкових компонентів злакових культур, насамперед пшениці. Різні форми глютен-індукованих розладів виявляють у приблизно 10 % населення. Целиакія, як найбільш досліджена та клінічно значуща форма цих порушень, реєструється у близько 1 % популяції.

До групи глютен-асоційованих порушень відносять три основні нозології: целиакію, алергію на пшеницю і нецелиакійну глютеніву чутливість. За останні два десятиліття у більшості країн світу відзначено значне зростання захворюваності на ці стани. Така динаміка обумовлюється низькою чинників, серед яких: трансформація харчової поведінки та характеру раціону, технологічні зміни у виробництві пшеничного борошна, вплив факторів навколишнього середовища, а також зростання рівня клінічної настороженості, доступність серологічного скринінгу та вдосконалення діагностичних критеріїв.

Целиакія (глютенчутлива ентеропатія, глютеніна недостатність, аутоімунна глютеніна ентеропатія) – це хронічне аутоімунне захворювання тонкої кишки, що розвивається у відповідь на надходження з харчовими продуктами глютену (переважно його проламінової фракції) у генетично схильних осіб. Патогенез пов'язаний з порушенням толерантності до глютенівмісних білків, що призводить до активації як вродженого, так і набутого імунітету з подальшим розвитком хронічного запалення слизової оболонки тонкої кишки та атрофією її ворсинок [29, 30]. Клінічно целиакія може проявлятися персистуючими діареями, здуттям живота, втратою маси тіла, а також позакишковими симптомами. Целиакія як імунозалежна ентеропатія визначається генетичною схильністю: понад 90 % хворих є носіями алелей HLA-DQ2 або HLA-DQ8, що кодують молекули головного комплексу

гістосумісності класу II. Роль епігенетичних і інших чинників також визнається важливою для реалізації імунної відповіді [31, 32].

Середня глобальна поширеність серопозитивності до целиакії становить близько 1,4 %, тоді як гістологічно підтверджений діагноз - приблизно 0,7 % [33]. Показники істотно варіюють між регіонами залежно від генетичних, соціально-економічних і діагностичних чинників. Найвищу серопозитивність відзначено в Азії (1,8 %) та Південній Америці (1,3 %), проте частота морфологічного підтвердження тут нижча (0,6 % і 0,4 %). [33]. Такий розрив між серологічними та гістологічними показниками може бути зумовлений низкою чинників, включаючи недиагностовані випадки, особливості чутливості та специфічності серологічних тестів, наявність серонегативних форм целиакії, а також різний рівень доступності ендоскопічної діагностики. У Європі та Австралії при серопозитивності 1,3 – 1,4 % гістологічно підтверджена целиакія сягає 0,8 %, імовірно завдяки кращій діагностиці. У Північній Америці ці показники становлять 1,4 % і 0,5 %, тоді як в Африці вони нижчі за середньосвітові. Отже, серопозитивність не завжди корелює з гістопідтвердженням і потребує інтерпретації з урахуванням епіконтексту та якості діагностики [33].

У структурі випадків целиакії все частіше домінують атипичні клінічні форми, зокрема субклінічні варіанти, при яких відсутні класичні симптоми мальабсорбції, а клінічна картина визначається позакишковими проявами [34, 35]. У таких пацієнтів відсутні класичні симптоми мальабсорбції (діарея, стеаторея, втрата маси тіла), а переважають позакишкові прояви: залізодефіцитна анемія, афтозний стоматит, герпетиформний дерматит, остеопенія або остеопороз, затримка росту та статевого дозрівання, безпліддя, ендокринопатії (зокрема цукровий діабет 1 типу) [35, 36, 37]. У зв'язку з цим, за відсутності типової клінічної картини та об'єктивних кишкових симптомів обстеження з приводу целиакії часто не проводиться. Отже, ключовим фактором покращення діагностики залишається підвищення обізнаності лікарів щодо різноманітності проявів захворювання, розширення скринінгових програм та проведення багатоцентрових епідеміологічних досліджень.

Провідну роль у реалізації генетичної схильності до целиакії відіграє система головного комплексу гістосумісності людини – HLA (Human Leukocyte Antigen) [31, 38], гени якої забезпечують розпізнавання та презентацію антигенів. Суперлокус HLA локалізований на короткому плечі хромосоми 6 (6p21) і охоплює близько 3,6 млн пар основ, включаючи шість генів трансплантаційної сумісності та понад 130 генів, залучених до регуляції імунної відповіді [31, 39, 40]. Ключове значення у патогенезі целиакії мають гени HLA-DQA1 та HLA-DQB1, що кодуєть молекули HLA-DQ2 і HLA-DQ8: приблизно 90% хворих мають HLA-DQ2, 5-8% – HLA-DQ8, ~2-3% серонегативної целиакії без цих гаплотипів [31, 32, 41]. Водночас наявність цих алелів не має самостійної діагностичної цінності, оскільки DQ2 виявляється у 25-30 % загальної популяції, тоді як клінічно маніфестна целиакія розвивається лише у 2-3 % носіїв [32, 41, 42]. Це свідчить про суттєву роль епігенетичних і середовищних чинників у реалізації захворювання. Молекули HLA-DQ2/DQ8, експресовані на антиген-презентувальних клітинах, мають спорідненість до деамідованих глютенівих пептидів та презентують їх CD4⁺ Т-клітинам lamina propria.

Ключову роль у реалізації патологічного каскаду при целиакії відіграє тканинна трансглутаминаза 2 типу (tTG2) – фермент, що каталізує деамідування глютенівих пептидів шляхом перетворення залишків глютаміну на глютамати [43, 44]. Унаслідок цієї модифікації зростає афінність пептидів до молекул HLA-DQ2/DQ8 та їхня імуногенність. Сформовані імунодомінантні комплекси активують CD4⁺ Т-лімфоцити lamina propria слизової оболонки тонкої кишки, що супроводжується секрецією прозапальних цитокінів (IFN- γ , TNF- α), індукцією аутоантитіл до tTG2 та апоптозом ентероцитів [40, 41].

Наявність HLA-генотипів DQ2 або DQ8 є необхідною, але недостатньою умовою розвитку целиакії: у загальній популяції ці гаплотипи виявляються у 30–40 % осіб, тоді як клінічна маніфестація захворювання спостерігається лише у 1-2 % носіїв. Це свідчить про вирішальну роль додаткових тригерів (інфекційних агентів, змін кишкової мікробіоти,

особливостей харчування в ранньому віці, хронічного стресу, нутритивних дефіцитів тощо) [31, 41, 42]. У цьому контексті HLA-типування має важливе діагностичне значення, особливо при атипових формах захворювання або сумнівних серологічних і гістологічних результатах, оскільки відсутність алелів DQ2/DQ8 практично виключає целиакію [32, 38, 41].

Патогенез целиакиї зумовлений адаптивною імунною відповіддю на пролін-глютамінвмісні пептиди гліадину, які проявляють резистентність до протеолізу [42, 43, 44]. У генетично схильних осіб їх деамідування під дією tTG2 підвищує спорідненість до HLA-DQ2/DQ8 і спричиняє активацію CD4⁺ Т-лімфоцитів [44, 45]. Це супроводжується секрецією прозапальних цитокінів (IFN- γ , TNF- α , IL-21), ушкодженням епітелію та продукцією аутоантитіл до tTG2, ендомізію й гліадину [46, 47, 48]. Імунна відповідь є антигенспецифічною, HLA-залежною та відповідає IV типу гіперчутливості [32, 49, 50].

Запалення локалізується у слизовій оболонці тонкої кишки, призводячи до атрофії ворсинок, порушення бар'єрної функції та мальабсорбції [49, 50, 51]. Ключовим механізмом прогресування є підвищення проникності епітелію через зонулін-залежну дестабілізацію міжклітинних контактів і транслокацію імуногенних пептидів у lamina propria [52 - 56]

Атрофія ворсинок є морфологічним проявом імунозалежного ушкодження ентероцитів і характерною ознакою целиакиї характерною ознакою целиакиї у контексті серопозитивності та клінічних симптомів [51, 56, 57]. У слизовій оболонці відзначається інфільтрація імунними клітинами та активація цитотоксичних CD8⁺ Т-лімфоцитів і природних кілерів, що спричиняє апоптоз ентероцитів, укорочення крипти і порушення проліферації епітелію [57, 58]. Ці зміни призводять до мальабсорбції з порушенням всмоктування білків, ліпідів, жиророзчинних вітамінів і мікроелементів. Ентероцити при цьому виступають не лише структурними, а й активними учасниками імунопатогенезу, а їх ушкодження визначає морфофункціональну основу та клінічні прояви захворювання.

Алергія на пшеницю: IgE-опосередковані реакції, відмінності від целиакиї. Алергія на пшеницю – це патологічний стан, зумовлений механізмами гіперчутливості негайного типу, в основі якого лежить активація гуморальної ланки імунітету за участю імуноглобулінів класу E (IgE) [59, 60]. Патологічна реакція виникає у генетично схильних осіб у відповідь на білкові компоненти пшениці – переважно альбуміни й глобуліни, рідше гліадини та глютеніни, які виконують роль харчових алергенів [60, 61].

Після первинного контакту з антигеном у сенсibilізованого індивіда формується IgE-залежна імунна відповідь, що супроводжується фіксацією специфічних IgE-антитіл на мембранах опасистих клітин (мастоцитів) і базофілів [59, 62, 63]. Повторне надходження білків пшениці призводить до дегрануляції цих клітин із вивільненням медіаторів – гістаміну, триптази, лейкотрієнів і прозапальних цитокінів, які обумовлюють розвиток клінічної симптоматики: шкірної (кропив'янка, ангіоневротичний набряк), респіраторної (бронхоспазм), гастроінтестинальної (абдомінальний біль, нудота, діарея) [59, 62]. У тяжких випадках можлива генералізована реакція за типом анафілаксії, включно з феноменом фізичного навантаження-індукованої анафілаксії, асоційованої з пшеницею [62, 64].

Імунологічні механізми алергії на пшеницю суттєво відрізняються від патогенезу целиакиї. У першому випадку ключову роль відіграє IgE-опосередкована гіперчутливість негайного типу, тоді як целиакія є Т-клітинно-опосередкованою аутоімунною патологією IV типу. Клінічний перебіг алергії характеризується гострим початком і появою симптомів протягом хвилин або годин після контакту з алергеном, тоді як целиакія розвивається поступово і має хронічний характер. Морфологічні зміни ентероцитів не є характерними для алергії на пшеницю, оскільки пошкодження зумовлене системною дією медіаторів алергії, а не безпосереднім ураженням ентероцитів або бар'єрної функції кишки.

Діагностика алергії на пшеницю ґрунтується на виявленні специфічних IgE-антитіл у сироватці крові або проведенні шкірних прік-тестів з екстрактами алергену. Діагностика целиакиї включає визначення аутоантитіл до тканинної трансглютамінази, ендомізію та гліадинових пептидів із подальшою морфологічною верифікацією за даними біопсії слизової

оболонки тонкої кишки. На відміну від целиакії, що потребує довічної безглютенової дієти, IgE-опосередкована алергія у дітей може з часом регресувати або бути контрольованою за допомогою алергенспецифічної імунотерапії [62, 64]. Таким чином, хоча алергія на пшеницю та целиакія пов'язані з непереносимістю білкових компонентів злакових культур, вони мають принципово відмінні патогенетичні механізми, імунологічну специфіку, клінічні прояви та лікувальні стратегії. Це зумовлює необхідність чіткої диференціальної діагностики та індивідуалізованого підходу в клінічній практиці.

Нецелиакійна чутливість до глютену. Поряд із класичною целиакією та алергією на пшеницю, наразі виокремлюють нецелиакійну чутливість до глютену (НЧдГ). У 2015 р. було запропоновано Салернські критерії (Salerno criteria), які на сьогодні розглядаються як найбільш структурований і широко використовуваний підхід до діагностики нецелиакійної чутливості до глютену, однак їх застосування не є універсальним, а діагностичні підходи до цього стану залишаються предметом подальших наукових дискусій [65]. На відміну від целиакії, НЧдГ не супроводжується типовими морфологічними змінами слизової оболонки кишки або серологічними маркерами, що тривалий час ускладнювало її ідентифікацію. Нечіткість нозологічної класифікації, відсутність специфічних біомаркерів і гетерогенність клінічних проявів ускладнюють диференційну діагностику НЧдГ.

Типовими симптомами є абдомінальний дискомфорт, здуття живота, нестійкі випорожнення, а також позакишкові прояви – головний біль, артралгії, астенія, когнітивна дисфункція тощо [66, 67]. На відміну від целиакії, слизова оболонка кишки зазвичай не зазнає атрофічних змін, а рівні аутоантитіл до тканинної трансглютамінази та ендомізію залишаються в межах контролю [68, 69, 70]. Водночас у частини пацієнтів виявляються антитіла до глютену класу IgG, що свідчить про залучення механізмів вродженого імунітету до патогенезу НЧдГ. Сучасні дослідження розширюють патофізіологічну концепцію НЧдГ, включаючи гіперчутливість до інших компонентів пшениці, зокрема інгібіторів амілази-трипсину (АТІ) та FODMAPs [71, 72, 73]. Ці сполуки здатні індукувати симптоми, подібні до синдрому подразненого кишечника, що зумовлює дискусію щодо доцільності терміна «глютенова чутливість», оскільки глютен може бути не єдиним патогенетичним чинником.

На тлі зростання популярності безглютенової дієти в загальній популяції спостерігається тенденція до самоініційованого обмеження глютенвмісних продуктів без попередньої діагностичної верифікації, що несе ризики нутрієнтного дефіциту, зниження якості життя та формування орторексичних розладів харчової поведінки [74, 75]. Водночас у частини осіб без целиакії або алергії фіксується реальна клінічна відповідь на виключення глютену з раціону, що свідчить про наявність об'єктивних біологічних механізмів, які потребують подальшого молекулярного підтвердження [67, 74, 75]. Попри відсутність консенсусу щодо етіології, чіткої класифікації та специфічних біомаркерів, нецелиакійна чутливість до глютену розглядається як клінічно значущий стан, що визнається у сучасній медичній практиці, хоча її статус як самостійної нозологічної одиниці залишається предметом наукових дискусій [67, 74, 76, 77].

Підсумовуючи, вважаємо за потрібне зазначити, що до глютен-асоційованих порушень належать три основні клінічні форми: целиакія, алергія на пшеницю та нецелиакійна чутливість до глютену. Незважаючи на відмінності в патогенезі, імунологічній відповіді та морфологічних характеристиках, прояви цих станів можуть частково перетинатися. Основні відмінності між трьома формами глютен-асоційованих порушень узагальнено у таблиці 1. Узагальнюючи наведені в таблиці 1 дані, слід підкреслити, що клінічні прояви та метаболічні наслідки трьох основних форм глютен-асоційованих розладів зумовлені принципово різними патогенетичними механізмами.

Целиакія характеризується найбільш вираженим системним впливом, з високим ризиком розвитку хронічного синдрому мальабсорбції, автоімунних уражень інших органів та вторинних дефіцитів. Алергія на пшеницю має переважно гострий перебіг, з можливими анафілактичними реакціями, але зазвичай не супроводжується тривалими метаболічними розладами. Нецелиакійна чутливість до глютену, незважаючи на відсутність структурних

пошкоджень слизової оболонки кишківника, залишається станом, що може значно впливати на якість життя. Однак цей феномен досі не має усталених біомаркерів, а патофізіологічні механізми та довгострокові наслідки НЧДГ потребують подальшого вивчення.

Таблиця 1.

Порівняння трьох форм глютен-асоційованих порушень

Критерій	Целиакія	Алергія на пшеницю	Нецелиакійна чутливість до глютену
Тип імунної реакції	Адаптивна, переважно CD4 ⁺ Т-клітинна, аутоімунна	IgE-опосередкована (негайна) або клітинна (уповільнена) гіперчутливість	Ймовірно, вроджений імунітет, без аутоантитіл
Імунний механізм	Аутоімунна відповідь (HLA-DQ2/DQ8, активація Т-клітин)	IgE-опосередкована або клітинна гіперчутливість	Імовірно вроджена імунна відповідь, без аутоантитіл
Патогенетична мішень	Ентероцити, кишкові ворсинки; тканинна трансглютаміназа	Мастоцити і базофіли в шкірі, дихальних шляхах і шлунково-кишковому тракті	Кишковий епітелій, мікробіота, рецептори вродженого імунітету (TLR), кишковий бар'єр
Серологічна діагностика	Позитивна	Негативна	Негативна або позитивні IgG до гліадину (не специфічні)
Клінічні симптоми	Хронічна діарея, втрата маси, здуття, біль, втома	Кропив'янка, бронхоспазм, нудота, анафілаксія, біль у животі	Здуття, біль у животі, зміни випорожнення, «мозковий туман», втома
Поява симптомів	Відстрочена (дні – тижні)	Гостра (хвилини – години)	Зазвичай через кілька годин – до доби
Метаболічні наслідки	Гіпопротеїнемія, дефіцит заліза, кальцію, віт. B12, D, остеопенія	Відсутні, якщо уникати тригерів	Можливий дефіцит мікронутрієнтів
Коморбідність (супутні стани)	Цукровий діабет 1 типу, тиреоїдит, аутоімунні гепатити	Інші алергії (астма, дерматит)	Можливий зв'язок із СПК, функціональними розладами
Підтвердження діагнозу	Серологія + біопсія	Шкірні проби, специфічні IgE, провокаційні тести	Виключення CD і WA, відповідь на БГД, провокація (Salerno criteria)
Толерантність в дитинстві	Відсутня	Може зникати з віком	Може змінюватися з віком або залежно від дози глютену
Лікування	Пожиттєва безглютенова дієта	Усунення пшениці, іноді елімінаційна дієта з антигістамінними засобами	Індивідуальне обмеження глютену, зазвичай тимчасове
Науковий статус	Добре вивчена, з чіткими критеріями,	Добре описана в контексті алергології	Клінічно визнана, але без специфічних маркерів та класифікації

Висновки

Глютен-асоційовані порушення є гетерогенною групою імунозалежних станів, що включають целиакію, алергію на пшеницю та нецелиакійну чутливість до глютену. За спільного тригера – білків глютенного комплексу – ці патології суттєво різняться за патогенетичними механізмами, імунологічним профілем і проявами. Зростання поширеності, наявність субклінічних форм і потенційні метаболічні наслідки зумовлюють актуальність комплексного глибокого вивчення глютен-чутливих станів.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому вивченні патофізіологічних механізмів глютен-асоційованих порушень, пошуку специфічних біомаркерів, стандартизації діагностичних підходів, а також оцінці довгострокових метаболічних наслідків обмежувальних дієт і оптимізації нутритивного менеджменту. Окрему наукову та практичну значущість має вивчення глютен-асоційованих порушень у популяціях із підвищеним рівнем фізичної активності, що зумовлено специфічними вимогами до нутритивного забезпечення, ризиком дефіцитних станів і впливом дієтичних обмежень на працездатність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Elli L, Branchi F, Tomba C, Villalta D, Norsa L, Ferretti F, Roncoroni L, Bardella MT. Diagnosis of gluten related disorders: Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *World J Gastroenterol*. 2015 Jun 21;21(23):7110-9. doi: [10.3748/wjg.v21.i23.7110](https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i23.7110).
2. Lebwohl B, Ludvigsson JF, Green PH. Celiac disease and non-celiac gluten sensitivity. *BMJ*. 2015 Oct 5;351:h4347. doi: [10.1136/bmj.h4347](https://doi.org/10.1136/bmj.h4347).
3. Igbinedion SO, Ansari J, Vasikaran A, Gavins FN, Jordan P, Boktor M, Alexander JS. Non-celiac gluten sensitivity: All wheat attack is not celiac. *World J Gastroenterol*. 2017 Oct 28;23(40):7201-7210. doi: [10.3748/wjg.v23.i40.7201](https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i40.7201).
4. D'Angelo S, Pompilio C. Gluten-free diets in athletes. *J Phys Educ Sport*. 2020;20(4):2330–2336.
5. Vici G, Belli L, Biondi M, Polzonetti V. Gluten-free diet and nutrient deficiencies: a review. *Clin Nutr*. 2016;35(6):1236–41.
6. Lis DM, Kings D, Larson-Meyer DE. Dietary practices adopted by track-and-field athletes: gluten-free, low FODMAP, vegetarian, and fasting. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2019;29(2):236–45.
7. Імас ЄВ, Свірін ЯР, Свірін ЮВ, Лук'янцева ГВ, Скоробогатов АМ, Олійник ТМ, Завальнюк ВЛ. Відмінні особливості раціонального харчування і нутритивної підтримки кіберспортсменів. *Вісник проблем біології та медицини*. 2024;1(172):37–44. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-37-44>.
8. De Borja C, Holtzman B, McCall LM, Carson TL, Moretti LJ, Farnsworth N. Specific dietary practices in female athletes and their association with positive screening for disordered eating. *J Eat Disord*. 2021;9(1):50.
9. Losowsky MS. A history of coeliac disease. *Dig Dis*. 2008;26(2):112–20.
10. Cebolla A, Moreno ML, Coto L, Sousa C. Gluten immunogenic peptides as standard for the evaluation of potential harmful prolamins in food and human specimen. *Nutrients*. 2018;10(12):1927.
11. Di Stasio L, Mamone G. Gluten proteins: beneficial factors and toxic triggers in human health. *Foods*. 2025;14(19):3403. <https://doi.org/10.3390/foods14193403>.
12. Urade R, Sato N, Sugiyama M. Gliadins from wheat grain: an overview, from primary structure to nanostructures of aggregates. *Biophys Rev*. 2018;10(2):435–443. <https://doi.org/10.1007/s12551-017-0367-2>
13. Welc-Stanowska R, Kłosok K, Nawrocka A. Insight into organization of gliadin and glutenin extracted from gluten modified by phenolic acids. *Molecules*. 2023;28(23):7790.
14. Goncharenko I, Pastukhova VA, Lukyantseva HV. Effectiveness of plant adaptogens in sports: bibliometric study and prospects for use. *Trad Integr Med*. 2024;9(4):433–41. <https://doi.org/10.18502/tim.v9i4.17477>
15. Шадчина ТМ, Кочмарський ВС, Правдзива ІВ, Василенко НВ, Хорошко НМ, Шевченко ТВ. Мінливість показників якості борошна генотипів пшениці м'якої озимої залежно від попередника. *Агробіологія*. 2024;2:134–43.
16. Wang Z, Li Y, Yang Y. New insight into the function of wheat glutenin proteins as investigated with two series of genetic mutants. *Sci Rep*. 2017;7:3428.
17. Rathan ND, Mahendru-Singh A, Govindan V, Ibba MI. Impact of high- and low-molecular-weight glutenins on the processing quality of biofortified wheat lines. *Front Sustain Food Syst*. 2020;4:583367.
18. Al-Khayri JM, Alshegaihi RM, Mahgoub EI, Mansour E, Atallah OO, Sattar MN. Association of high and low molecular weight glutenin subunits with gluten strength in tetraploid durum wheat. *Plants*. 2023;12(6):1416.
19. Mamone G, Di Stasio L, Vitale S, Picascia S, Gianfrani C. Analytical and functional approaches to assess the immunogenicity of gluten proteins. *Front Nutr*. 2023;9:1049623.
20. Лук'янцева ГВ. Фізіологія людини: навчальний посібник. 2-ге вид. Київ: Олімпійська література; 2017, 184 с.

21. Sanchiz A, San-Martín MI, Navasa N, Martínez-Blanco H, Ferrero MÁ, Rodríguez-Aparicio LB, et al. Microbial peptidases: key players in reducing gluten immunogenicity through peptide degradation. *Appl Sci*. 2025;15(14):8111. <https://doi.org/10.3390/app15148111>
22. Dodero VI, Herrera MG. Oligomerization of 33-mer gliadin peptides: supramolecular assemblies in celiac disease. *ChemMedChem*. 2025;20(6):e202400789. <https://doi.org/10.1002/cmdc.202400789>
23. Amundarain MJ, Herrera MG, Zamarreño F, Viso JF, Costabel MD, Dodero VI. Molecular mechanisms of 33-mer gliadin peptide oligomerisation. *Phys Chem Chem Phys*. 2019;21(40):22539–52.
24. Bascuñán KA, Araya M, Roncoroni L, Doneda L, Elli L. Dietary gluten as a conditioning factor of the gut microbiota in celiac disease. *Adv Nutr*. 2020;11(1):160–74.
25. Barone MV, Zimmer KP. Endocytosis and transcytosis of gliadin peptides. *Mol Cell Pediatr*. 2016;3:8.
26. Wei G, Helmerhorst EJ, Darwish G, Blumenkranz G, Schuppan D. Gluten degrading enzymes for treatment of celiac disease. *Nutrients*. 2020;12(7):2095. <https://doi.org/10.3390/nu12072095>.
27. Herrera MG, Dodero VI. Gliadin proteolytically resistant peptides: the interplay between structure and self-assembly in gluten-related disorders. *Biophys Rev*. 2021;13(6):1147–54.
28. Martucciello S, Sposito S, Esposito C, Paolella G, Caputo I. Interplay between type 2 transglutaminase (TG2), gliadin peptide 31–43 and anti-TG2 antibodies in celiac disease. *Int J Mol Sci*. 2020;21(10):3673.
29. McAllister BP, Williams E, Clarke K. A comprehensive review of celiac disease/gluten-sensitive enteropathies. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2019;57(2):226–43.
30. Kowalski MK, Domżał-Magrowska D, Małecka-Wojcieszko E. Celiac disease—narrative review on progress in celiac disease. *Foods*. 2025;14(6):959. <https://doi.org/10.3390/foods14060959>.
31. Некращук ОП, Кириченко ЛМ, Стойка ЯВ, Сухан ДС, Лисицька ЄВ, Лисенко НМ. Атипові прояви целиакії в носіїв мутантного гена HLA. *Вісн Вінниць нац мед ун-ту*. 2023;27(3):483–8.
32. Aboulaghra S, Piancatelli D, Taghzouti K, Balahbib A, Alshahrani MM, Al Awadh AA, et al. Meta-analysis and systematic review of HLA DQ2/DQ8 in adults with celiac disease. *Int J Mol Sci*. 2023;24(2):1188.
33. Singh P, Arora A, Strand TA. Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2018;16(6):823–36.e2.
34. Therrien A, Kelly CP, Silvester JA. Celiac disease: extraintestinal manifestations and associated conditions. *J Clin Gastroenterol*. 2020;54(1):8–21.
35. Laurikka P, Nurminen S, Kivelä L, Kurppa K. Extraintestinal manifestations of celiac disease: early detection for better long-term outcomes. *Nutrients*. 2018;10(8):1015. <https://doi.org/10.3390/nu10081015>.
36. Gujral N, Freeman HJ, Thomson AB. Celiac disease: prevalence, diagnosis, pathogenesis and treatment. *World J Gastroenterol*. 2012;18(42):6036–59.
37. Романюха В. Целиакія: нові можливості діагностики та менеджменту. *Medical Science of Ukraine*. 2024;20(2):143–51.
38. Sciurti M, Fornaroli F, Gaiani F, Bonaguri C, Leandro G, Di Mario F, et al. Genetic susceptibility and celiac disease: what role do HLA haplotypes play? *Acta Biomed*. 2018;89(9-S):17–21.
39. Shiina T, Hosomichi K, Inoko H. The HLA genomic loci map: expression, interaction, diversity and disease. *J Hum Genet*. 2009;54:15–39.
40. Medhasi S, Chantratita N. Human leukocyte antigen (HLA) system: genetics and association with bacterial and viral infections. *J Immunol Res*. 2022;22:9710376.
41. Cenit MC, Olivares M, Codoñer-Franch P, Sanz Y. Intestinal microbiota and celiac disease: cause, consequence or co-evolution? *Nutrients*. 2015;7(8):6900–6923. <https://doi.org/10.3390/nu7085314>.
42. Olshan KL, Leonard MM, Serena G, Zomorodi AR, Fasano A. Gut microbiota in celiac disease: microbes, metabolites, pathways and therapeutics. *Expert Rev Clin Immunol*. 2020;16(11):1075–92.
43. Sollid LM, Jabri B. Celiac disease and transglutaminase 2: a model for posttranslational modification of antigens and HLA association in the pathogenesis of autoimmune disorders. *Curr Opin Immunol*. 2011;23(6):732–8.
44. Lexhaller B, Ludwig C, Scherf KA. Identification of isopeptides between human tissue transglutaminase and wheat, rye, and barley gluten peptides. *Sci Rep*. 2020;10:7426.
45. Amundsen SF, Stamnaes J, du Pré MF, Sollid LM. Transglutaminase 2 affinity and enzyme-substrate intermediate stability as determining factors for T-cell responses to gluten peptides in celiac disease. *Eur J Immunol*. 2022;52(9):1474–1481.
46. Mazzarella G. Effector and suppressor T cells in celiac disease. *World J Gastroenterol*. 2015;21(24):7349–56. <https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i24.7349>.
47. Voisine J, Abadie V. Interplay between gluten, HLA, innate and adaptive immunity orchestrates the development of coeliac disease. *Front Immunol*. 2021;12:674313.
48. Maglio M, Troncone R. Intestinal anti-tissue transglutaminase 2 autoantibodies: pathogenic and clinical implications for celiac disease. *Front Nutr*. 2020;7:73. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00073>.
49. Christophersen A, Dahal-Koirala S, Chlubnová M, Jahnsen J, Lundin KE, et al. Phenotype-based isolation of antigen-specific CD4+ T cells in autoimmunity: a study of celiac disease. *Adv Sci*. 2022;9(10):e2104766.
50. Iversen R, Sollid LM. The immunobiology and pathogenesis of celiac disease. *Annu Rev Pathol*. 2023;18:47–70.

51. Caio G, Volta U, Sapone A. Celiac disease: a comprehensive current review. *BMC Med.* 2019;17:142. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>
52. Moonwiriyaikit A, Pathomthongtawechai N, Steinhagen PR, Chantawichitwong P, Satianrapapong W, Pongkorpsakol P. Tight junctions: from molecules to gastrointestinal diseases. *Tissue Barriers.* 2023;11(2):2077620.
53. Kaminsky LW, Al-Sadi R, Ma TY. IL-1 β and the intestinal epithelial tight junction barrier. *Front Immunol.* 2021;12:767456.
54. Arumugam P, Saha K, Nighot P. Intestinal epithelial tight junction barrier regulation by novel pathways. *Inflamm Bowel Dis.* 2025;31(1):259–71.
55. Fasano A. Intestinal permeability and its regulation by zonulin: diagnostic and therapeutic implications. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2012;10(10):1096–1100.
56. DaFonte TM, Valitutti F, Kenyon V, Locascio JJ, Montuori M, Francavilla R, et al. Zonulin as a biomarker for the development of celiac disease. *Pediatrics.* 2024;153(1):e2023063050.
57. Rashtak S, Murray JA. Review article: coeliac disease, new approaches to therapy. *Aliment Pharmacol Ther.* 2012;35(7):768–81.
58. Lindfors K, Ciacci C, Kurppa K, Lundin KE, Makharia GK, Mearin ML, et al. Coeliac disease. *Nat Rev Dis Primers.* 2019;5(1):3.
59. Srisuwatchari W, Kanchanapoomi K, Pacharn P. Molecular diagnosis to IgE-mediated wheat allergy and wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2025;68(1):47-52.
60. Jin Y, Acharya HG, Acharya D. Advances in molecular mechanisms of wheat allergenicity in animal models: a comprehensive review. *Molecules.* 2019;24(6):e1142. <https://doi.org/10.3390/molecules24061142>.
61. Taraghikhah N, Ashtari S, Asri N, Shahbazkhani B, Al-Dulaimi D, Rostami-Nejad M, et al. An updated overview of spectrum of gluten-related disorders: clinical and diagnostic aspects. *BMC Gastroenterol.* 2020;20(1):258–70.
62. Sicherer SH, Sampson HA. Food allergy: epidemiology, pathogenesis, diagnosis, and treatment. *J Allergy Clin Immunol.* 2014 Feb;133(2):291-307. doi:[10.1016/j.jaci.2013.11.020](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.11.020).
63. Drozdovska SB, Babak SV, Luk'iantseva HV, Il'in VM, Skorobohatov AM, Dubynska SM, et al. Rol mastotsytiv u pidtrymtsi homeostazu slyzovoi obolonky товстої кишкы. *Visn Probl Biol Med.* 2024;1(172):12-20. doi:[10.29254/2077-4214-2024-1-172-12-20](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-12-20)
64. Keet CA, Matsui EC, Dhillon G, Lenehan P, Paterakis M, Wood RA. The natural history of wheat allergy. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2009 May;102(5):410-5. doi:[10.1016/S1081-1206\(10\)60513-3](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60513-3).
65. Catassi C, Elli L, Bonaz B, Bouma G, Carroccio A, Castillejo G, et al. Diagnosis of non-celiac gluten sensitivity: the Salerno experts' criteria. *Nutrients.* 2015;7(6):4966–4977.
66. Expósito Miranda M, García-Valdés L, Espigares-Rodríguez E, Leno-Durán E, Requena P. Non-celiac gluten sensitivity: clinical presentation, etiology and diff diagnosis. *Gastroenterol Hepatol.* 2023;46(7):562–71.
67. Manza F, Lungaro L, Costanzini A, Caputo F, Carroccio A, Mansueto P, et al. Non-celiac gluten/wheat sensitivity—state of the art: a five-year narrative review. *Nutrients.* 2025;17(2):220.
68. Infantino M, Meacci F, Grossi V, Macchia D, Manfredi M. Anti-gliadin antibodies in non-celiac gluten sensitivity. *Minerva Gastroenterol Dietol.* 2017;63(1):1–4.
69. Rostami K, Ensari A, Marsh MN, Srivastava A, Villanacci V, Carroccio A, et al. Gluten induces subtle histological changes in duodenal mucosa of patients with non-coeliac gluten sensitivity: a multicentre study. *Nutrients.* 2022;14(12):2487. <https://doi.org/10.3390/nu14122487>.
70. Volta U, Caio G, De Giorgio R, Henriksen C, Skodje G, Lundin KE. Non-celiac gluten sensitivity: a work-in-progress entity in the spectrum of wheat-related disorders. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 2015;29(3):477–91.
71. An C, Yang J, Pinto-Sanchez MI, Verdu EF, Lebwohl B, Green PH, et al. Molecular triggers of non-celiac wheat sensitivity: a scoping review and analysis. *Am J Gastroenterol.* 2025;120(9):1998–2008.
72. Geisslitz S, Weegels P, Shewry P, Zevallos V, Masci S, Sorrells M, et al. Wheat amylase/trypsin inhibitors (ATIs): occurrence, function and health aspects. *Eur J Nutr.* 2022;61(6):2873–2880.
73. Fernandes Dias LBA, Kobus RA, Bagolin do Nascimento A. Effectiveness of the low-FODMAP diet in improving non-celiac gluten sensitivity: a systematic review. *Br J Nutr.* 2023;129(12):2067–2075.
74. Лук'янцева ГВ, Олійник ТМ, Киричек ПВ, Моторна НВ, Луць ЮП. Сучасний погляд на регуляторні механізми моторної функції товстої кишки. *Вісник проблем біології та медицини.* 2021;4(162):40–46. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2021-4-162-40-46>.
75. Sergi C, Villanacci V, Carroccio A. Non-celiac wheat sensitivity: rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease. *BMC Gastroenterol.* 2021;21(1):5–11.
76. Лук'янцева ГВ, Ільїн ВМ, Дроздовська СБ, Гончаренко ІВ, Пастухова ВА. Особливості нейрогуморальної регуляції скоротливої активності гладком'язової тканини товстої кишки. *Вісник Черкаського університету, серія Біологія.* 2024;2:69–82. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-69-82>.
77. Ierardi E, Losurdo G, Piscitelli D, Giorgio F, Amoroso A, Iannone A, et al. Biological markers for non-celiac gluten sensitivity: a question awaiting for a convincing answer. *Gastroenterol Hepatol Bed Bench.* 2018;11(3):203–8.

REFERENCES

1. Elli, L., Branchi, F., Tomba, C., Villalta, D., Norsa, L., Ferretti, F., Roncoroni, L., & Bardella, M. T. (2015). Diagnosis of gluten related disorders: Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *World Journal of Gastroenterology*, 21(23), 7110–7119. <https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i23.7110>
2. Lebwohl, B., Ludvigsson, J. F., & Green, P. H. R. (2015). Celiac disease and non-celiac gluten sensitivity. *BMJ*, 351, h4347. <https://doi.org/10.1136/bmj.h4347>
3. Igbinedion, S. O., Ansari, J., Vasikaran, A., Gavins, F. N., Jordan, P., Boktor, M., & Alexander, J. S. (2017). Non-celiac gluten sensitivity: All wheat attack is not celiac. *World Journal of Gastroenterology*, 23(40), 7201–7210. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i40.7201>.
4. D'Angelo, S., & Pompilio, C. (2020). Gluten-free diets in athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(4), 2330–2336.
5. Vici, G., Belli, L., Biondi, M., & Polzonetti, V. (2016). Gluten-free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clinical Nutrition*, 35(6), 1236–1241.
6. Lis, D. M., Kings, D., & Larson-Meyer, D. E. (2019). Dietary practices adopted by track-and-field athletes: Gluten-free, low FODMAP, vegetarian, and fasting. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(2), 236–245. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0309>.
7. Imas, Y. V., Svirin, Y. R., Svirin, Y. V., Lukyantseva, H. V., Skorobohatov, A. M., Oliynyk, T. M., & Zavalniuk, V. L. (2024). Vidminni osoblyvosti ratsionalnoho kharchuvannia i nutrytyvnoi pidtrymky kibersportsmeniv. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*, 1(172), 37–44. DOI 10.29254/2077-4214-2024-1-172-37-44.
8. De Borja, C., Holtzman, B., McCall, L. M., Carson, T. L., Moretti, L. J., & Farnsworth, N. (2021). Specific dietary practices in female athletes and their association with positive screening for eating. *J Eat Dis*, 9(1), 50.
9. Losowsky, M. S. (2008). A history of coeliac disease. *Digestive Diseases*, 26(2), 112–120. <https://doi.org/10.1159/000116768>
10. Cebolla, Á., Moreno, M. L., Coto, L., & Sousa, C. (2018). Gluten immunogenic peptides as standard for the evaluation of potential harmful prolamins in food and human specimen. *Nutrients*, 10(12).
11. Di Stasio, L., & Mamone, G. (2025). Gluten proteins: Beneficial factors and toxic triggers in human health. *Foods*, 14(19), 3403. <https://doi.org/10.3390/foods14193403>.
12. Urade, R., Sato, N., & Sugiyama, M. (2018). Gliadins from wheat grain: An overview, from primary structure to nanostructures of aggregates. *Biophysical Reviews*, 10(2), 435–443.
13. Welc-Stanowska, R., Klosok, K., & Nawrocka, A. (2023). Insight into organization of gliadin and glutenin extracted from gluten modified by phenolic acids. *Molecules*, 28(23), 7790.
14. Goncharenko, I., Pastukhova, V. A., & Lukyantseva, H. V. (2024). Effectiveness of plant adaptogens in sports: Bibliometric study and prospects for use. *Traditional and Integrative Medicine*, 9(4), 433–441. <https://doi.org/10.18502/tim.v9i4.17477>.
15. Shadchyna, T. M., Kochmarskyi, V. S., Pravdziva, I. V., Vasylenko, N. V., Khoroshko, N. M., & Shevchenko, T. V. (2024). Minlyvist pokaznykiv yakosti boroshna henotypiv pshenytsi miakoi ozymoi zalezno vid poperednyka. *Ahrobiolohiia*, 2, 134–143. (in Ukrainian).
16. Wang, Z., Li, Y., & Yang, Y. (2017). New insight into the function of wheat glutenin proteins as investigated with two series of genetic mutants. *Scientific Reports*, 7, 3428.
17. Rathan, N. D., Mahendru-Singh, A., Govindan, V., & Ibba, M. I. (2020). Impact of high- and low-molecular-weight glutenins on the processing quality of a set of biofortified common wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 583367. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.583367>.
18. Al-Khayri, J. M., Alshagaihi, R. M., Mahgoub, E. I., Mansour, E., Atallah, O. O., & Sattar, M. N. (2023). Association of high and low molecular weight glutenin subunits with gluten strength in tetraploid durum wheat (*Triticum turgidum* spp. durum L.). *Plants*, 12(6), 1416. <https://doi.org/10.3390/plants12061416>.
19. Mamone, G., Di Stasio, L., Vitale, S., Picascia, S., & Gianfrani, C. (2023). Analytical and functional approaches to assess the immunogenicity of gluten proteins. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1049623.
20. Lukyantseva, H. V. (2017). Fiziolohiia liudyny (navchalnyi posibnyk), 2-he vyd., bez zmin, 184 s. Olimpiiska literatura. (in Ukrainian).
21. Sanchiz, A., San-Martín, M. I., Navasa, N., Martínez-Blanco, H., Ferrero, M. Á., Rodríguez-Aparicio, L. B., et al. (2025). Microbial peptidases: Key players in reducing gluten immunogenicity through peptide degradation. *Applied Sciences*, 15(14), 8111. <https://doi.org/10.3390/app15148111>.
22. Doderó, V. I., & Herrera, M. G. (2025). Oligomerization of 33-mer gliadin peptides: Supramolecular assemblies in celiac disease. *ChemMedChem*, 20(6), e202400789. <https://doi.org/10.1002/cmdc.202400789>.
23. Amundarain, M. J., Herrera, M. G., Zamarreño, F., Viso, J. F., Costabel, M. D., & Doderó, V. I. (2019). Molecular mechanisms of 33-mer gliadin peptide oligomerisation. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(40), 22539–22552. <https://doi.org/10.1039/c9cp02338k>.
24. Bascuñán, K. A., Araya, M., Roncoroni, L., Doneda, L., & Elli, L. (2020). Dietary gluten as a conditioning factor of the gut microbiota in celiac disease. *Advances in Nutrition*, 11(1), 160–174.
25. Barone, M. V., & Zimmer, K. P. (2016). Endocytosis and transcytosis of gliadin peptides. *Molecular and Cellular Pediatrics*, 3, 8. <https://doi.org/10.1186/s40348-015-0029-z>.

26. Wei, G., Helmerhorst, E. J., Darwish, G., Blumenkranz, G., & Schuppan, D. (2020). Gluten degrading enzymes for treatment of celiac disease. *Nutrients*, 12(7), 2095. <https://doi.org/10.3390/nu12072095>.
27. Herrera, M. G., & Dodero, V. I. (2021). Gliadin proteolytically resistant peptides: The interplay between structure and self-assembly in gluten-related disorders. *Biophysical Reviews*, 13(6), 1147–1154.
28. Martucciello, S., Sposito, S., Esposito, C., Paoletta, G., & Caputo, I. (2020). Interplay between type 2 transglutaminase (TG2), gliadin peptide 31–43 and anti-TG2 antibodies in celiac disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3673.
29. McAllister, B. P., Williams, E., & Clarke, K. (2019). A comprehensive review of celiac disease/gluten-sensitive enteropathies. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 57(2), 226–243.
30. Kowalski, M. K., Domżał-Magrowska, D., & Małecka-Wojcieszko, E. (2025). Celiac disease—Narrative review on progress in celiac disease. *Foods*, 14(6), 959. <https://doi.org/10.3390/foods14060959>.
31. Nekrashchuk, O. P., Kyrychenko, L. M., Stoika, Y. V., Sukhan, D. S., Lysytska, Y. V., & Lysenko, N. M. (2023). Atypovi proiavy tseliakii v nosiiv mutantnoho hena HLA. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho medychnoho universytetu*, 27(3), 483–488. (in Ukrainian).
32. Aboulaghras, S., Piancatelli, D., Taghzouti, K., Balahbib, A., Alshahrani, M. M., Al Awadh, A. A., et al. (2023). Meta-analysis and systematic review of HLA DQ2/DQ8 in adults with celiac disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1188.
33. Singh, P., Arora, A., & Strand, T. A. (2018). Global prevalence of celiac disease: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 16(6), 823–836.e2.
34. Therrien, A., Kelly, C. P., & Silvester, J. A. (2020). Celiac disease: Extraintestinal manifestations and associated conditions. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 54(1), 8–21.
35. Laurikka, P., Nurminen, S., Kivelä, L., & Kurppa, K. (2018). Extraintestinal manifestations of celiac disease: Early detection for better long-term outcomes. *Nutrients*, 10(8), 1015. <https://doi.org/10.3390/nu10081015>.
36. Gujral, N., Freeman, H. J., & Thomson, A. B. (2012). Celiac disease: Prevalence, diagnosis, pathogenesis and treatment. *World Journal of Gastroenterology*, 18(42), 6036–6059.
37. Romanukha, V. (2024). Celiac disease: New possibilities for diagnosis and management. *Medical Science of Ukraine*, 20(2), 143–151.
38. Sciurti, M., Fornaroli, F., Gaiani, F., Bonaguri, C., Leandro, G., Di Mario, F., et al. (2018). Genetic susceptibility and celiac disease: What role do HLA haplotypes play? *Acta Bio Medica*, 89(9-S), 17–21.
39. Shiina, T., Hosomichi, K., & Inoko, H. (2009). The HLA genomic loci map: Expression, interaction, diversity and disease. *Journal of Human Genetics*, 54, 15–39.
40. Medhasi, S., & Chantratita, N. (2022). Human leukocyte antigen (HLA) system: Genetics and association with bacterial and viral infections. *Journal of Immunology Research*, 2022, 9710376.
41. Cenit, M. C., Olivares, M., Codoñer-Franch, P., & Sanz, Y. (2015). Intestinal microbiota and celiac disease: Cause, consequence or co-evolution? *Nutrients*, 7(8), 6900–6923. <https://doi.org/10.3390/nu7085314>.
42. Olshan, K. L., Leonard, M. M., Serena, G., Zomorodi, A. R., & Fasano, A. (2020). Gut microbiota in celiac disease: Microbes, metabolites, pathways and therapeutics. *Expert Review of Clin Immunol*, 16(11), 1075–1092.
43. Sollid, L. M., & Jabri, B. (2011). Celiac disease and transglutaminase 2: A model for posttranslational modification of antigens and HLA association in the pathogenesis of disorders. *Cur Opin Immunol*, 23(6), 732–738.
44. Lexhaller, B., Ludwig, C., & Scherf, K. A. (2020). Identification of isopeptides between human tissue transglutaminase and wheat, rye, and barley gluten peptides. *Scientific Reports*, 10, 7426.
45. Amundsen, S. F., Stamnaes, J., du Pré, M. F., & Sollid, L. M. (2022). Transglutaminase 2 affinity and enzyme-substrate intermediate stability as determining factors for T-cell responses to gluten peptides in celiac disease. *European Journal of Immunology*, 52(9), 1474–1481.
46. Mazzarella, G. (2015). Effector and suppressor T cells in celiac disease. *World Journal of Gastroenterology*, 21(24), 7349–7356. <https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i24.7349>.
47. Voisine, J., & Abadie, V. (2021). Interplay between gluten, HLA, innate and adaptive immunity orchestrates the development of coeliac disease. *Frontiers in Immunology*, 12, 674313.
48. Maglio, M., & Troncone, R. (2020). Intestinal anti-tissue transglutaminase 2 autoantibodies: Pathogenic and clinical implications for celiac disease. *Frontiers in Nutrition*, 7, 73. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00073>.
49. Christophersen, A., Dahal-Koirala, S., Chlubnová, M., Jahnsen, J., Lundin, K. E., et al. (2022). Phenotype-based isolation of antigen-specific CD4+ T cells in autoimmunity. *Advanced Science*, 9(10), e2104766.
50. Iversen, R., & Sollid, L. M. (2023). The immunobiology and pathogenesis of celiac disease. *Annual Review of Pathology*, 18, 47–70.
51. Caio, G., Volta, U., & Sapone, A. (2019). Celiac disease: A comprehensive current review. *BMC Medicine*, 17, 142. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>.
52. Moonwiriyaakit, A., Pathomthongtawechai, N., Steinhagen, P. R., Chantawichitwong, P., Satiarnrapapong, W., & Pongkorpsakol, P. (2023). Tight junctions: From molecules to diseases. *Tiss Barriers*, 11(2), 2077620.
53. Kaminsky, L. W., Al-Sadi, R., & Ma, T. Y. (2021). IL-1 β and the intestinal epithelial tight junction barrier. *Frontiers in Immunology*, 12, 767456.

54. Arumugam, P., Saha, K., & Nighot, P. (2025). Intestinal epithelial tight junction barrier regulation by novel pathways. *Inflammatory Bowel Diseases*, 31(1), 259–271.
55. Fasano, A. (2012). Intestinal permeability and its regulation by zonulin: Diagnostic and therapeutic implications. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 10(10), 1096–1100.
56. DaFonte, T. M., Valitutti, F., Kenyon, V., Locascio, J. J., Montuori, M., Francavilla, R., et al. (2024). Zonulin as a biomarker for the development of celiac disease. *Pediatrics*, 153(1), e2023063050.
57. Rashtak, S., & Murray, J. A. (2012). Review article: Coeliac disease, new approaches to therapy. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 35(7), 768–781.
58. Lindfors, K., Ciacci, C., Kurppa, K., Lundin, K. E., Makharia, G. K., Mearin, M. L., et al. (2019). Coeliac disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 3.
59. Srisuwatchari, W., Kanchanapoomi, K., & Pacharn, P. (2025). Molecular diagnosis to IgE-mediated wheat allergy and wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 68(1), 47.
60. Jin, Y., Acharya, H. G., & Acharya, D. (2019). Advances in molecular mechanisms of wheat allergenicity in animal models: A comprehensive review. *Molecules*, 24(6), e1142. <https://doi.org/10.3390/molecules24061142>.
61. Taraghikhah, N., Ashtari, S., Asri, N., Shahbazkhani, B., Al-Dulaimi, D., Rostami-Nejad, M., et al. (2020). An updated overview of spectrum of gluten-related disorders. *BMC Gastroenterology*, 20(1), 258–270.
62. Sicherer, S. H., & Sampson, H. A. (2014). Food allergy: Epidemiology, pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 133(2), 291–307. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.11.020>.
63. Drozdovska, S. B., Babak, S. V., Luk'iantseva, H. V., Il'in, V. M., Skorobohatov, A. M., Dubynska, S. M., et al. (2024). Rol mastotsytiv u pidtrymtsi homeostazu slyzovoi obolonky tovstoi kyshky. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*, 1(172), 12–20. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-12-20> (in Ukrainian)
64. Keet, C. A., Matsui, E. C., Dhillon, G., Lenehan, P., Paterakis, M., & Wood, R. A. (2009). The natural history of wheat allergy. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 102(5), 410–415. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)60513-3](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60513-3).
65. Catassi, C., Elli, L., Bonaz, B., Bouma, G., Carroccio, A., Castillejo, G., et al. (2015). Diagnosis of non-celiac gluten sensitivity: The Salerno experts' criteria. *Nutrients*, 7(6), 4966–4977.
66. Expósito Miranda, M., García-Valdés, L., Espigares-Rodríguez, E., Leno-Durán, E., & Requena, P. (2023). Non-celiac gluten sensitivity: Clinical presentation, etiology and differential diagnosis. *Gastroenterología y Hepatología*, 46(7), 562–571.
67. Manza, F., Lungaro, L., Costanzini, A., Caputo, F., Carroccio, A., & Mansueto, P., et al. (2025). Non-celiac gluten/wheat sensitivity—State of the art: A five-year narrative review. *Nutrients*, 17(2), 220.
68. Infantino, M., Meacci, F., Grossi, V., Macchia, D., & Manfredi, M. (2017). Anti-gliadin antibodies in non-celiac gluten sensitivity. *Minerva Gastroenterologica e Dietologica*, 63(1), 1–4.
69. Rostami, K., Ensari, A., Marsh, M. N., Srivastava, A., Villanacci, V., & Carroccio, A., et al. (2022). Gluten induces subtle histological changes in duodenal mucosa of patients with non-coeliac gluten sensitivity: A multicentre study. *Nutrients*, 14(12), 2487. <https://doi.org/10.3390/nu14122487>.
70. Volta, U., Caio, G., De Giorgio, R., Henriksen, C., Skodje, G., & Lundin, K. E. (2015). Non-celiac gluten sensitivity: A work-in-progress entity in the spectrum of wheat-related disorders. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 29(3), 477–491.
71. An, C., Yang, J., Pinto-Sanchez, M. I., Verdu, E. F., Lebwohl, B., & Green, P. H., et al. (2025). Molecular triggers of non-celiac wheat sensitivity: A scoping review and analysis. *The American Journal of Gastroenterology*, 120(9), 1998–2008.
72. Geisslitz, S., Weegels, P., Shewry, P., Zevallos, V., Masci, S., & Sorrells, M., et al. (2022). Wheat amylase/trypsin inhibitors (ATIs): Occurrence, function and health aspects. *European Journal of Nutrition*, 61(6), 2873–2880. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02841-y>.
73. Fernandes Dias, L. B. A., Kobus, R. A., & Bagolin do Nascimento, A. (2023). Effectiveness of the low-FODMAP diet in improving non-celiac gluten sensitivity: A systematic review. *British Journal of Nutrition*, 129(12), 2067–2075. <https://doi.org/10.1017/S0007114522002884>.
74. Lukyantseva, H. V., Oliinyk, T. M., Kyrychek, P. V., Motorna, N. V., & Luts, Y. P. (2021). Suchasnyi pohliad na rehuliatorni mekhanizmy motornoi funktsii tovstoi kyshky. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*, 4(162), 40–46. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2021-4-162-40-46>.
75. Sergi, C., Villanacci, V., & Carroccio, A. (2021). Non-celiac wheat sensitivity: Rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease. *BMC Gastroenterology*, 21(1), 5–11.
76. Lukyantseva, H. V., Il'in, V. M., Drozdovska, S. B., Honcharenko, I. V., & Pastukhova, V. A. (2024). Osoblyvosti neuro-humoralnoi rehuliatitsii skorotlyvoi aktyvnosti hladkomiazovoi tkanyny tovstoi kyshky. *Visnyk Cherkaskoho universytetu*, 2, 69–82. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-69-82> (in Ukrainian).
77. Ierardi, E., Losurdo, G., Piscitelli, D., Giorgio, F., Amoroso, A., & Iannone, A., et al. (2018). Biological markers for non-celiac gluten sensitivity: A question awaiting for a convincing answer. *Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench*, 11(3), 203–208.

Lukyantseva H. V., Pastukhova V. A., Ansheles A. O., Krasnova S. P., Khmelnytska Yu. K., Skorobogatov A. M., Sosnovsky V. V.

GLUTEN-RELATED DISORDERS: A MULTIDISCIPLINARY INTEGRATION OF CURRENT CONCEPTS

Introduction. *Gluten-related disorders are gaining increasing scientific and clinical relevance due to their rising prevalence and the widespread adoption of gluten-free diets beyond clearly defined medical indications. This group includes celiac disease, wheat allergy, and non-celiac gluten sensitivity, which, despite sharing a common dietary trigger, differ substantially in etiology, pathogenesis, immune mechanisms, and clinical manifestations.*

Goal. *To summarize current interdisciplinary perspectives on the biochemical, immunological, and clinical aspects of gluten-related disorders, and to outline key challenges in diagnosis and nutritional management.*

Main part. *This narrative review examines the principal structural and functional characteristics of gluten as a complex of prolamins and glutelins, its resistance to proteolytic hydrolysis, and the role of immunogenic peptides in triggering pathological responses. The pathogenesis of celiac disease is analyzed in detail as a T-cell-mediated autoimmune disorder with a strong HLA association, alongside the mechanisms of IgE-mediated wheat allergy and the contemporary concept of non-celiac gluten sensitivity in accordance with the Salerno criteria. Particular attention is given to differential diagnostic challenges, metabolic consequences of gluten-related disorders, and the potential risks associated with unjustified adherence to gluten-free diets.*

Conclusions. *Gluten-related disorders constitute a heterogeneous group of conditions with distinct immunopathogenetic mechanisms that require a standardized diagnostic approach and individualized nutritional strategies. Future research should focus on identifying specific biomarkers and clarifying the long-term metabolic consequences of gluten-restricted diets.*

Keywords: *gluten, celiac disease, wheat allergy, non-celiac gluten sensitivity, gluten-free diet, digestion.*

Надійшла до редакції / Received: 28.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

Юрій Олексійович Петренко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
petrenko62@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6348-2110>

Владислав Михайлович Северинчук

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
vladyslav.severynchuk@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1276-0977>

ЕНТРОПІЯ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ

***Анотація.** Сенсомоторні реакції людини на повторювані стимули не є незалежними: час реакції має внутрішню структуру, що формується під впливом уваги, нейродинамічної стабільності та когнітивного навантаження. У зв'язку з цим часові ряди можна розглядати як динамічну систему.*

Метою дослідження було застосування ентропійного аналізу часу простої сенсомоторної реакції. Дослідження проводилися на базі Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького. В них прийняли участь 80 осіб віком від 17 до 75 років. Визначення часу простої зорово-моторної реакції проводилося за методикою Макаренка М.В. (1999). Ентропія обчислювалася на основі дискретної Shannon entropy, застосованої до гістограм розподілу часу реакції.

Встановлено, що ентропія не зводиться до середнього значення чи варіативності, а відображає додаткові характеристики розподілу, пов'язані з його структурною невизначеністю. Це підтверджується відсутністю залежності між ентропією та середнім часом реакції або коефіцієнтом варіації.

***Ключові слова:** сенсомоторні реакції, центральна нервова система, ентропія, дисипативні структури, реакційні процеси, асиметрія, онтогенез.*

Постановка проблеми. Швидкість сенсомоторної реакції та стабільність її виконання є важливими показниками функціонального стану центральної нервової системи (ЦНС). Середній час реакції (RT) дає лише загальне уявлення про роботу системи, тоді як варіабельність реакцій – коливання від відповіді до відповіді - значно точніше відображає рівень уваги, контролю та нейродинамічної стабільності. Підвищена нерівномірність у часі реакції може свідчити про втому, зниження концентрації чи нестійкість нервових процесів.

Для розуміння цих коливань важливо враховувати поняття організованості функціональної системи ЦНС. Організована система працює впорядковано та узгоджено: реакції стають передбачуваними, а виконання завдань – стабільним. Якщо ж організованість зменшується, у поведінкових відповідях зростає хаотичність, з'являються випадкові збої та нерівномірність.

Одним із сучасних способів кількісно описати ці зміни є використання ентропії – показника, який відображає ступінь складності або невизначеності в роботі системи. У психофізіології ентропійний аналіз застосовують для оцінки того, наскільки впорядкованими або хаотичними є нейрофізіологічні процеси. Підвищення або зниження ентропії в часових рядах реакцій може вказувати на зміну стану ЦНС та її здатності підтримувати стійкість і контроль [1, 2].

Аналіз останніх публікацій. Сучасні дослідження фізіології свідчать, що динаміка живих систем не є ні повністю регулярною, ні повністю випадковою. Відомі роботи Goldberger A.L. [5] та Lipsitz L.A. [9] сформулювали концепцію, згідно з якою здорові фізіологічні системи демонструють "організовану складність". Йдеться про багатомасштабні флуктуації, структуровані взаємодії між підсистемами та оптимальне співвідношення між порядком і варіабельністю.

Зниження складності, тобто рух у бік надмірної регулярності або надмірного хаосу, розглядається як ознака зниження функціональної адаптивності. Так, за даними Goldberger A. L. [5], патологічні стани пов'язуються з деградацією нормальної фрактально-ієрархічної структури фізіологічних процесів. Лнійні, надмірно регулярні сигнали – так само, як і нестабільні хаотичні – свідчать про втрату здатності системи ефективно реагувати на зміну умов.

Поняття організованості у фізіології розглядається як характеристика, що відображає здатність системи підтримувати узгоджену, структуровану та стійку роботу при одночасному збереженні необхідного рівня гнучкості. На відміну від механічних систем, ЦНС не функціонує в режимі ідеальної регулярності: її нормальна робота передбачає наявність помірних стохастичних коливань, які забезпечують адаптацію.

У межах теорії складності організованість проявляється у стабільності патернів фізіологічної активності, послідовності реакцій на стимул і здатності системи пригнічувати випадкові флуктуації, зберігаючи структуровану варіабельність. Оптимальна робота ЦНС передбачає наявність помірної різноманітності сигналів, що поєднує стабільність і гнучкість. З позицій нейронауки це означає, що оптимальна робота ЦНС характеризується помірною, структурною різноманітністю сигналів, що дозволяє системі бути водночас стабільною та адаптивною [1]. Коли система надто впорядкована або надто хаотична, організованість знижується.

Організм людини є відкритою нерівноважною біологічною системою, яка функціонує за рахунок постійного енергетичного обміну. Коливання показників реакційного часу, варіативності серцевого ритму чи інших психофізіологічних параметрів можуть розглядатися як прояви флуктуацій у складній регуляторній системі.

Зміни ентропійних характеристик часових рядів у цьому випадку можна інтерпретувати як маркери переходів між режимами функціонування регуляторних систем і зміни ступеня їхньої узгодженості [7, 8]. Зокрема, ентропійні показники можуть відображати: перехід між відносно стабільними режимами функціонування; зростання або зниження нестійкості регуляції у процесі виконання завдання; зміну рівня функціональної організації системи; зсув між надмірною впорядкованістю та дезорганізацією.

Отже, у світлі теорії дисипативних структур [7] ентропія може розглядатися не лише як показник хаотизації процесів, а як індикатор динамічного балансу між стабільністю та адаптивною перебудовою функціональних систем організму. Це створює теоретичне підґрунтя для застосування ентропійних метрик у дослідженнях функціонального стану центральної нервової системи.

У дослідженні Fitousi D. [4] показано, що кумулятивна залишкова ентропія дозволяє оцінити невизначеність розподілів часу реакції та відображає форму розподілу, його асиметрію та внутрішню структуру. Це підкреслює, що ентропія поведінкових даних є інформативною не лише щодо швидкості реагування, але й щодо складності процесів переробки стимулу.

Робота Iglesias-Martínez M. E. та ін. [6] продемонструвала, що часові ряди сенсомоторних реакцій мають виражену серійну організацію, а спектральна ентропія здатна кількісно описувати ступінь узгодженості чи хаотичності цієї динаміки. Зміни ентропії протягом виконання завдання відображають зміни когнітивного навантаження та процесів регуляції уваги.

Дослідження Brown J. W. та ін. [3] показало, що ентропія може виступати характеристикою не лише поведінкового виходу, а й інформаційної структури самого завдання, визначаючи нейронні витрати системи когнітивного контролю. Активація відповідних мозкових мереж модулюється рівнем інформаційної невизначеності, що свідчить про взаємозв'язок ентропії, часу реакції та нейрофункціональних механізмів вибору.

Коректність ентропійних оцінок залежить від чіткого визначення метрики, належної якості даних та відповідної аналітичної процедури. Кожен тип ентропії, кумулятивна залишкова, спектральна чи інформаційна, відображає різні аспекти структури реакційного процесу та може використовуватися для дослідження специфічних властивостей варіабельності.

Застосування ентропійних показників потребує достатнього обсягу даних, стандартизованої обробки реакційних рядів та контролю зовнішніх умов, які впливають на динаміку реагування. Етапи підготовки даних, очищення від артефактів, вибору перетворень та самого розрахунку ентропії формують основу для надійного та відтворюваного аналізу [10].

Інтерпретація ентропійних результатів має базуватися на загальній концепції організованої складності: надмірна регулярність так само, як і надмірна хаотичність, може сигналізувати про обмеження адаптивних можливостей функціональних систем. Помірна, структурована ентропія відображає збалансований стан, у якому поєднуються гнучкість і стабільність реакційної діяльності.

Узагальнюючи, ентропійний аналіз часу сенсомоторної реакції є перспективним інструментом дослідження функціонального стану центральної нервової системи. Він дозволяє оцінювати не лише швидкість реагування, але й внутрішню організацію, варіабельність та динамічну рівновагу процесів переробки інформації. Такі підходи формують методологічну основу для подальших емпіричних досліджень і поглибленого розуміння структурних характеристик поведінкових реакцій [11].

Ентропійні показники є перспективними для аналізу поведінкових і нейрофізіологічних процесів завдяки своїй здатності відображати багатокомпонентну, структуровану й динамічну природу сенсомоторних реакцій. Ентропія, як міра невизначеності та складності, може слугувати індикатором організованості реакційних процесів, чутливо реагуючи на зміни стану системи та параметрів завдання.

Мета дослідження – встановити можливість застосування ентропійного аналізу часу простої сенсомоторної реакції для дослідження функціонального стану центральної нервової системи.

Організація та методи дослідження. Дослідження проводилися на базі Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького. В них прийняли участь 80 осіб віком від 17 до 75 років. Визначення часу простої зорово-моторної реакції проводилося за методикою Макаренка М.В. (1999).

Перед проведенням статистичного та ентропійного аналізу часових рядів сенсомоторної реакції було здійснено попередню обробку даних, спрямовану на усунення артефактів та забезпечення коректності подальших розрахунків.

На першому етапі до аналізу включалися лише значення часу реакції, що належать до фізіологічно обґрунтованого діапазону. Реакції з тривалістю менше 100 мс розглядалися як передчасні або випадкові відповіді, які не відображають повноцінного сенсомоторного процесу. Значення понад 700 мс інтерпретувалися як потенційні прояви втрати уваги, затримки відповіді або технічних похибок. У зв'язку з цим зазначені значення виключалися з подальшого аналізу.

На другому етапі застосовувався робастний метод виявлення статистичних викидів на основі медіанного абсолютного відхилення (Median Absolute Deviation, MAD). Для кожного набору реакцій обчислювалася медіана та MAD, після чого для кожного значення визначався модифікований z -показник. Значення, для яких абсолютне значення цього показника перевищувало порогове значення 3.5, вважалися статистичними викидами та вилучалися. На відміну від класичних методів, що базуються на середньому та стандартному відхиленні, MAD-підхід є стійким до асиметричних розподілів, характерних для часу реакції.

У результаті двоетапної процедури очищення формувалася фінальний набір даних, який використовувався для подальшого аналізу. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив випадкових або нефізіологічних значень і забезпечує більш коректну оцінку варіабельності та структури часових рядів реакцій.

Ентропія обчислювалася на основі дискретної Shannon entropy, застосованої до гістограм розподілу часу реакції [12]. Для кожного тесту значення RT групувалися в інтервали за правилом Стерджеса, після чого розраховувалися ймовірності потрапляння у відповідні інтервали та обчислювалася ентропія як міра невизначеності розподілу. Таким чином, ентропія відображає не лише розкид значень, але й їхню структурну організацію.

Результати дослідження та їх обговорення. Після застосування процедури очищення було сформовано узагальнений масив даних та визначено чотири вікові групи по роках: 17–18, 19–44, 45–60 та 61–75.

Аналіз розподілів очищених значень часу реакції представлено на рис. 1.

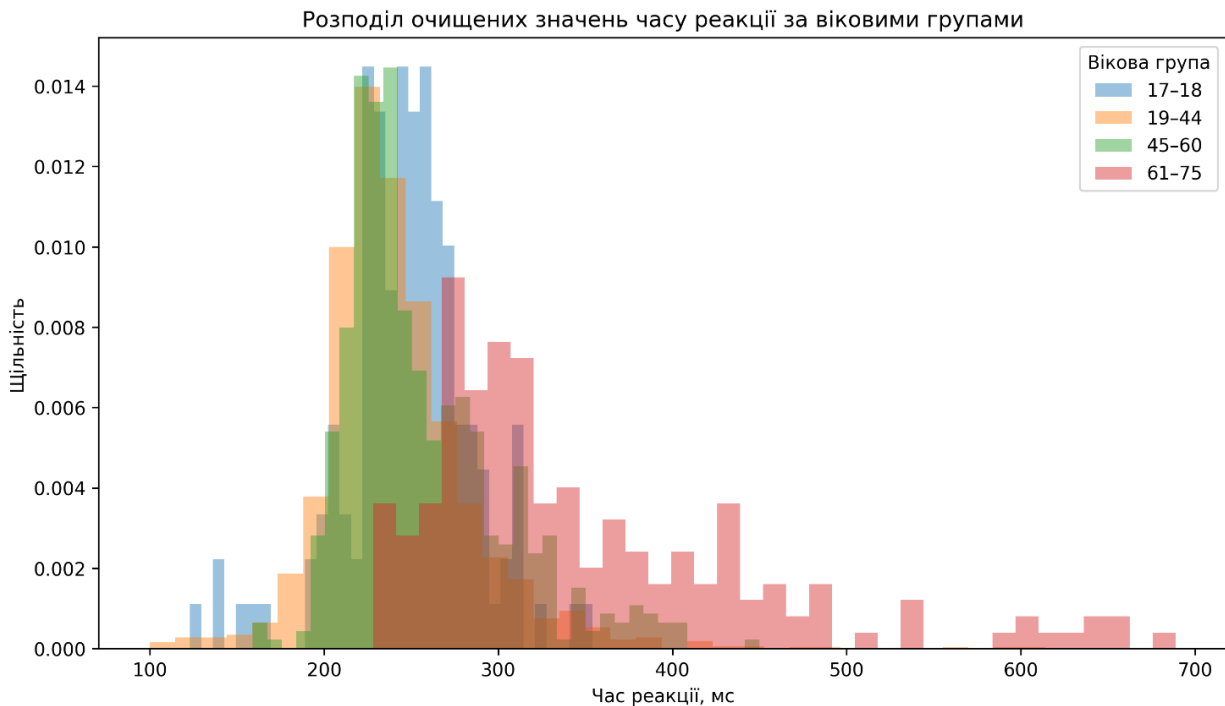


Рис. 1. Розподіл очищених значень часу простої зорово-моторної реакції за віковими групами

Гістограми показують, що розподіл часу реакції в усіх вікових групах має подібну загальну форму: основна маса значень зосереджена в діапазоні приблизно 200–300 мс. Водночас спостерігається виражена правостороння асиметрія, що проявляється у наявності довгого «хвоста» повільних реакцій. Така структура є типовою для сенсомоторних даних і відображає поодинокі затримки, пов'язані зі змінами уваги або короткочасними збоями у процесі реагування.

При порівнянні вікових груп простежується тенденція до поступового зміщення розподілу вправо зі збільшенням віку. У групі 17–18 років розподіл є більш концентрованим, із відносно вузьким діапазоном значень. У групах 19–44 та 45–60 років форма розподілу залишається подібною, однак спостерігається незначне розширення та збільшення частки повільніших реакцій. Найбільш виражені зміни характерні для групи 61–75 років, де розподіл є ширшим і має значно довший правий хвіст, що свідчить про зростання частоти повільних реакцій.

Додатково варіативність часу реакції за віковими групами представлено у вигляді boxplot-діаграми (рис. 2).

Boxplot-аналіз підтверджує отримані спостереження на рівні описових характеристик. Медіанний час реакції зростає з віком, причому найбільш помітний приріст спостерігається у старшій віковій групі. Одночасно збільшується міжквартильний розмах, що вказує на підвищення варіативності реакцій. Кількість та амплітуда викидів також зростають із віком, особливо у групі 61–75 років, де спостерігається значна кількість повільних реакцій, що виходять за межі основного діапазону.

Таким чином, уже на рівні розподільного аналізу можна зробити висновок, що вікові зміни часу сенсомоторної реакції проявляються не лише у збільшенні середнього значення,

але й у зміні структури варіабельності. Зі зростанням віку реакційний процес стає менш стабільним, що відображається у розширенні розподілу та появі більш виражених правосторонніх хвостів. Ці особливості створюють підґрунтя для подальшого аналізу із використанням кількісних показників варіативності та ентропійних характеристик.

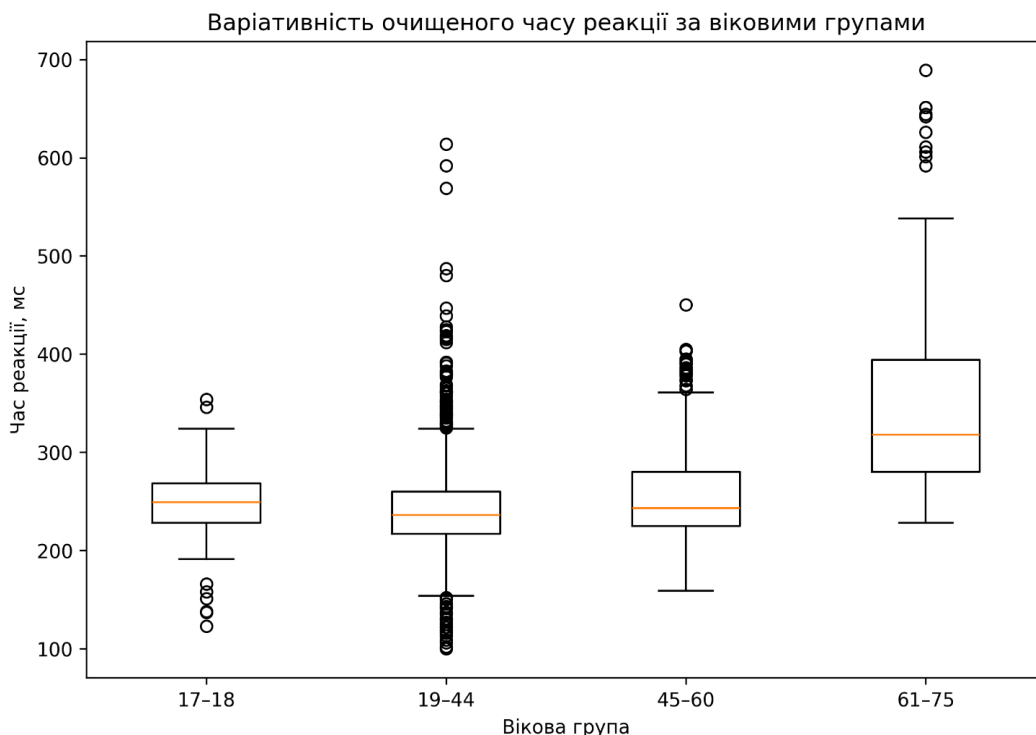


Рис. 2. Варіативність очищеного часу реакції за віковими групами.

Після аналізу форми розподілу наступним етапом було визначення кількісних характеристик часу сенсомоторної реакції за допомогою описових статистичних показників. Це дозволяє формалізувати спостережувані відмінності між віковими групами та оцінити як центральні тенденції, так і варіативність реакційного процесу (рис. 3).

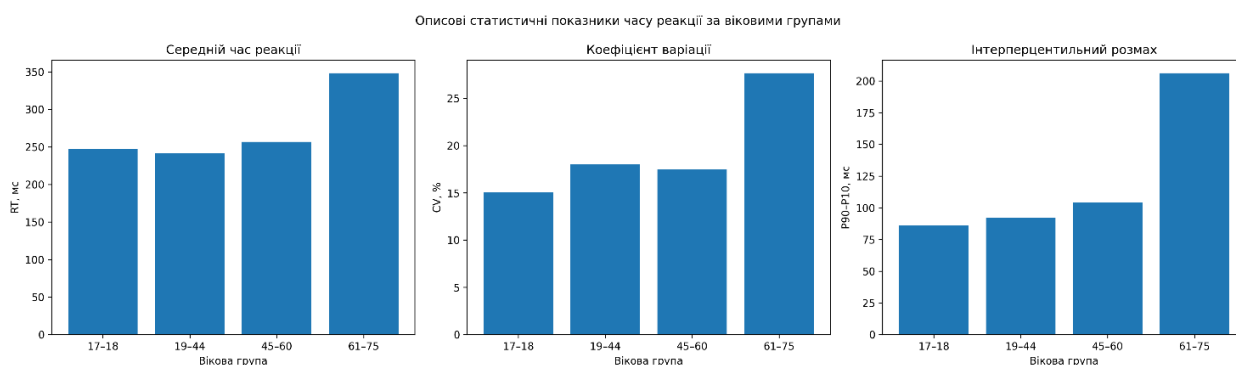


Рис. 3. Описові статистичні показники часу реакції за віковими групами.

Середній час реакції демонструє загальну тенденцію до зростання з віком. У групах 17–18 та 19–44 років значення (247,74 мс та 241,95 мс) статистично достовірних відмінностей не мають ($p > 0,05$), що вказує на відносну стабільність сенсомоторної швидкості в молодому віці. У групі 45–60 років спостерігається помірне зростання середнього значення (256,72 мс), тоді як у групі 61–75 років відбувається різкий стрибок до 348,40 мс, що свідчить про суттєве уповільнення реакційних процесів (достовірні відмінності з попередніми групами ($p < 0,05$)).

Водночас коефіцієнт варіації (CV), який відображає відносну варіативність, демонструє ще більш виражені вікові відмінності. У молодших групах значення CV становлять близько 15–18%, що відповідає відносно стабільному характеру реакцій. У старшій групі (61–75 років) CV зростає до 27,65%, що вказує на значне збільшення розкиду значень відносно середнього та, відповідно, на зниження стабільності сенсомоторного контролю.

Інтерперцентильний розмах (P90–P10) підтверджує цю тенденцію. У групах 17–18 та 19–44 років він становить 86,0 мс та 92,0 мс відповідно, що відповідає відносно вузькому діапазону основної маси реакцій. У групі 45–60 років цей показник зростає до 104,4 мс, тоді як у групі 61–75 років він подвоюється (206,2 мс), що свідчить про суттєве розширення розподілу та наявність більш виражених відхилень.

При додатковому порівнянні середнього та медіанного часу реакції було встановлено, що в усіх вікових групах середнє значення перевищує медіану, що підтверджує наявність правосторонньої асиметрії, виявленої на попередньому етапі аналізу. Найбільша різниця між середнім і медіаною спостерігається у групі 61–75 років (348,40 мс проти 318,0 мс), що свідчить про суттєвий вплив повільних реакцій на структуру розподілу.

Показники асиметрії також підтверджують ці висновки: у групах 19–44, 45–60 та 61–75 років спостерігається позитивна асиметрія (1,57; 1,14 та 1,46 відповідно), що вказує на наявність довгого правого хвоста. Винятком є група 17–18 років, де значення асиметрії є незначно від'ємним (–0,42), що може бути пов'язано з особливостями вибірки або меншою кількістю спостережень.

Таким чином, результати описового статистичного аналізу узгоджуються з попередніми спостереженнями на рівні розподілів і дозволяють зробити більш формалізований висновок: вікові зміни часу сенсомоторної реакції проявляються не лише у збільшенні середнього значення, але й у суттєвому зростанні варіативності та асиметрії розподілу. Це свідчить про те, що з віком реакційний процес стає менш стабільним і більш чутливим до випадкових відхилень.

На попередньому етапі було показано, що класичні статистичні показники дозволяють описати центральну тенденцію та варіативність часу сенсомоторної реакції. Однак такі метрики, як середнє значення та коефіцієнт варіації, не враховують повну структуру розподілу і не відображають ступінь невизначеності або «розпорошеності» значень. У зв'язку з цим доцільним є застосування ентропійного підходу, який дозволяє оцінити складність та організованість реакційного процесу. Результати аналізу ентропії за віковими групами наведено на рис. 4.



Рис. 4. Ентропія часу простої зорово-моторної реакції за віковими групами.

Спостерігалось поступове зростання ентропії зі збільшенням віку: від 2,285 біт у групі 17–18 років до 2,543 біт у групі 61–75 років. Це свідчить про те, що розподіл часу реакції у старших групах є більш «розмитим» і менш передбачуваним. Водночас різниця між молодшими та середніми групами є відносно невеликою, що вказує на поступовий характер змін, із найбільш вираженим ефектом у старшому віці.

Для оцінки зв'язку ентропії з класичними показниками було проаналізовано залежність ентропії від середнього часу реакції (рис. 5).

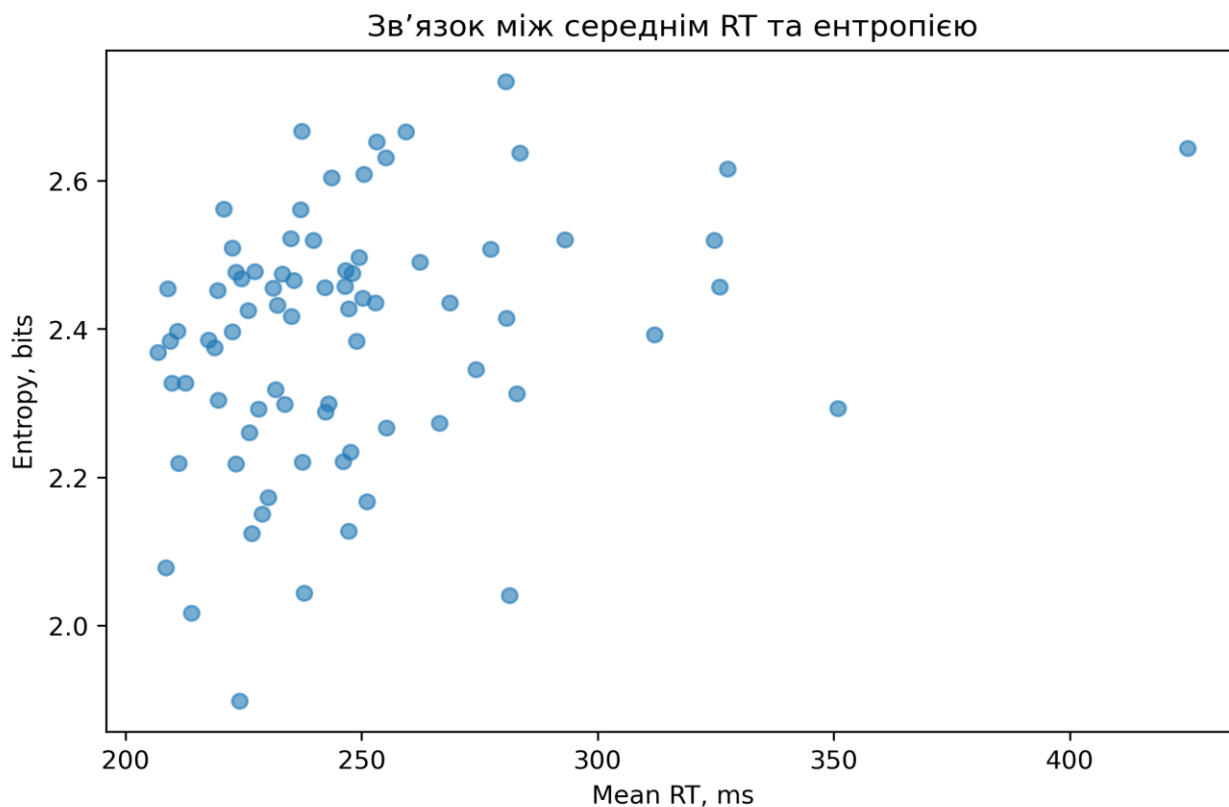


Рис. 5. Зв'язок між середнім часом реакції та ентропією.

З графіка видно, що між середнім значенням RT та ентропією відсутня функціональна залежність. Точки утворюють розсіяне поле без чітко вираженої лінійної структури. Це означає, що ентропія не зводиться до середнього часу реакції і відображає інші аспекти розподілу. Зокрема, при близьких значеннях середнього RT можуть спостерігатися різні рівні ентропії, що свідчить про відмінності у внутрішній структурі варіацій.

Аналогічний аналіз для коефіцієнта варіації представлено на рис. 6. Хоча між CV та ентропією спостерігається певна тенденція до зростання, залежність також незначна. Це вказує на те, що ентропія частково пов'язана з варіативністю, але не є її прямим еквівалентом. Таким чином, ентропія надає додаткову інформацію про розподіл часу реакції, яка не повністю відображається класичними статистичними показниками.

Отримані результати дозволяють інтерпретувати ентропію як показник ступеня організованості сенсомоторної системи. Нижчі значення ентропії характерні для більш стабільних і передбачуваних реакційних процесів, тоді як зростання ентропії свідчить про підвищення невизначеності та зниження організованості [4, 11]. Виявлена тенденція до збільшення ентропії з віком узгоджується з попередніми результатами та підтверджує гіпотезу про вікове зростання варіативності та складності реакційних процесів.

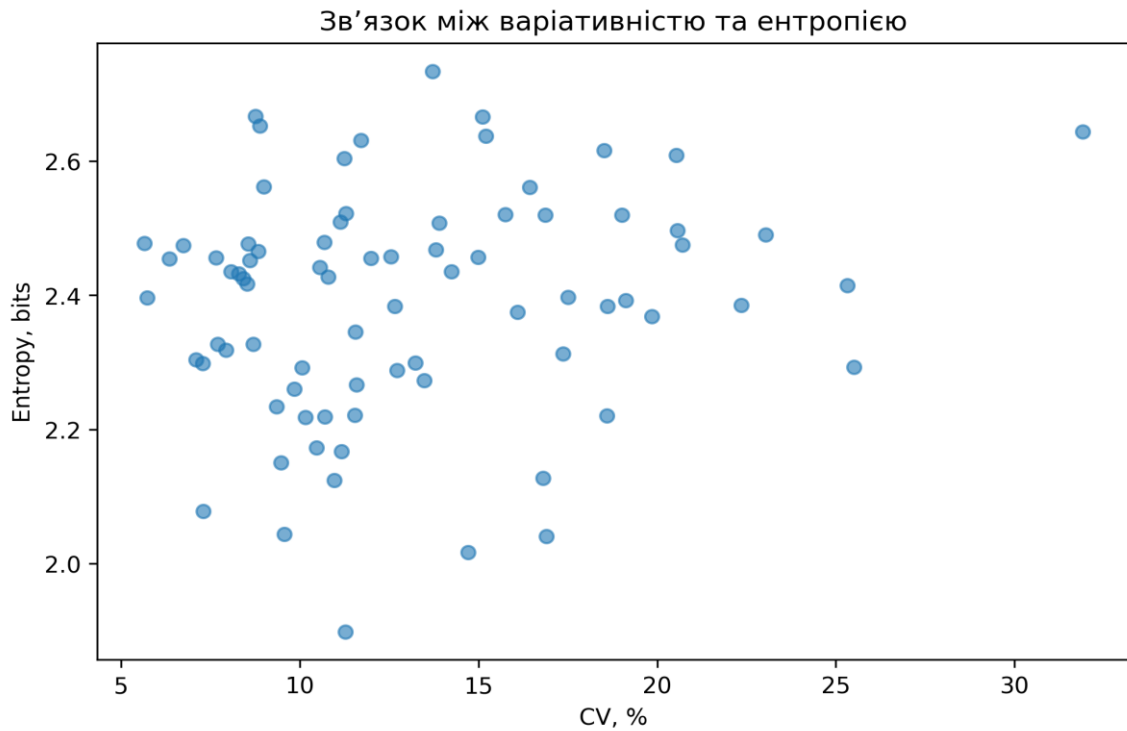


Рис. 6. Зв'язок між варіативністю та ентропією.

На завершальному етапі емпіричного аналізу було здійснено узагальнення отриманих результатів з метою їх інтерпретації у контексті теорії організованості та складності функціональних систем. Для цього ключові показники часу сенсомоторної реакції були приведені до нормалізованого вигляду, що дозволило порівняти їхню динаміку незалежно від одиниць вимірювання (рис.7).

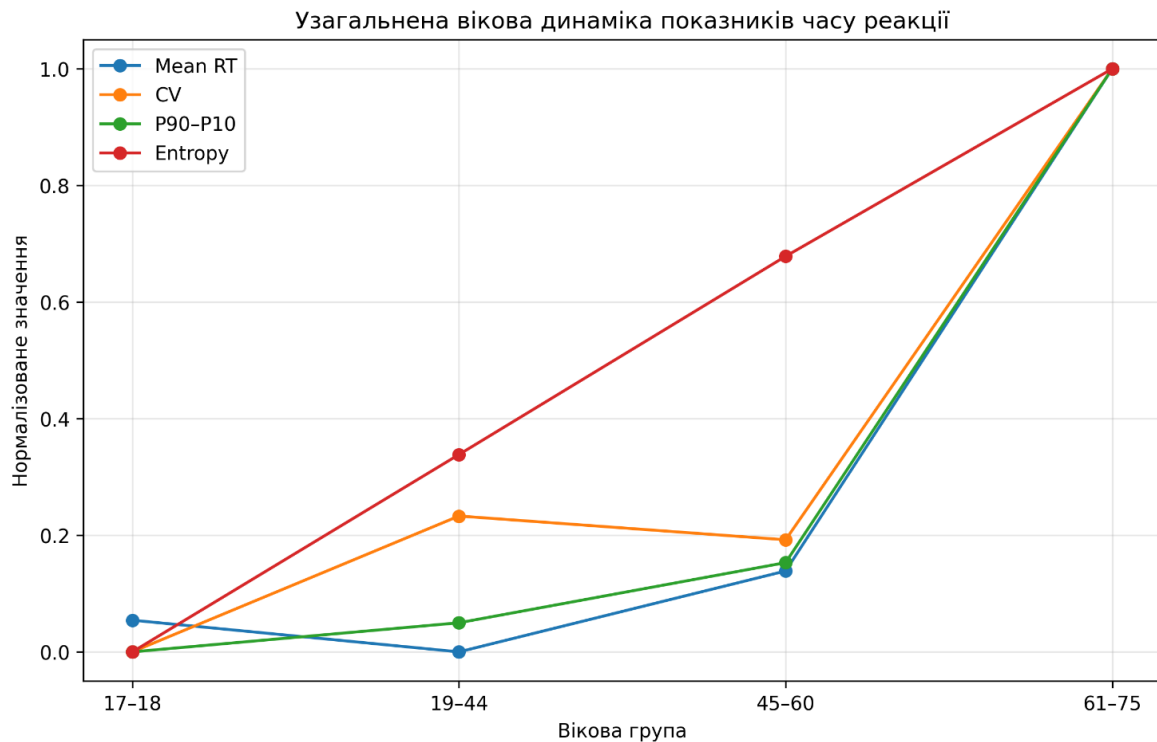


Рис. 7. Узагальнена вікова динаміка показників часу простої зорово-моторної реакції у вікових групах.

Як видно з рис. 7, усі розглянуті показники, середній час реакції, коефіцієнт варіації, інтерперцентильний розмах та ентропія, демонструють узгоджену тенденцію до зростання з віком. При цьому зміни мають нелінійний характер: у молодших та середніх вікових групах показники змінюються відносно повільно, тоді як у групі 61–75 років спостерігається різкий стрибок за всіма метриками.

Цей результат свідчить про те, що вікові зміни сенсомоторної реакції не зводяться лише до поступового уповільнення. Навпаки, ключовим фактором є зростання варіативності та нестабільності реакційного процесу. Це підтверджується одночасним збільшенням коефіцієнта варіації та інтерперцентильного розмаху, що вказує на розширення діапазону значень та зростання ролі випадкових відхилень.

Особливу увагу привертає динаміка ентропії, яка демонструє найбільш послідовне та монотонне зростання серед усіх показників. На відміну від середнього часу реакції та CV, які можуть змінюватися нерівномірно, ентропія відображає загальну структурну невизначеність розподілу. Це означає, що з віком реакційний процес стає не лише повільнішим і більш варіативним, але й менш організованим у цілому.

Таким чином, отримані результати дозволяють інтерпретувати вікові зміни часу сенсомоторної реакції як прояв зниження функціональної організованості системи. У молодших вікових групах реакції є більш стабільними та передбачуваними, що відповідає нижчим значенням ентропії. У старших групах спостерігається підвищення невизначеності та зростання ролі випадкових факторів, що відображається у збільшенні ентропії та варіативності. Узгодженість змін різних показників та їх відповідність теоретичним уявленням про організовану складність свідчать про доцільність використання ентропійного підходу для аналізу сенсомоторних процесів [3, 4, 8]. Ентропія в даному контексті виступає як інтегральний показник, що доповнює класичні статистичні метрики та дозволяє більш повно охарактеризувати функціональний стан системи.

Висновки

1. Було здійснено аналіз часу сенсомоторної реакції із використанням як класичних статистичних показників, так і ентропійного аналізу.
2. Спостерігалось зростання середнього часу реакції з віком, однак більш суттєвими були зміни варіативності. Показники коефіцієнта варіації та інтерперцентильного розмаху демонстрували розширення діапазону значень і збільшення нестабільності реакцій.
3. Розподіли часу реакції мали правосторонню асиметрію, яка посилювалася у старших вікових групах, що свідчить про зростання частоти повільних реакцій.
4. Значення ентропії часу реакції зростали із віком та мали більш послідовну динаміку порівняно з класичними статистичними показниками.
5. Встановлено, що ентропія не зводиться до середнього значення чи варіативності, а відображає додаткові характеристики розподілу, пов'язані з його структурною невизначеністю.
6. Визначено, що вікові зміни сенсомоторної реакції проявляються не лише у її уповільненні, але й у зниженні стабільності та організованості реакційного процесу.
7. Вікове зростання ентропії може бути інтерпретоване як показник підвищення невизначеності та зменшення впорядкованості функціонування сенсомоторної системи.

Перспектива подальших досліджень може бути спрямована на розширення вибірки обстежуваних, включення різних типів сенсомоторних тестів, а також застосування більш складних методів ентропійного аналізу. Це дозволить уточнити отримані закономірності та поглибити розуміння взаємозв'язку між варіативністю, ентропією та функціональним станом центральної нервової системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іванець О. Б., Буриченко М. Ю., Архирей М. В., Братко В. Ю. Особливості використання методів нелінійної динаміки для обробки біомедичних даних // Наукоємні технології. – 2022. – № 4(56). DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17131>

2. Попадинець О.О., Гоженко А.І., Бадюк Н.С., Попович І.Л. Індивідуальні особливості ентропії параметрів нервових регуляторних структур (ЕЕГ/ВРС). VIII Національний конгрес патофізіологів України "Патологічна фізіологія - охороні здоров'я України" (Одеса, 13-15 травня 2020 р). Одеса; 2020: 312-314.
3. Brown J. W., Mendes N., Heathcote A., McKinnon R., Seli P. (2017). Hick–Hyman law is mediated by the cognitive control network in the brain. *Scientific Reports*. Vol. 7. Article 16104. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16104-3>
4. Fitousi D. (2023). Quantifying entropy in response times (RT) distributions using the cumulative residual entropy (CRE) function. *Entropy*. Vol. 25, No 8. Article 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/e25081239>
5. Goldberger A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *The Lancet*. Vol. 347, No 9011. Pp. 1312–1314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)90948-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)90948-4)
6. Iglesias-Martínez M. E., Candela-Riera G., Hernández-Wilches C. (2020). Machinery failure approach and spectral analysis to study the reaction time dynamics over consecutive visual stimuli: an entropy-based model. *Mathematics*. Vol. 8, No 11. Article 1979. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8111979>
7. Ilya Prigogine – Facts. Nobel Prize in Chemistry 1977: “for his contributions to non-equilibrium thermodynamics, particularly the theory of dissipative structures”. [Електронний ресурс]. – NobelPrize.org. – Режим доступу: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1977/prigogine/facts/> (Accessed: 23.02.2026).
8. Keshmiri S. (2020). Entropy and the Brain: An Overview. *Entropy*. Vol. 22, No 9. Art. 917. DOI: <https://doi.org/10.3390/e22090917>
9. Lipsitz L. A., Goldberger A. L. (1992). Loss of complexity and aging. *JAMA*. Vol. 267, No 13. Pp. 1806–1809. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480130122036>
10. Pincus S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. Vol. 88. Pp. 2297–2301
11. Richman J. S., Moorman J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. Vol. 278. Pp. H2039–H2049
12. Shannon C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. Vol. 27. Pp. 379–423, 623–656. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

REFERENCES

1. Ivanets O. B., Burychenko M. Yu., Arkhyrey M. V., Bratko V. Yu. (2022). Peculiarities of using nonlinear dynamics methods for processing biomedical data. *Naukoiemni tekhnolohii (High Technologies)*. No 4(56). DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17131>
2. Popadynets O.O., Gozhenko A.I., Badyuk N.S., Popovych I.L. (2020). Individual features of entropy of parameters of nervous regulatory structures (EEG/HRV). VIII National Congress of Pathophysiologicals of Ukraine "Pathological physiology - to the health care of Ukraine" (Odesa, May 13-15, 2020). Odesa; pp. 312-314.
3. Brown J. W., Mendes N., Heathcote A., McKinnon R., Seli P. (2017). Hick–Hyman law is mediated by the cognitive control network in the brain. *Scientific Reports*. Vol. 7. Article 16104. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16104-3>
4. Fitousi D. (2023). Quantifying entropy in response times (RT) distributions using the cumulative residual entropy (CRE) function. *Entropy*. Vol. 25, No 8. Article 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/e25081239>
5. Goldberger A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *The Lancet*. Vol. 347, No 9011. Pp. 1312–1314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)90948-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)90948-4)
6. Iglesias-Martínez M. E., Candela-Riera G., Hernández-Wilches C. (2020). Machinery failure approach and spectral analysis to study the reaction time dynamics over consecutive visual stimuli: an entropy-based model. *Mathematics*. Vol. 8, No 11. Article 1979. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8111979>
7. Ilya Prigogine – Facts. Nobel Prize in Chemistry 1977: “for his contributions to non-equilibrium thermodynamics, particularly the theory of dissipative structures”. NobelPrize.org. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1977/prigogine/facts/> (Accessed: 23.02.2026).
8. Keshmiri S. (2020). Entropy and the Brain: An Overview. *Entropy*. Vol. 22, No 9. Art. 917. DOI: <https://doi.org/10.3390/e22090917>
9. Lipsitz L. A., Goldberger A. L. (1992). Loss of complexity and aging. *JAMA*. Vol. 267, No 13. Pp. 1806–1809. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480130122036>
10. Pincus S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. Vol. 88. Pp. 2297–2301
11. Richman J. S., Moorman J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. Vol. 278. Pp. H2039–H2049
12. Shannon C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. Vol. 27. Pp. 379–423, 623–656. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

Petrenko Yu. O., Severynchuk V. M.

ENTROPY OF BEHAVIORAL REACTIONS AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM

Introduction. *Sensorimotor reactions to repeated stimuli are not independent; reaction time possesses an internal structure formed under the influence of attention, neurodynamic stability, and*

cognitive load. Therefore, time series can be viewed as dynamic systems where healthy physiological systems demonstrate "organized complexity". A decrease in complexity—moving toward excessive regularity or excessive chaos—is seen as a sign of reduced functional adaptability. In light of the theory of dissipative structures, entropy can be considered an indicator of the dynamic balance between stability and the adaptive restructuring of functional systems.

The purpose of the study was to investigate the possibility of using entropy analysis of simple sensorimotor reaction time to study the functional state of the central nervous system

Methods. The study was conducted at Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy with 80 participants aged 17 to 75. Simple visual-motor reaction time was determined using the Makarenko method. Data preprocessing included removing reactions outside the 100–700 ms range and applying the Median Absolute Deviation (MAD) method to eliminate statistical outliers. Entropy was calculated based on discrete Shannon entropy applied to reaction time distribution histograms, with RT values grouped into intervals using Sturges' rule.

Results. It was found that as age increases, the average reaction time grows, but changes in variability are more significant. The coefficient of variation and interpercentile range (P90–P10) demonstrate an expansion of the value range and increased instability, especially in the 61–75 age group. Entropy values also increased with age, from 2.285 bits in the 17–18 group to 2.543 bits in the 61–75 group. Analysis revealed no functional dependence between entropy and mean reaction time or coefficient of variation, confirming that entropy reflects unique characteristics of distribution related to structural uncertainty. Generalized age dynamics show that while all metrics (Mean RT, CV, P90–P10, Entropy) increase with age, entropy demonstrates the most consistent and monotonic growth.

Originality. For the first time, an integral approach combining classical statistical metrics with Shannon entropy was applied to sensorimotor reaction time series across a wide age range to quantify the degree of organization of the central nervous system. The study demonstrates that entropy serves as an independent indicator of the "organized complexity" of behavioral responses that classical statistics cannot fully capture.

Conclusion. The introduction of entropy analysis allows for a deeper assessment of the functional state of the CNS beyond simple speed metrics. Age-related changes in sensorimotor reactions manifest not only as slowing but as a decrease in the stability and organization of the reaction process. Increased entropy in older age groups indicates higher uncertainty and reduced order in the functioning of the sensorimotor system, reflecting a decline in functional organization.

Keywords: sensorimotor reactions, central nervous system, entropy, dissipative structures, reaction processes, asymmetry, ontogenesis.

Надійшла до редакції / Received: 25.03.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

УДК: 612.825.8-057.875(045)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-81-89

Олена Дмитрівна Светлова

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна

svetlova_2004@vu.cdu.edu.uaORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5179-1733>**Людмила Зиновіївна Пакушина**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна

pakushyn2007@vu.cdu.edu.uaORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5930-8558>**Олена Сергіївна Савицька**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна

elenasinsav@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-3411-9076>

ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗУМОВОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СТУДЕНТІВ РІЗНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Анотація. У статті розглядаються особливості впливу навчального навантаження на психофізіологічний стан студентів різних спеціальностей "Спеціальної освіти": "Ортопедагогіка" та "Логопедія". **Матеріали та методи.** Досліджувалися показники розумової працездатності та функціонального стану ЦНС студентів другокурсників, що визначалися за методикою коректурних проб в модифікації Громбаха М.С. Вивчалися показники швидкості та якості коректурної роботи, за якими проводилась індивідуальна інтегральна оцінка рівня розумової працездатності кожного студента. Для кожної з груп вираховувався коефіцієнт співвідношення випадків високих і низьких інтегральних оцінок і продуктивність роботи колективу. **Результати.** Загалом, обсяг і складність навчального матеріалу відповідають психофізіологічним можливостям обох груп студентів, на що вказали позитивні коефіцієнти продуктивності колективів ($P > 1$). Проте, хоча спеціалізації "Логопедія" та "Ортопедагогіка" належать до однієї галузі - "Спеціальної освіти", різний характер навантаження та різна специфіка освітньо-професійних програм зумовлюють відмінності у функціональній здатності центральної нервової системи адаптуватися до навчального навантаження: для студентів-ортопедагогів характерна вища швидкість переробки інформації та загальна продуктивність розумової роботи ($p < 0,05$), зумовлена специфікою навчання з вищим руховим компонентом; у студентів-логопедів зафіксовано вищу концентрацію уваги протягом дня. **Висновок.** Дослідження динамічних показників функціонального стану центральної нервової системи (ЦНС) дозволяє не тільки здійснити комплексний моніторинг адаптації студентів до навчального навантаження, а й виступає предиктором їхньої подальшої професійної придатності.

Ключові слова: студенти, центральна нервова система, функціонування, розумова працездатність, спеціальна освіта.

Постановка проблеми. Важливим чинником, що впливає на ефективність навчання є сприйняття і засвоєння інформації. Місцем розташування центрів сприйняття, управління та свідомої діяльності є кора головного мозку, і розумова працездатність, прямо корелюючи з успішністю навчання, дозволяє оцінити наскільки навчальне навантаження відповідає функціональним та особистісним можливостям студентів [1,4,11]. У зв'язку з цим виникає потреба в дослідженні динаміки таких психофізіологічних показників, як пам'ять, увага, швидкість переробки інформації, в процесі навчання студентів спеціальності «Спеціальна освіта», через високу психоемоційну напруженість їхньої майбутньої професії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота в галузі спеціальної освіти (логопедія, ортопедагогіка, сурдопедагогіка, олігофренпедагогіка) вимагає поєднання певних психоемоційних якостей (емпатія, стресостійкість та витримка, толерантність тощо) та когнітивних і вольових якостей (спостережливність, гнучкість мислення, терплячість), необхідних як під час навчання, так і в подальшій професійній діяльності [6,9]. Сучасна спеціальна освіта тримається на поєднанні так званих «м'яких навичок» (soft skills) та глибокої наукової бази [7]. Адже кожна дитина з особливими освітніми потребами має унікальний темп розвитку, і це стає підґрунтям для розробки індивідуальної програми розвитку (ІПР). Окрім цього спеціальний педагог має бути готовим миттєво змінити план роботи, якщо дитина не йде на контакт, або не в змозі оволодіти певними навичками, перетворивши терапевтичні заняття на гру. Тож підготовка фахівця передбачає глибоке вивчення не лише педагогіки, а й основ анатомії з фізіологією. Це вимагає готовності до безперервного навчання протягом всієї кар'єри, адже методики постійно оновлюються [5,10].

Отже, актуальним є вивчення питань, як саме обраний профіль навчання зі спеціальної освіти впливає на пам'ять, увагу та загалом на розумову працездатність студентів різних спеціалізацій. І навпаки, які саме психофізіологічні особливості людини в найбільшій мірі сприятимуть ефективному засвоєнню студентами учбового матеріалу в обраній галузі, адже різні спеціальності мають різний тип навантаження. Вивчення впливу навчального навантаження на психофізіологічні функції студентів різних профілів дозволить вчасно виявляти ризики втоми/перевтоми, невротизації, виснаження та оптимізувати освітній процес для збереження здоров'я студентської молоді.

Об'єкт дослідження: психофізіологічні особливості адаптації студентів до специфічних умов освітнього середовища.

Предмет дослідження: динаміка показників розумової працездатності (швидкості переробки інформації, якості роботи/точності, продуктивності), залежно від профілю навчання студентів.

Метою роботи було виявлення особливостей впливу навчального навантаження на психофізіологічний стан студентів зі спеціальності “А6 Спеціальна освіта”, а також порівняння динаміки показників їх розумової працездатності в процесі навчання на різних спеціалізаціях – “Логопедія” та “Ортопедагогіка”.

Завдання дослідження:

1. Дослідити зміни функціонального стану ЦНС студентів-логопедів та ортопедагогів на обраних спеціальностях.
2. В порівняльному аспекті оцінити наявність ознак втоми або невротизації у студентів обох груп, у зв'язку із професійною специфікою їх навчання.
3. Визначити ті явища, що впливають на ефективність розумової працездатності в різних студентських колективах.

Організація та методи дослідження. Для дослідження були обрані групи студентів другокурсників, які навчалися на споріднених спеціалізаціях в межах однієї спеціальності А6 “Спеціальна освіта”: студенти ННІ фізичної культури, спорту і здоров'я спеціалізації А6.03 “Ортопедагогіка” (24 осіб) та студенти ННІ педагогічної освіти, соціальної роботи і мистецтва спеціалізації А6.01 “Логопедія” (22 осіб).

Дослідження функціонального стану ЦНС проводились в середині другого семестру навчання за методикою коректурних проб за літерними таблицями Анфімова. Тестування здійснювалося шість разів – на початку та в кінці навчального тижня: тричі в вівторок (день найвищої працездатності) перед першою парою, на початку другої пари та після четвертої пари) і тричі в п'ятницю (день зниження працездатності) в ідентичні години. Визначались показники швидкості та якості коректурної роботи кожного студента, з подальшим визначенням продуктивності його роботи та загалом всього колективу.

Показник швидкості переробки інформації (кількісний показник), що визначав темп роботи та обсяг зорової інформації, яку студент зміг опрацювати, визначався за формулою:

$$A = N/t, \dots\dots\dots 1$$

де: А – швидкість (кількість знаків за одиницю часу); N – загальна кількість переглянутих знаків; t – час роботи (у секундах або хвилинах: в даному випадку використовувався двох хвилинний часовий проміжок).

Показник якості роботи характеризує точність виконання роботи та здатність до концентрації:

$$P = n/m, \dots\dots\dots 2$$

де: Р – якість роботи (точність); n - кількість правильно закреслених знаків; m - загальна кількість знаків, які потрібно було закреслити (на переглянутій частині тексту).

За співвідношенням якісних та кількісних показників проводилась індивідуальна інтегральна оцінка функціонального стану ЦНС окремого студента – коефіцієнт розумової продуктивності, що є інтегральним показником, що поєднує і швидкість, і якість роботи та дозволяє порівнювати результати у студентів різних груп (спеціалізацій):

$$Q = N \times P, \dots\dots\dots 3$$

де: Q – коефіцієнт продуктивності (ефективність роботи; ум./од.); N – загальна кількість переглянутих літер; P – показник точності (див. формулу 2).

З урахуванням співвідношення кількісних і якісних характеристик, оцінки коректурної роботи студентів ділилися на п'ять груп (відмінно, добре, задовільно, незадовільно, погано). Далі обстежувані показники розподілялися на три основних рівні, об'єднуючи крайні результати: I – відмінні і добрі показники об'єднувалися у сприятливі; II – незадовільні і погані показники об'єднувалися у несприятливі; III – задовільні, як середні значення, залишалися незмінною групою. Такий розподіл надав можливість за співвідношенням сприятливих і несприятливих результатів вирахувати продуктивність роботи колективу в цілому (ум./од.):

$$P = СП/НП, \dots\dots\dots 4$$

де: П – продуктивність колективу (ум./од.); СП – сприятливі показники (%); НП – несприятливі показники (%).

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12. Отримані в ході досліджень дані попадали під закон нормального розподілу, що перевірялось методом Шапіро-Уїлкі. Для з'ясування відмінностей у середніх показниках порівнюваних груп використовувався t-критерій Стьюдента.

Результати дослідження та обговорення. Обробка первинних результатів коректурних проб у студентів, що навчаються за спеціальністю «Спеціальна освіта», але за різними освітніми програмами (А6.01 «Логопедія» і А6.03 «Ортопедагогіка») показала, що у студентів спортивно-педагогічного профілю нервова система здатна обробляти більший потік інформації, ніж у студентів гуманітарно-педагогічного профілю ($p < 0,05$):

- кількість переглянутих майбутніми «ортопедагогами» знаків становить $442,73 \pm 4,47$ зранку до занять, $479,62 \pm 6,19$ знаків на початку другої пари та $410,25 \pm 4,43$ знаків після четвертої пари;
- кількість переглянутих майбутніми «логопедами» знаків становить $413,95 \pm 4,19$ до занять, $422,67 \pm 5,30$ знаків в період найвищої працездатності (початок другої пари), $407,15 \pm 4,90$ знаків після закінчення навчальних занять.

Проведені дослідження точності виконання роботи вказали на певний "компенсаторний ефект", що проявляється у вищій стійкості уваги у студентів-логопедів, які допускали в середньому $3,41 \pm 0,52$ – $4,61 \pm 0,61$ помилок, натомість студентами-ортопедагогами припускалося $6,43 \pm 0,45$ – $8,61 \pm 0,57$ помилок.

Характер помилок в обстежуваних групах вирізнявся тим, що здебільшого проявлявся у пропусках символів у "ортопедагогів" і в заміні схожих символів у "логопедів".

Тобто "ортопедагоги" працюють у високому темпі, але можуть припускатися помилок/пропусків через імпульсивність або занадто швидке перемикавання уваги, що може бути характерним для студентів, що обрали інститут фізичної культури. Навчання "логопедів" передбачає більш високу концентрацію на деталях (фонемі, артикуляція, дрібні графічні елементи), і їхня нервова система частіше налаштована на стратегію «якість понад швидкість» [9,10]. Вони працюють повільніше, ретельніше, що мінімізує кількість пропусків чи помилок.

Інтегральні показники розумової працездатності на протязі тижня дали змогу порівняти рівні виконання коректурної роботи студентів.

Таблиця № 1.

Динаміка функціонального стану ЦНС під впливом навчального навантаження

ОПП "Ортопедагогіка" (P±m)			
Результати	до занять	перед 2-ою парою	після 4-ої пари
Відмінно	7,17±1,44	16,2±2,06*#	8,66±1,95
Добре	30,73±2,5	25,23±2,42	24,61±2,4
Задовільно	39,25±2,73	35,71±2,67	42,67±2,73
Незадовільно	19,11±2,32	21,98±2,28	22,81±2,3
Погано	3,74±1,06	0,88±0,76	1,25±1,15
ОПП "Логопедія" (P±m)			
Результати	до занять (P±m)	перед 2-ою парою	після 4-ої пари
Відмінно	4,05±1,1	9,66±1,65*	6,85±1,41
Добре	21,17±2,45	28,09±2,61	26,48±2,46
Задовільно	45,79±2,78	30,52±2,57**	38,01±2,71*
Незадовільно	23,38±2,16	26,43±2,33	19,94±2,23
Погано	5,61±1,28	5,3±1,25#	8,72±1,97#

Примітки: * – статистично значущі різниці показників (збільшення/зменшення) впродовж дня, у зрівнянні з попереднім, на рівні $p < 0,05$; ** на рівні $p < 0,01$;

– статистично значуща різниця відповідних показників у порівнюваних групах ($p < 0,05$).

Як видно із таблиці № 1, обидві групи демонструють явище “впрацьовування” перед 2-ою парою:

- у "ортопедагогів" зростання відмінних показників з 7,17±1,44% до 16,2±2,06% ($p < 0,05$) і тенденція до зменшення незадовільних і поганих результатів;
- у "логопедів" вагоме зниження задовільних показників з 45,79±2,78% до 30,52±2,57% ($p < 0,01$) на користь підвищення відмінних з 4,05±1,1% до 9,66±1,65% ($p < 0,05$).

Оскільки період другої пари для обох спеціальностей виявився часом піку працездатності, його варто використовувати для виконання найскладніших завдань, введення концептуально нових і складних тем, які потребують глибокого аналізу.

Загальною спільною рисою в обстежуваних групах є наростання втоми до кінця 4-ої пари, проте характер змін розумової працездатності відрізняється:

- на спеціальності "Ортопедагогіка" демонструється потужніший мобілізаційний підйом, – студенти мають майже 40% відмінних і добрих результатів на початку навчального дня (відповідно, $7,17 \pm 1,44\%$ та $30,73 \pm 2,5\%$) та в середині дня (відповідно, $16,2 \pm 2,06\%$ і $25,23 \pm 2,42\%$), що знижується до кінця навчальних занять;
- студенти-логопеди відрізняються більшою стабільністю в категорії "добре" та відмінно, але мають вищий, порівняно з "ортопедагогами" ($p < 0,05$), рівень негативних показників ("погано" $5,3 \pm 1,25\%$ проти $0,88 \pm 0,76\%$ в середині дня і незадовільно $8,72 \pm 1,97\%$ і $1,25 \pm 1,15\%$ наприкінці дня). Отже студенти-логопеди демонструють ознаки більш глибокої втоми після 4-ої пари, що може свідчити про вищу психоемоційну напруженість або слабші адаптаційні механізми ЦНС. На нашу думку отримання таких результатів пояснюється декількома факторами, пов'язаними зі специфікою навчання та професійної підготовки цих груп. Студенти інституту фізкультури ("Ортопедагогіка") мають вищу щоденну рухову активність, а як відомо, регулярні навантаження покращують кровообіг у мозку, насичують його киснем та стимулюють нейропластичність, що прямо корелює з високою розумовою працездатністю та швидкістю реакції [3,8]. У студентів гуманітарного профілю "Логопедія" втома при одноманітній роботі з символами може наступати швидше через меншу загальну витривалість нервової системи.

Для деякого спрощення сприймання матеріалу і подальшого побудови "профілю працездатності" колективу (групи) п'ять груп оцінок коректурної роботи (відмінно, добре, задовільно, незадовільно, погано) були об'єднані в три: сприятливі результати (відмінні і добрі), задовільні, несприятливі (незадовільні і погані). За зведеною таблицею, можна визначити спільні та відмінні риси розподілу результатів коректурної роботи, а отже стану розумової працездатності впродовж навчального дня студентів спеціальності А6 "Спеціальна освіта" (табл. 2).

Таблиця № 2.

Співвідношення інтегральних характеристик стану ЦНС студентів спеціальності А6 "Спеціальна освіта"

Угрупованні інтегральні показники коректурної роботи			
Показники	до занять ($P \pm m$)	перед 2-ою парою ($P \pm m$)	після 4-ої пари ($P \pm m$)
ОПП "Ортопедагогіка"			
сприятливі	$37,90 \pm 2,43##$	$41,43 \pm 2,44$	$33,27 \pm 2,33$
задовільні	$38,34 \pm 2,02$	$39,91 \pm 2,04\#$	$21,76 \pm 1,71$
несприятливі	$22,85 \pm 1,74$	$22,85 \pm 1,74$	$24,06 \pm 1,76$
Спеціальність "Логопедія"			
сприятливі	$25,22 \pm 1,84$	$37,75 \pm 2,54$	$33,33 \pm 2,48$
задовільні	$45,79 \pm 2,78\#$	$30,52 \pm 2,57$	$38,01 \pm 2,71##$
несприятливі	$28,99 \pm 1,93$	$31,73 \pm 2,51\#$	$28,66 \pm 1,93$

Примітка: # - статистично значуща різниця при порівнянні відповідних показників в обстежуваних групах на рівні $p < 0,05$; ## - на рівні $p < 0,01$.

Аналіз інтегральних показників коректурної роботи дозволяє оцінити динаміку нервових процесів, їх силу та стійкість в колективі протягом навчального дня. Спільною позитивною рисою в обстежуваних групах є вищий відсоток сприятливих або задовільних реакцій ($30,52 \pm 2,57\%$ - $45,79 \pm 2,78\%$) та нижчий несприятливих результатів ($22,85 \pm 1,74\%$ - $31,73 \pm 2,51\%$) в першій половині дня, що вказує на ще не розтрачений потенціал працездатності студентів у другому півріччі навчання (рис. 1). Відсоток несприятливих робіт після занять не має вираженої тенденції до підвищення, що також підтверджує ефективну

адаптацію ЦНС студентів до навчального навантаження. Тому паралельно можна зробити висновок, що навчальне навантаження не висуває підвищених вимог до функціонального стану нервової системи, оскільки переважна більшість студентів спроможні підтримувати сталий рівень швидкості переробки інформації та якості роботи (точності та концентрації) при виконанні завдань до кінця 4-ї пари.

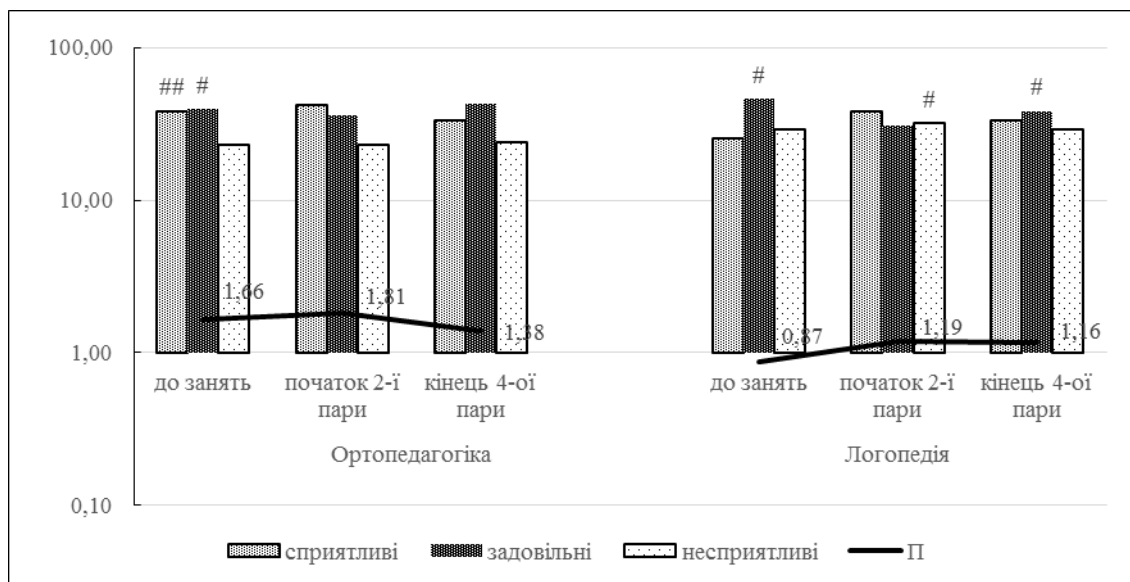


Рис.1. Профіль розумової працездатності студентів спеціальностей "Ортопедagogіка" і "Логопедія" протягом навчального дня: # - статистично значуща різниця при порівнянні відповідних показників в обстежуваних групах на рівні $p < 0,05$; ## - на рівні $p < 0,01$.

Підтвердженням цього служить і загальний показник працездатності (П) обох студентських колективів. Для оцінки загального стану колективу вираховується коефіцієнт продуктивності (переваги) – П, котрий визначається відношенням відмінних та добрих результатів до негативних та поганих (при $P \geq 1$ – характер показників розумової працездатності колективу вважається позитивним).

Так, в групі "Ортопедagogіка" коефіцієнти працездатності впродовж всього навчального дня є вищими за одиницю (нагадаємо, що критичний рівень $P < 1$), хоча й відмічається досить виражений процес втоми в групі, що простежується за перерозподілом «сприятливих» та «задовільних» станів (табл. 2, рис. 1).

Загалом, згідно коефіцієнтів переваги, розумову працездатність студентів-ортопедagogів можна вважати позитивною та досить високою, з вираженим моментом підйому рівня на 2-ій парі ($P=1,66 \rightarrow 1,81 \rightarrow 1,38$ ум./од.). Колектив студентів-логопедів демонструє дещо знижену працездатність на початку навчального дня ($P=0,87$ ум./од.), що змінюється класичним «впрацьовуванням» в середині дня ($P=1,19$ ум./од.) і зберігає продуктивність до завершення навчального дня ($P=1,16$ ум./од.).

Таким чином, вища продуктивність інтелектуальної роботи студентів спеціальності "Ортопедagogіка" (Інститут фізичної культури, спорту і здоров'я) порівняно зі студентами спеціальності "Логопедія" (Інститут педагогічної освіти, соціальної роботи і мистецтва), зумовлена систематичними фізичними навантаженнями, які є невід'ємною частиною підготовки студентів в даному інституті. Адже регулярні фізичні вправи передбачають розвиток швидкої реакції, що забезпечує їм перевагу в завданнях, потребуючих високої швидкості переробки інформації. Додатковим чинником виступає предикція вибору спеціальності: галузі, пов'язані з фізичною культурою, частіше обирають активні люди, з вираженою реактивністю.

На відміну від ортопедагогів, майбутні логопеди працюють повільніше, але уважніше, що є також специфічною особливістю навчальної підготовки фахівців. Вища якість роботи студентів спеціальності "Логопедія" виражається вищими показниками точності виконання завдань ($p < 0,05$), що передбачає високу концентрацію на деталях, - необхідну якість для обраної професії.

При вивченні режиму життєдіяльності студентів другокурсників, звертає увагу дуже низький рівень рухової активності студентів -логопедів, який складає $121,64 \pm 17,22 - 148,73 \pm 18,01$ хв./добу, покриває в середньому лише $39,05 - 41,15\%$ мінімальної її норми. Отримані результати не є фрагментарними, оскільки в дослідженнях Головченко О.І., низьку РА мали близько 40% респондентів [1]. На відміну від останніх, специфіка навчання в ННН фізичної культури забезпечує у студентів-ортопедагогів більшу відповідність рухової активності фізіолого-гігієнічним нормам, склавши $236,34 \pm 18,16 - 253,62 \pm 18,48$ хв./добу ($p < 0,01$), що забезпечує близько 84% від гігієнічної норми. Активація кровообігу в процесі рухової активності підвищує швидкість нейродинамічних процесів, що й спостерігається у студентів-ортопедагогів (вища швидкість переробки інформації). Тож роль фізичної культури у формуванні здоров'я людини виняткова, і тому в способі життя студентів має посилитися увага до рухової активності, як засобу збереження розумової працездатності.

Висновки

1. Хоча спеціалізації "Логопедія" та "Ортопедагогіка" належать до однієї галузі "Спеціальної освіти", різний характер навчального навантаження та різна специфіка освітньо-професійних програм зумовлюють відмінності у динаміці показників розумової працездатності впродовж навчального дня. Зокрема, у майбутніх ортопедагогів (ННІ фізичної культури) спостерігаються вищі показники швидкості опрацювання інформації та загальної продуктивності, тоді як для студентів-логопедів (ННІ педагогічної освіти) характерною є стабільність якісних характеристик виконання завдань. Такі відмінності одночасно зумовлені специфікою навчання та різною фізичною активністю.

2. Результати досліджень доводять доцільність моніторингу нейродинамічних показників для ідентифікації станів дезадаптації та втоми здобувачів освіти та верифікації раціональності структури й змісту навчальних планів. Водночас, характеризуючи психофізіологічний потенціал студентів, виступають предиктором їхньої подальшої професійної придатності в певній галузі.

Перспективи подальших досліджень. Дискусійними залишаються вивчення питань взаємозв'язку обсягу рухової активності з функціональною здатністю нервової системи пристосовуватися до високих вимог навчання у ВНЗ, оскільки забезпечення оптимальної її величини є необхідною умовою збереження розумової працездатності студентської молоді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Висотченко, С. В., Зайцева, І. В. (2022). Психологічні особливості навчання студентів. Інноваційна педагогіка, Вип. 44(1), 56–59. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2022/44/1.11>
2. Головченко, О. І. (2024). Оцінка фізичної активності студентів спеціальності спеціальна освіта логопедія // Актуальні проблеми громадського здоров'я : збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Освіта і здоров'я». Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 1 (8), 20–23.
3. Зеніна, І. В., Гаврилова, Н. М., & Кузьменко, Н. (2022). Вплив фізичних вправ на організм студентів. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15, (1(145)), 47-50. DOI: [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.1\(145\).12](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.1(145).12)
4. Коробейнікова, Л. Г., Коробейніков, Г. В., Радченко, Ю. А., & Данько, Т. Г. (2016). Діагностика психофізіологічного стану організму як одна з ключових проблем спортивної медицини. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія, (1), 3–10. DOI: <https://doi.org/10.32652/spmed.2016.1.3-10>
5. Кулешова, В., Самойлова, І., Мальована, В. (2023). Підготовка здобувачів спеціальної освіти до роботи в умовах сьогодення. Інноваційна педагогіка, № 59, 90-93 DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2023/59.18>
6. Малишевська, І. (2016). Підготовка спеціальних педагогічних фахівців до роботи в умовах інклюзивного освітнього середовища. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології, 8, 264-274. DOI: [https://doi.org/10.35387/od.1\(17\).2020.59-67](https://doi.org/10.35387/od.1(17).2020.59-67)

7. Мізюк, В. А., Кирста, Н. Р., & Дідух, І. Я. (2025). Роль soft skills у сучасній освіті: від розвитку емоційного інтелекту до лідерських навичок. Педагогічна Академія: наукові записки, (23). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17410487>
8. Рядова, Л. О., Подмарьова, І. А., Цигановська, Н. В., Гончар, В. В., & Батулін, Д. С. (2022). Вплив фізичних вправ на фізичний та функціональний стан здобувачів вищої освіти: теоретичний аспект. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15, (8(153)), 79-82. DOI: [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.8\(153\).18](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.8(153).18)
9. Стахова, О. О. (2025). Психологічні особливості розвитку стресостійкості майбутніх педагогів-логопедів. Наукові записки. Серія: Психологія, (1), 145–151. DOI: <https://doi.org/10.32782/cusu-psy-2025-1-19>
10. Турубарова, А. В., Клочкова, Ю. В., Король, А. В. (2024). Критерії та показники готовності логопедів до роботи з гетерогенними групами дітей. Inclusion and Diversity, № 3, 77–81. DOI <https://doi.org/10.32782/inclusion/2024.3.14>
11. Tretyak, T. O., KofanI, M., Znanetska, O. M., Boyechko, F. F., & Severynovska, O. V. (2021). Neurophysiological mechanisms and features of autonomic support of productive cognitive activity of intuitive type in young adults . Regulatory Mechanisms in Biosystems, 12(2), 181-191. DOI: <https://doi.org/10.15421/022126>

REFERENCES

1. Vysotchenko, S. V., Zaitseva, I. V. (2022). Psychological features of students' learning. Innovative pedagogy. 44(1), 56–59. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2022/44/1.11>
2. Golovchenko, O. I. (2024). Assessment of physical activity of students majoring in special education speech therapy // Current problems of public health: collection of scientific papers of the XIV International Scientific and Practical Conference "Education and Health". Sumy: SumSPU named after A. S. Makarenko, 1 (8), 20–23.
3. Zenina, I. V., Gavrylova, N. M., & Kuzmenko, N. (2022). The impact of physical exercise on the body of students. Scientific journal of the Mykhailo Dragomanov Ukrainian State University, 15, (1(145)), 47-50. DOI: [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.1\(145\).12](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.1(145).12)
4. Korobeynikova, L. G., Korobeynikov, G. V., Radchenko, Yu. A., & Danko, T. G. (2016). Diagnosis of the psychophysiological state of the organism as one of the key problems of sports medicine. Sports medicine, physical therapy and occupational therapy, (1), 3–10. DOI: <https://doi.org/10.32652/spmed.2016.1.3-10>
5. Kuleshova, V., Samoilo, I., Malyovana, V. (2023). Preparation of special education students for work in today's conditions. Innovative pedagogy, 59, 90-93 DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2023/59.18>
6. Malyshevska, I. (2016). Training of special pedagogical specialists to work in an inclusive educational environment. Pedagogical Sciences: Theory, History, Innovative Technologies, 8, 264-274. DOI: [https://doi.org/10.35387/od.1\(17\).2020.59-67](https://doi.org/10.35387/od.1(17).2020.59-67)
7. Mizyuk, V. A., Kyrsta, N. R., & Didukh, I. Ya. (2025). The role of soft skills in modern education: from the development of emotional intelligence to leadership skills. Pedagogical Academy: scientific notes, (23). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17410487>
8. Ryadova, L. O., Podmaryova, I. A., Tsyganovska, N. V., Gonchar, V. V., & Batulin, D. S. (2022). The influence of physical exercises on the physical and functional state of higher education students: a theoretical aspect. Scientific Journal of the Mykhailo Drahomanov Ukrainian State University. Series 15, (8(153)), 79-82. DOI: [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.8\(153\).18](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.8(153).18)
9. Stakhova, O. O. (2025). Psychological features of the development of stress resistance in future speech therapist teachers. Scientific notes. Series: Psychology, (1), 145–151. DOI: <https://doi.org/10.32782/cusu-psy-2025-1-19>
10. Turubarova, A. V., Klochkova, Y. V., Korol, A. V. (2024). Criteria and indicators of speech therapists' readiness to work with heterogeneous groups of children. Inclusion and Diversity, 3, 77–81. DOI <https://doi.org/10.32782/inclusion/2024.3.14>
11. Tretyak, T. O., KofanI, M., Znanetska, O. M., Boyechko, F. F., & Severynovska, O. V. (2021). Neurophysiological mechanisms and features of autonomic support of productive cognitive activity of intuitive type in young adults . Regulatory Mechanisms in Biosystems, 12(2), 181-191. DOI: <https://doi.org/10.15421/022126>

Svietlova O., Pakushyna L., Savytska O.

FUNCTIONING OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM AND FEATURES OF MENTAL PERFORMANCE OF STUDENTS OF VARIOUS SPECIALTIE

Abstract. The article is devoted to the study of functional changes in the central nervous system under the influence of academic workload in students of two specializations, "Speech Therapy" and "Orthopedagogy" within the specialty A6 "Special Education".

Materials and Methods. The study, conducted in the middle of the second semester, involved students of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture, Sports and Health specializing in A6.03 "Orthopedagogy" (24 participants), and students of the Educational and Scientific Institute of Pedagogical

Education, Social Work and Art specializing in A6.01 “Speech Therapy” (22 participants). Indicators of the functional state of the central nervous system (CNS) were assessed using the proofreading test method modified by M. S. Grombach. Testing was conducted before the beginning of the first class, at the beginning of the second class, and at the end of the fourth class twice a week (Tuesday and Friday). Average indicators of the speed and quality of proofreading performance were determined. Based on the ratio of qualitative and quantitative indicators, an individual integral assessment of the level of mental performance of each student and the group as a whole was carried out. For each group, the coefficient representing the ratio of cases with high and low integral assessments was calculated.

Results. The study established that the volume and complexity of the educational material corresponded to the psychophysiological capabilities of students in both groups. This is evidenced by the relatively stable dynamics of intellectual work productivity indicators throughout the academic day ($P = 1.66$ a.u. – 1.38 a.u. and $P = 0.87$ a.u. – 1.16 a.u.). However, the daily dynamics of psychophysiological indicators among students of related specializations differed significantly. Students specializing in A6.03 “Orthopedagogy” demonstrated a higher speed of information processing ($p < 0.05$ – $p < 0.01$). This may be explained by their higher level of motor activity, which stimulates brain neuroplasticity. In contrast, students specializing in A6.01 “Speech Therapy” demonstrated better qualitative indicators throughout the academic day than the Orthopedagogy students ($p < 0.05$). This suggests a high level of concentration on details associated with the specific nature of their training.

Conclusions. Monitoring neurodynamic indicators makes it possible not only to diagnose fatigue states and assess the adequacy of academic workload, but also to use these indicators as criteria for evaluating psychophysiological potential and predicting students’ professional aptitude.

Keywords: students; central nervous system, functioning; mental performance, special education.

Надійшла до редакції / Received: 20.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

Віталій Васильович Шпанюк

PhD, центр ліцензування УАФ, Україна
coach7194@gmail.com

ORCID ID: <https://0000-0002-1147-8603>

Юрій Васильович Сіянов

тренер футбольного клубу «Пахтакор» Ташкент, Узбекистан
yura32siyanov@gmail.com

ORCID ID: <https://0009-0004-6808-5028>

Віталій Олександрович Пустовалов

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
v_pustovalov@ukr.net

ORCID ID: <https://0000-0002-8625-6175>

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ФУТБОЛІСТІВ У РІЗНИХ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМАХ БІГУ

Анотація. У футболістів під час офіційних ігор та у тренувальному процесі досліджували особливості фізичної активності у різних швидкісних режимах. **Матеріали та методи.** У 36 футболістів (вік: $24,72 \pm 0,82$ роки, зріст: $181,1 \pm 0,01$ см, маса тіла: $73,95 \pm 1,15$ кг, тренувальний вік: $17,50 \pm 0,82$ року), які грали в одній команді, визначали рухову активність у 46 матчах Чемпіонату Узбекистану (Прем'єр ліга), кубка Узбекистану та Ліга чемпіонів (АFC). Число спостережень становило $n=317$. Аналізували участь футболістів у збірних своїх країн (30 гравців – 83,3 %) та національної збірної (17 осіб – 47,2 %). Результати отримані лише у польових гравців. Футболісти мали грати у стартовому складі, і не замінюватися до кінця гри. Системою трекінгу Satarult Vector X7 та S7 вимірювали довжину дистанції (S, м), яку футболісти пробігали у різних швидкісних режимах. **Результати.** Середня дистанція фізичної активності за матч (S) становила – $10301,54 \pm 120,64$ м. Дистанція, пройдена за перший тайм, була практично такою, як і у другому: $5164,55 \pm 66,82$ м. та $5136,99 \pm 60,55$ м. ($p=0,509$). У режимі бігу на низькій швидкості (LIR1) дистанція дорівнювала – $3533,8 \pm 139,40$ м. Фізична активність LIR1 у першому таймі була – $1731,6 \pm 70,6$ м. статистично значуще менша, ніж – $1802,1 \pm 69,1$ м. у другому ($p \leq 0,001$). У низько інтенсивній зоні (LIR2) за гру гравці пробігали – $3722,60 \pm 72,51$ м. Статистично значущу більшу дистанцію пробігали гравці у першому таймі – $1885,90 \pm 38,98$ м., ніж у другому $1836,70 \pm 37,09$ м. ($p=0,040$). Аналіз пройденої дистанції в режимі аеробного бігу (R) футболісти показали результат – $2031,07 \pm 111,27$ м. Порівняння за таймами виявили статистично значущу більшу дистанцію у першому таймі $1038,72 \pm 62,02$, ніж у $992,35 \pm 50,98$ у другому ($p=0,047$). Аналіз рухової активності футболістів у зоні високошвидкісного бігу (HSR) та спринту (SD) виявив статистично значущі відмінності між таймами ($p < 0,05$). Результати фізичної активності за гру у зоні HSR були – $765,27 \pm 42,72$ м., а у SD $172,98 \pm 11,50$ м. Порівняння максимальної індивідуальної швидкості бігу виявило, що вона у більшості гравців (64%) була вища у тренувальному процесі. Гравців, які досягли максимальної швидкості бігу в іграх, як правило, у першому таймі (67%). **Висновки.** Представлені результати та технологія моніторингу фізичної активності футболістів у різних режимах бігу дозволяє планувати тренувальну та змагальну діяльність з урахуванням індивідуального рівня рухової активності гравців.

Ключові слова: фізична активність, швидкість переміщення, система трекінгу, GPS, максимальна швидкість.

Актуальність. Футбол – є не лише популярний, а й один із технологічних видів спорту. Багато сучасних технологій використовуються у футболі, що допомагає гравцям і тренерам у досягненні максимальної продуктивності у тренувальному процесі та іграх. Сучасні технологічні інновації прокладають шлях до нової ери футболу. Гравці мають можливість контролювати тренувальне навантаження, а тренери отримувати інформацію на

основі онлайн даних для покращення прийняття рішень у грі та тренувальному процесі. Крім того, медичний персонал має доступ до інформації для моніторингу за функціональним станом та здоров'ям гравців. Технологічні інновації, що застосовуються у сучасних умовах, покращують саму гру та допомагають командам отримати конкурентну перевагу над опонентами на полі [13].

Зазначимо, що за останні роки у футболі суттєво зросли вимоги до елітних гравців, внаслідок чого виникла потреба в оптимізації фізичних навантажень під час підготовки до матчів. Рівень рухової активності гравців у футболі найчастіше вирішує результат матчів [22]. Найбільш важливі фактори, що впливають на ефективність гравців є здатність до повторних спринтів та швидкість відновлення після виконання ігрових завдань високої інтенсивності [26].

На сучасному етапі розвитку футболу моніторинг фізичної активності гравців є поширеною та легко доступною технологією дослідження. Обладнання GPS-систем та пристрої, що використовують для відстеження, та збору даних про фізичну активність гравців під час тренувань і змагань [32]. Ці пристрої можуть вимірювати пройдену відстань, швидкість, прискорення, частоту серцевих скорочень, теплову карту пересування та інші параметри, що дозволяє тренерам оцінювати продуктивність гравців та розробляти індивідуальні тренування для кожного з них. Крім цього, тренер може визначити, індивідуальні функціональні можливості спортсменів та розуміти доцільність його використання на тій чи іншій позиції або обраній тактиці в конкретній грі [4].

Від моніторингу фізичної активності гравців до аналізу техніко-тактичних командних взаємодій та штучного інтелекту **GPS-системи** надають командам та гравцям нові способи підвищення їх продуктивності. Нові технології, що широко використовуються у футболі, впливають не лише на спосіб ведення гри її тактичний аналіз по ходу матчу та побудову тренувального процесу у футболі, але й на підбір гравців у команду та складу на конкретну гру. Тренер, формує оптимальний склад та вибирає тактичну схему гри. Він повинен розуміти, чи зможуть футболісти виконати поставлене їм тактичне завдання, виходячи з їх індивідуальних фізичних та функціональних можливостей. Сучасні технології допомагають тренерам визначити результативність гравців у ході матчів та покращити ефективність тренувального процесу [27].

В цілому, стратегія оцінки фізичної підготовленості футболістів за допомогою GPS-системи є широко використовуваним методом. Така технологія у футболі дозволяє оцінювати відстань у різних діапазонах швидкостей, середню швидкість та максимальну кількість спринтів для кожного спортсмена під час ігор та тренувань [9]. Відомо, що за матч футболіст в середньому долає від – 9 до 13,5 км [5, 23]. Однак через нерівномірний характер гри загальна пройдена відстань є досить поверховим методом оцінки фізичної працездатності гравців під час матчу [1]. Виникає необхідність враховувати кількість та частоту високошвидкісного бігу та інших дій, таких як прискорення та гальмування, що виконуються гравцями з максимальною інтенсивністю.

Швидкість спринту є одним із найважливіших компонентів сучасного футболу, оскільки вона безпосередньо впливає на ключові ігрові моменти, такі як можливості для взяття воріт та здійснення оборонних дій [15]. Тим не менш, звичайні швидкісні тренування протягом сезону часто дають мінімальні ефекти [13, 16]. Максимальна швидкість часто не береться до уваги в командних видах спорту через більш короткі відстані в іграх. Але може запропонувати багато переваг спортсменам командного виду спорту. Найбільш вірогідним підходом для гравців є часті повторення спринту [14].

Ми припускаємо: 1) що результати бігу у різних швидкісних режимах у офіційних іграх, між таймами будуть відрізнятися; 2) максимальна швидкість бігу у більшості гравців буде проявлятися під час офіційних ігор, а не в ході тренувальних занять.

Мета роботи – з'ясувати особливості фізичної активності футболістів у різних швидкісних режимах під час тренувальних занять і офіційних ігор та порівняти отримані дані з показниками провідних футбольних ліг світу.

Матеріали та методи дослідження. В експерименті взяли участь 36 елітних футболістів (Прем'єр ліга Узбекистану, сезони 2022-24 рр). Дослідження були схвалені комісією з біомедичної етики, а обстежувані ознайомлені з метою дослідження та дали згоду. Експериментальний план передбачав проведення дослідження в офіційних ігрових змагальних умовах та під час навчально-тренувального процесу. Для всіх обстежуваних дотримувалися єдиного режиму дослідження. Поряд із комплексною оцінкою офіційних ігор досліджували фізичну активність у різних швидкісних режимах. Визначали значення пройденої дистанції в швидкісних режимах: зони швидкості 0-2 м/с – 0-7,2 км/год (ходьба, walking), 2-4 м/с – 7,2 - 14,4 км/год – біг 4-5,5 м/с та 14,4 - 19,8 км/год – аеробний біг (running), 5,5-7 м/с – 19,8 - 25,2 км/год – швидкісний біг (high-speed running), спринт (sprinting) – > 25,2 км/год встановлені в аналогічних дослідженнях [20, 28].

Дані про зовнішнє навантаження збирали з використанням системи глобального позиціонування (GPS) (Catapult Sports, Мельбурн, Австралія) із частотою дискретизації – 10 Гц. Кожен учасник носив GPS-пристрій між лопатками у жилеті, що щільно облягав тулуб. Дані завантажували та зберігали у електронній таблиці.

У футболістів, визначали основні антропометричні та статистичні показники: вік, зріст (м), вага (кг), термін заняття футболом (р.), оцінювали кваліфікацію та опитували: чи залучався до ігор збірних своїх країн.

Дослідження фізичної активності футболістів у польових умовах проводили за допомогою систем трекінгу Catapult Vector X7 та S7 під час календарних ігор у чемпіонаті Узбекистану з футболу, Кубка країни та ігор Ліги чемпіонів AFC. Визначали пройдену відстань у швидкісних режимах (S, м), яку футболісти долали в цілому за гру та в кожному таймі окремо та дистанції у різних швидкісних режимах: V1 (LIR1), V2 (LIR2), V3 (R), V4 (HSR), V5 (SD). За допомогою бази даних (cloud) системи трекінгу «Catapult» Vector та програмного забезпечення консоль OpenField (версія 3.11.0) визначали індивідуальні максимуми швидкості для учасників експерименту. Її фіксували під час всіх тренувань і офіційних ігор.

Для обробки результатів дослідження був застосований статистичний аналіз, що входить до програмного пакету «аналіз даних» Microsoft® Excel® 2019. Перевірку даних на нормальність розподілу проводили з використанням критерію «Shapiro-Wilk test», який є найефективнішим критерієм перевірки гіпотези щодо належності вибірки до нормального закону розподілу. Дані, що підпали під закон нормального розподілу, представлені як середні значення та похибка середнього арифметичного ($M \pm m$). Рівень статистичної значущості приймали як $p < 0,05$ [19].

Результати дослідження. У період проведення календарних ігор у чемпіонаті Узбекистану з футболу сезонів 2022, 2023 та 2024 р. досліджували загальну та спеціальну фізичну працездатність у польових умовах. Визначали загальну дистанцію та дистанцію у різних швидкісних режимах. Для дослідження фізичної активності та працездатності під час гри використовували системи трекінгу «Catapult» Vector X7 та S7. За цей час команда провела 46 ігор.

За результатами дослідження фізичної активності в польових умовах, середня дистанція, яку долали гравці за гру, склала – $10\ 301,54 \pm 120,64$ м., а час гри становив – 99:09 хв. Результати дослідження фізичної активності футболістів у різних рухових режимах під час ігор представлені у таблиці 1.

Загальна дистанція, у першому таймі, яку долали гравці, становила – $5\ 164,55 \pm 66,82$ м і була практично аналогічною другому тайму – $5\ 136,99 \pm 60,55$ м при цьому статистично значимої різниці нами не виявлено ($p = 0,509$).

Порівняння результатів фізичної активності футболістів в умовах ігрової діяльності в режимі бігу LIR1 між першим – $1\ 731,68 \pm 70,62$ м і другим – $1\ 802,14 \pm 69,18$ м таймами нами було виявлено статистично значущу різницю $p \leq 0,001$.

Таблиця 1

Довжина дистанції (S, м), за гру та в різних швидкісних режимах
(n = 317)

Досліджувані показники	За гру	Швидкісні режими					
		LIR1	LIR2	R	HSR	SD	
		Vel B1 Tot Dist (0-7,2 км/год)	Vel B2 Tot Dist, (7,21 – 14,4 км/год)	Vel B3 Tot Dist (14,41 – 19,8 км/год)	Vel B4 Tot Dist (19,81 – 25,2 км/год),	Vel B5 Tot Dist (>25,21 км/год)	
За гру							
S, м	10 301,54 ± 120,64	3 533,81 ± 139,40	3 722,60 ± 72,51	2 031,07 ± 111,27	765,27 ± 42,72	172,98 ± 11,50	
1-й тайм							
S, м	5 164,55 ± 66,82	1 731,68 ± 70,62	1 885,90 ± 38,98	1 038,72 ± 62,02	384,05 ± 23,06	89,37 ± 6,08	
2-й тайм							
S, м	5 136,99 ± 60,55	1 802,14 ± 69,18	1 836,70 ± 37,09	992,35 ± 50,98	381,22 ± 20,95	83,61 ± 6,17	
t-Test: Paired Two Sample for Means - P(T<=t)	p	0,509	0,001	0,040	0,047	0,795	0,182

Результати фізичної активності футболістів в умовах ігрової діяльності в режимі бігу LIR2 показали статистично значущі відмінності між таймами $p=0,040$. У першому таймі гравці долали – $1885,90 \pm 38,98$ метрів та $1836,70 \pm 37,09$ метрів відповідно у другому таймі.

Аналіз пройденої дистанції у швидкісному режимі – R між першим ($1038,72 \pm 62,0$ м) та другим ($992,35 \pm 50,9$ м) таймами виявив статистично значущі різниці ($p=0,047$). Гравці пробігали більшу дистанцію в першому таймі ніж у другому.

Середні значення подоланої дистанції футболістами команди у швидкісному режимі HSR не виявили статистично значущих відмінностей між першим – $384,05 \pm 23,06$ м і другим – $381,22 \pm 20,9$ м таймами ($p=0,795$).

Аналіз результату бігу у швидкісному режимі спринту SD, між першим – $89,37 \pm 6,08$ м і другим ($83,61 \pm 6,17$ м) таймами не виявив статистично значущих відмінностей пройденої футболістами дистанції ($p=0,182$).

Однією з особливостей проведення чемпіонату Узбекистану, Кубка країни та офіційних міжнародних (AFC) ігор є тривалість ігор (табл. 2).

Аналіз результатів досліджень виявив значущі відмінності у подоланні дистанції у низько швидкісних режимах – LIR1 та LIR2. Для виявлення причини таких відмінностей, ми додатково проаналізували час тривалості гри в першому та другому таймах у всіх швидкісних режимах. В ході аналізу встановили, що в середньому другий тайм мав тривалість на 3 хвилини більше, ніж перший. І як видно з результатів в таблиці 2, ця різниця припадає на швидкісний режим – LIR1 і становив – 2,16 хв., (1,58%). Різниця в тривалості гри в режимі – LIR2 виявила навпаки більшу тривалість в 1 таймі, але не дуже суттєву – 0,29 хв., у 2 таймі, що відповідало – 0,73%. В високо швидкісних режимах – HSR та SD, тривалість гри була майже однаковою – 1,21 хв. та 1,19 хв. Для режиму HSR дані показники становили – 0,22 хв. та 0,21 хв. Відповідно для режиму – SD швидкісний режим R, показав трохи більшу тривалість в першому таймі – 4,5 хв та 4,3 хв відповідно у другому (0,74%).

Таблиця 2

Абсолютна (хв.) та відносна (%) тривалість гри
у різних швидкісних режимах

Досліджувані показники	За гру	Швидкісні режими				
		LIR1	LIR2	R	HSR	SD
За гру						
Час гри, хв	99:09	62:58	24:56	09:04	02:40	00:42
% від загальної дистанції	100	34,92	36,35	19,66	7,40	1,67
1-й тайм						
Час гри, хв.	48,01	29:48	12:55	04:55	01:21	00:22
% від загальної дистанції	100	33,95	36,91	20,02	7,39	1,73
2-й тайм						
Час гри, хв.	51:08	32:04	12:26	04:39	01:19	00:21
% від загальної дистанції	100	35,53	36,18	19,28	7,39	1,62

Отримані результати тривалості гри у різних режимах бігу ми згрупували для низькошвидкісних (LIR 1+ LIR 2) та високошвидкісних режимів (VHIR, HSR+SD), та провели статистичний аналіз (табл. 3).

Таблиця 3

Пройдена дистанція футболістами (S, м) у низько та високошвидкісних режимах у порівнянні між таймами

Тайми	Пройдена дистанція, м				
	TD	LIR 1+2	R	VHIR	
1 – й	5164,55 ± 66,82	3617,58 ± 93,45	1038,72 ± 62,02	473,42 ± 26,45	
2 – й	5136,99 ± 60,55	3638,84 ± 88,07	992,35 ± 5 0,98	464,83 ± 25,39	
t-Test: Paired Two Sample for Means – P(T<=t)	p	0,509	0,385	0,047	0,478

Представлені результати вказують на відсутність будь-яких істотних відмінностей обсягу рухової активності (TD), в режимі бігу з низькою швидкістю (LIR1+LIR2), і високошвидкісному режимі VHIR (HSR + SD) між таймами. Лише за показниками ігрової активності футболістів команди у швидкісному режимі – R було виявлено статистично значущу різницю між таймами ($p = 0,047$).

Особливістю отриманих результатів є те, що порівняння показників у низькошвидкісних режимах LIR1 та LIR2 між таймами ми виявили суттєві статистичні відмінності. Вразі об'єднання двох швидкісних режимів в один, статистично значущих відмінностей між таймами не виявлено.

Дослідження індивідуальної та командної максимальної швидкості бігу гравців, місце її прояву та час цієї активності представлені в таблиці 4.

За весь період експерименту (30 місяців), навчально-тренувального процесу разом з контрольними та офіційними іграми, ми визначили середню індивідуальну та командну максимальну швидкість. Встановили, що показники абсолютної швидкості бігу становили – $32,18 \pm 0,19$ км/год. Показники індивідуальної максимальної швидкості під час тренувальних занять становили – $31,94 \pm 0,2$ км/год, їх демонстрували 64% гравців, що брали участь в експерименті. Тоді як відповідні показники індивідуальної та командної максимальної швидкості офіційних ігор становили – $31,56 \pm 0,2$ км/год. Таку швидкість демонстрували – 36% гравців, що брали участь у дослідженнях.

Таблиця 4

Середня індивідуальна та командна максимальна швидкість бігу (км/год)

Досліджувані показники	Абсолютна	Тренування	Гра	1 – й тайм	2 – й тайм	t-Test: Paired Two Sample for Means – (T<=t)
						1 та 2 тайми
Середня та індивідуальна максимальна швидкість, км/год	$32,18 \pm 0,19$	$31,94 \pm 0,21$	$31,56 \pm 0,21$	$31,33 \pm 0,22$	$30,68 \pm 0,23$	0,005
%	100	64	36 % (100%)	67 %	33 %	

Порівняння, індивідуальної максимальної швидкості бігу в офіційних іграх та між таймами показали, що – 67% гравців досягли максимальну швидкість в іграх, у першому таймі – $31,33 \pm 0,2$ км/год. У другому таймі для 33% гравців була встановлена максимальна швидкість на рівні – $30,68 \pm 0,23$ км/год. Аналіз результатів показав статистично значущі різниці у прояві максимальної швидкості між таймами ($p=0,005$).

Результати експерименту щодо виявлення максимальної індивідуальної швидкості показали, що у більшості випадків індивідуальна максимальна швидкість була досягнута гравцями в ході тренувальних занять. Вищі прояви індивідуальної максимальної швидкості в ході офіційних ігор відбувався рідше, і як правило, у більшості випадків у першому таймі.

Обговорення результатів. Представлені результати досліджень фізичної активності футболістів з різною інтенсивністю бігу та визначено значення середньої для команди та індивідуальні максимальні значення швидкості.

З рис. 1 видно, що встановлені статистично значущі різниці у подоланні дистанції за гру у різних швидкісних режимах між різними таймами. Вірогідні відмінності показників спостерігалися в режимах LIR1 і LIR2, а також в режимі бігу R.

Для нас не зовсім зрозуміла така особливість результату бігу в режимах LIR1 і LIR2. На наш погляд – це національна (середньо азіатська) особливість проведення чемпіонату, особливістю якого є ментальна перевага над суперником. Команда, що досліджуються, є багаторазовим чемпіоном країни, недооцінка суперника, особливості суддівства, великі затримки в матчах у зв'язку з використанням VAR, часом початку матчів, жаркий клімат. Оскільки багато авторів у своїх роботах [3, 8, 11], доводять, що зони низьких швидкостей не мають істотного впливу на результати матчів [21], ми припускаємо, що всі ці відмінності є особливими факторами у футболі цього регіону. Більше того, коли ми згрупувати рухові режими низьких швидкостей LIR1 і LIR2 в один, статистично значущої різниці між таймами нами не виявлено.

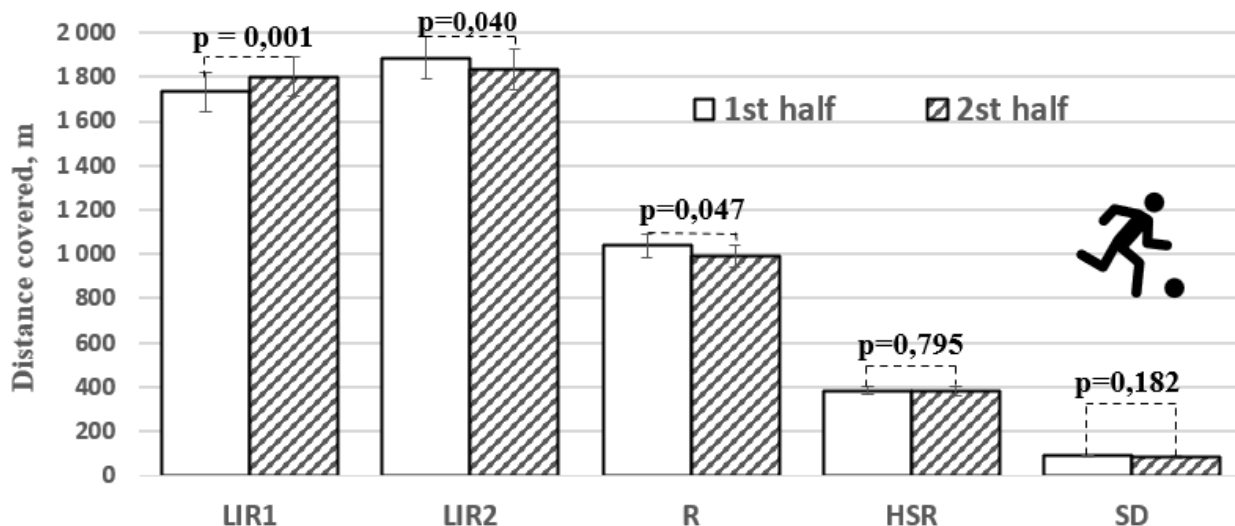


Рис. 1. Результати подолання дистанції за гру у різних швидкісних режимах та між таймами

Групування показників рухових режимів низьких швидкостей LIR1 і LIR2 в один, не вказало на наявність статистично значущих різниць між різними таймами під час офіційних ігор. Вірогідні відмінності у подоланні дистанції гравцями у різних таймах були виявлені тільки в швидкісному режимі R.

Виходячи з цього, ми можемо зробити припущення, що збільшення часу на сприяння удосконалення спеціальної витривалості (режим бігу R – зона змішаного енергозабезпечення) у тренувальному процесі – може суттєво впливати на результат команди у змаганнях.

В ході експерименту визначили максимальну швидкість бігу. Результати представлені на рисунку 2.

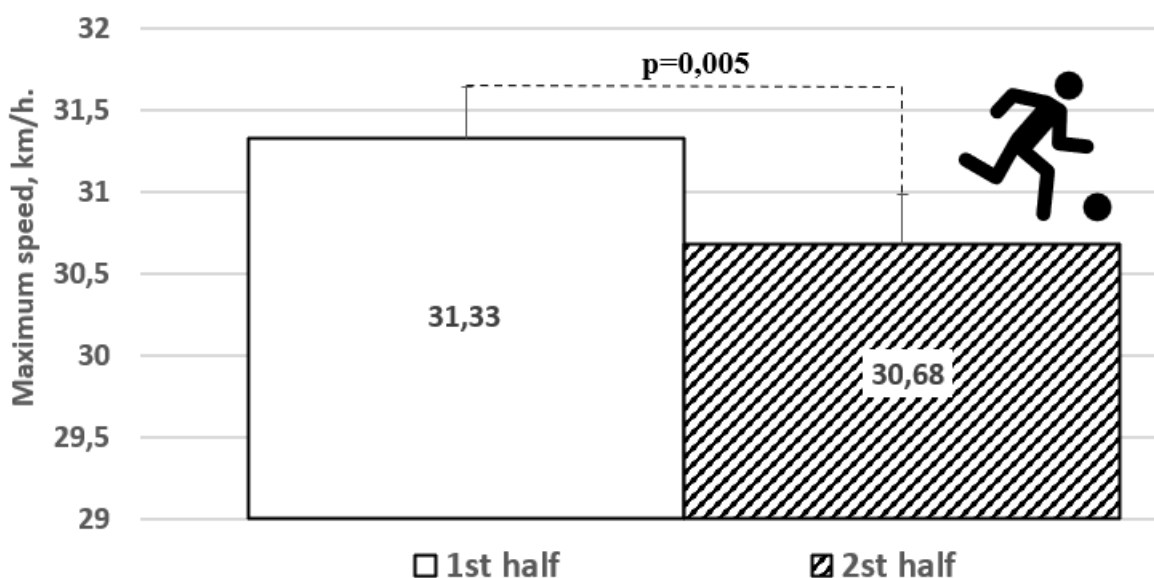


Рис. 2. Результати максимальну швидкість бігу у різних таймах

Як бачимо з діаграми, що індивідуальну максимальну швидкість гравці зазвичай виявляють у першому таймі гри. Це прогнозовано, хоча третина гравців спромоглася проявити свою індивідуальну максимальну швидкість у другому таймі. На місце та час

прояву максимальної швидкості впливають такі фактори, як тактика гри, сюжет розвитку гри, тактика гри команди супротивника, індивідуальний опонент і т. д. Так само, в більшості випадків максимальна індивідуальна швидкість проявляється гравцями в процесі тренування, а не в офіційних іграх. У тренувальному процесі зазвичай моделюються складніші у фізичному плані ігрові епізоди, ніж вони можуть бути насправді в іграх. Тим самим вони мотивують гравців виявляти максимальну індивідуальну швидкість.


Швидкісна витривалість найретельніше вивчена фізична властивість у футболі. Хоча зростає визнання того, що не лише фізичні якості, впливають на позитивний результат у футболі [12]. Швидкість переміщень у грі не є унікальною якістю. На передній план виходить такі поняття як швидкість гри, швидкість ігрових епізодів та швидкість прийняття рішень.

У дослідженнях [14], були систематизовані дані різних авторів щодо подолання дистанції у високошвидкісних режимах HSR, SD, VHIR (HSR+ SD). Ми розширили цю систематизацію, додавши дані останніх досліджень (таблиця 5).

Виявили, що гравці чемпіонату Узбекистану поступаються лише футболістам англійської Прем'єр-ліги та суттєво випереджають інші ліги.

Таблиця 5

Вимоги до бігу на високій швидкості (HSR, SD, VHIR, м)
у матчах для елітних футболістів

Дослідження	Тестовані ліга	HSR	SD	VHIR (HSR+ SD)
Dalen et al. 2019	Елітний Норвезький		153	747
Stevens et al. 2017	Ередивізі Нідерланди			738
Baptista et al. 2018	Елітний Норвезький			744
Kelly et al. 2020	Прем'єр-ліга	620		
Carling et al. 2016	Ліга 1 Франція	587	184	771
Modric et al. 2019	Елітний хорватський чемпіонат	462	156	618
Anderson et al. 2016	Прем'єр-ліга	706	295	1001
Lyzohub V., et al. 2021	Прем'єр-ліга України	551,3	155,6	706,9
	Щомісячний звіт N ° 68 футбольної обсерваторії CIES – жовтень 2021 р.			734,0
2024 рік	Прем'єр-ліга (ФК «Пахтакор»)	765,27	172,98	938,25

З наведених результатів видно, що одним з факторів, який може вплинути на покращення результатів ігрової діяльності може бути корекція тренувального процесу у напрямку розвитку швидкісного бігу (змішана зона енергозабезпечення) з подальшим моделюванням ігрових ситуацій цього компоненту.

Висновки

1. Визначили фізичну активність елітних футболістів у різних швидкісних режимах. Результати надають можливість використовуватись у якості маркерів для тренувальних програм та аналізу ігрової активності футболістів. Підтверджені високі вимоги до гравців у різних швидкісних режимах бігу під час офіційних ігор.

2. Доведено високий рівень підготовки гравців у швидкісних та високошвидкісних режимах. Тренерські колективи повинні забезпечувати адекватну фізичну стимуляцію швидкісних режимів під час тренувального процесу.

3. Отримані результати вказують на те, що вищі показники індивідуальної максимальної швидкості гравці зазвичай виявляють у першому таймі гри (67%), і лише 33% гравців спромоглися проявити свою індивідуальну максимальну швидкість у другому таймі.

4. Результати сприяють більш глибокому розумінню особливостей фізичної активності футболістів під час матчів та пропонують практичні рекомендації з управління тренувальним та змагальним процесом.

Подяка. Дякуємо всім співробітникам та гравцям ФК «Пахтакор» м. Ташкент за консультації та допомогу при виконанні експериментальної роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Andrzejewski M, Chmura J, Pluta B, Kasprzak A. Analysis of motor activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2012 Jun;26(6):1481-8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231ab4c>. PMID: 22614138.
2. Andrzejewski M, Chmura P, Konefał M, Kowalczyk E, Chmura J. Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018 Jun;58(6):785-792. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07352-2>. Epub 2017 May 9. PMID: 28488830.
3. Andrzejewski M, Konefał M, Chmura P, Kowalczyk E, & Chmura J. Match outcome and distances covered at various speeds in match play by elite German soccer players. *International Journal of Performance Analysis in Sport.* 2016. 16(3), 817–828. <https://doi.org/10.1080/24748668.2016.11868930>
4. Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences,* 24(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
5. Barros RM, Misuta MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, Anido R, Leite NJ. Analysis of the distances covered by first division brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci Med.* 2007 Jun 1;6(2):233-42. PMID: 24149334; PMCID: PMC3786245.
6. Bradley P, Di Mascio M, Mohr M, Fransson D, Wells C, Moreira A et al. Can modern football match demands be translated into novel training and testing modes? *ASPETAR Sports Medicine Journal.* 2018 Mar 1;7(6):46-52.
7. Carling C, Bradley P, McCall A, Dupont G. Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *J Sports Sci.* 2016 Dec; 34(24):2215-2223. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1176228>.
8. Carlos-Vivas J, Franco-García JM, Mendoza-Muñoz DM, Gómez-Pomares S, Pérez-Gómez J. High-Intensity GPS-Derived Parameters in Semi-Professional Soccer: Home vs. Away Roles of the Team and Their Relationship with the Match's Final Score. *Sensors (Basel).* 2024 Jul 27;24(15):4891. <https://doi.org/10.3390/s24154891>. PMID: 39123938; PMCID: PMC11314848.
9. Castellano J, López-Del Campo R, Hilenro R. Tell me how much your opponent team runs and I will tell you how much you should run: A predictive model applied to Spanish high-level football. *Biol Sport.* 2024 Mar;41(2):275-283. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2024.132984>
10. Chen S, Zmijewski P, Bradley P. Establishing reference values for the match running performances of thirteen specific positional roles at UEFA Euro 2024. *Biology of Sport.* 2025;42(3):257-268. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2025.148535>.
11. Chmura P, Konefał M, Chmura J, Kowalczyk E, Zajac T, Rokita A, Andrzejewski M. Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biol Sport.* 2018 Jun;35(2):197-203. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.74196>.
12. Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci.* 2010 Dec;28(14):1489-94. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521166>.
13. Ferrari Bravo D, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. Sprint vs. interval training in football. *Int J Sports Med.* 2008 Aug;29(8):668-74. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989371>. Epub 2007 Dec 17. PMID: 18080951.
14. Gualtieri A, Rampinini E, Dello Iacono A, Beato M. High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. *Front Sports Act Living.* 2023 Feb 13;5:1116293. doi: 10.3389/fspor.2023.1116293. Erratum in: *Front Sports Act Living.* 2023 Nov 06;5:1323440. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1323440>. PMID: 36860737; PMCID: PMC9968809.
15. Haugen T, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 May;9(3):432-41. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0121>. PMID: 23982902.
16. Haugen T, Tønnessen E, Hisdal J, Seiler S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 May;9(3):432-41. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0121>. PMID: 23982902.

17. Hoppe MW, Slomka M, Baumgart C, Weber H, Freiwald J. Match Running Performance and Success Across a Season in German Bundesliga Soccer Teams. *Int J Sports Med.* 2015 Jun;36(7):563-6. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398578>.
18. <https://football-observatory.com/IMG/pdf/mr68en.pdf>
19. Khomenko S.M. Analysis of subdivisions of data using Excel. Basic methodological textbook. – Cherkassy: p.p. Gordienko E.I., 2007; 99 pp. (in Ukraine)
20. Lyzohub V, Kozhemiako T, Khomenko S, Pustovalov V, Shpaniuk V. Physical activity of elite football players using different regimes of energy metabolism. *Health Problems of Civilization.* 2021;15(3):202-210. <https://doi.org/10.5114/hpc.2021.107781>.
21. Modric T, Versic S, Morgans R, Sekulic D. Match running performance characterizing the most elite soccer match-play. *Biol Sport.* 2023 Oct;40(4):949-958. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.124847>.
22. Oliva-Lozano, J. M., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2021). When and how do elite soccer players sprint in match play? A longitudinal study in a professional soccer league. *Research in Sports Medicine, 31*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1929224>
23. Owen A. Football periodization to maximise performance. Soccertutor.com Ltd, 2022. 244 p.
24. Owen, A. L., Djaoui, L., Newton, M., Malone, S., & Mendes, B. (2017). A contemporary multi-modal mechanical approach to training monitoring in elite professional soccer. *Science and Medicine in Football, 1*(3), 216–221. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1334958>.
25. Platonov V. M. Motor qualities and physical training of athletes. Kyiv: Olympic Literature, 2017. 656 p. (in Ukraine)
26. Ramos-Álvarez, Juan & Jiménez-Borrero, F & Paredes-Hernández, V & Gallardo, Jana & Romero-Moraleda, Blanca. (2021). High Intensity Efforts During Competition in Professional Football. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.* 21. 131-141. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.81.009>.
27. Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisløff U. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *J Sci Med Sport.* 2009 Jan;12(1):227-33. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.10.002>. Epub 2008 Feb 20. PMID: 18083631.
28. Shamardin V, Mulyk V, Lyzohub V, Shpaniuk V. Physical activity of football players in different speed modes and tactical formations. shss [Internet]. 2025 Mar.30 [cited 2025 Apr.21]; 29(1): 28-1.: <https://doi.org/10.15391/sns.v.2025-1.03> <https://shssjournal.com/index.php/journal/article/view/264>
29. Shamardin V. N., Vinogradov V. E., Dyachenko A. Yu. Physical training for elite soccer players: Monograph. Kyiv: B. Hrinchenko capital university, 2025; 180 p. (in Ukrainian).
30. Silva, H., Nakamura, F.Y., Mendez-Villanueva, A. et al. Characterizing the sprint threshold (25.2 km/h): a case study analysis on how soccer players reach sprint speeds and what relative intensity the threshold represents. *Sport Sci Health* 20, 905–911 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11332-024-01185-w>
31. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 2005;35(6):501-36. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>.
32. Sweeting AJ, Cormack SJ, Morgan S, Aughey RJ. When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Front Physiol.* 2017 Jun 20;8:432. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>. PMID: 28676767; PMCID: PMC5476778.

REFERENCES

1. Andrzejewski M., Chmura J., Pluta B., Kasprzak A. (2012). Analysis of motor activities of professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 26(6), 1481–1488.
2. Andrzejewski M., Chmura P., Konefał M., Kowalczyk E., Chmura J. (2018). Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 58(6), 785–792.
3. Andrzejewski M., Konefał M., Chmura P., Kowalczyk E., Chmura J. (2016). Match outcome and distances covered at various speeds in match play by elite German soccer players. *International Journal of Performance Analysis in Sport.* 16(3), 817–828.
4. Bangsbo J., Mohr M., Krstrup P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences.* 24(7), 665–674.
5. Barros R.M., Misuta M.S., Menezes R.P., Figueroa P.J., Moura F.A., Cunha S.A., Anido R., Leite N.J. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine.* 6(2), 233–242.
6. Bradley P., Di Mascio M., Mohr M., Fransson D., Wells C., Moreira A. (2018). Can modern football match demands be translated into novel training and testing modes? *Aspetar Sports Medicine Journal.* 7(6), 46–52.
7. Carling C., Bradley P., McCall A., Dupont G. (2016). Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *Journal of Sports Sciences.* 34(24), 2215–2223.
8. Carlos-Vivas J., Franco-García J.M., Mendoza-Muñoz D.M., Gómez-Pomares S., Pérez-Gómez J. (2024). High-intensity GPS-derived parameters in semi-professional soccer: Home vs. away roles of the team and their relationship with the match's final score. *Sensors.* 24(15), 4891.

9. Castellano J., López-Del Campo R., Hileno R. (2024). Predictive model of running performance in Spanish high-level football. *Biology of Sport*. 41(2), 275–283.
10. Chen S., Zmijewski P., Bradley P. (2025). Establishing reference values for match running performances in UEFA Euro 2024. *Biology of Sport*. 42(3), 257–268.
11. Chmura P., Konefał M., Chmura J., Kowalczyk E., Zajac T., Rokita A., Andrzejewski M. (2018). Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biology of Sport*. 35(2), 197–203.
12. Di Salvo V., Baron R., González-Haro C., Gormasz C., Pigozzi F., Bachl N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 28(14), 1489–1494.
13. Ferrari Bravo D., Impellizzeri F.M., Rampinini E., Castagna C., Bishop D., Wisloff U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sports Medicine*. 29(8), 668–674.
14. Gualtieri A., Rampinini E., Dello Iacono A., Beato M. (2023). High-speed running and sprinting in professional soccer. *Frontiers in Sports and Active Living*. 5, 1116293.
15. Haugen T., Tønnessen E., Hisdal J., Seiler S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 9(3), 432–441.
16. Haugen T., Tønnessen E., Hisdal J., Seiler S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 9(3), 432–441.
17. Hoppe M.W., Slomka M., Baumgart C., Weber H., Freiwald J. (2015). Match running performance and success across a season in German Bundesliga teams. *International Journal of Sports Medicine*. 36(7), 563–566.
18. CIES Football Observatory. (2022). Match running report. Available at: football-observatory.com
19. Khomenko S.M. (2007). Analysis of data using Excel. Cherkasy: Gordienko E.I., 99 p.
20. Lyzohub V., Kozhemiako T., Khomenko S., Pustovalov V., Shpaniuk V. (2021). Physical activity of elite football players using different regimes of energy metabolism. *Health Problems of Civilization*. 15(3), 202–210.
21. Modric T., Versic S., Morgans R., Sekulic D. (2023). Match running performance in elite soccer. *Biology of Sport*. 40(4), 949–958.
22. Oliva-Lozano J.M., Fortes V., Muyor J.M. (2021). Sprinting in match play in elite soccer. *Research in Sports Medicine*. 31(1), 1–12.
23. Owen A. (2022). Football periodization to maximise performance. Soccertutor.com Ltd, 244 p.
24. Owen A.L., Djaoui L., Newton M., Malone S., Mendes B. (2017). Training monitoring in elite professional soccer. *Science and Medicine in Football*. 1(3), 216–221.
25. Platonov V.M. (2017). Motor qualities and physical training of athletes. Kyiv: Olympic Literature, 656 p.
26. Ramos-Álvarez J., Jiménez-Borrero F., Paredes-Hernández V., Gallardo J., Romero-Moraleda B. (2021). High intensity efforts during competition in professional football. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*. 21, 131–141.
27. Rampinini E., Impellizzeri F.M., Castagna C., Coutts A.J., Wisloff U. (2009). Technical performance during soccer matches. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 12(1), 227–233.
28. Shamardin V., Mulyk V., Lyzohub V., Shpaniuk V. (2025). Physical activity of football players in different speed modes and tactical formations. *Sport and Human Sciences Studies*. 29(1), 28–31.
29. Shamardin V.N., Vinogradov V.E., Dyachenko A.Yu. (2025). Physical training for elite soccer players. Kyiv: Borys Hrinchenko University, 180 p.
30. Silva H., Nakamura F.Y., Mendez-Villanueva A. (2024). Characterizing the sprint threshold in soccer. *Sport Sciences for Health*. 20, 905–911.
31. Stølen T., Chamari K., Castagna C., Wisloff U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*. 35(6), 501–536.
32. Sweeting A.J., Cormack S.J., Morgan S., Aughey R.J. (2017). When is a sprint a sprint? *Frontiers in Physiology*. 8, 432.

Shpaniuk V. V., Siyanov U. V., Pustovalov V. O.

FEATURES OF FOOTBALL PLAYERS' PHYSICAL ACTIVITY IN DIFFERENT RUNNING SPEED ZONES

Abstract. The characteristics of physical activity in different speed zones were studied in football players during official matches and within the training process. **Materials and Methods.** The study involved 36 football players (age: 24,7±0,82 years; height: 181,1±0,01 cm; body mass: 73,9±1,1 kg; training experience: 17,5±0,8 years) who played for the same team. Their locomotor activity was analyzed across 46 matches of the Uzbekistan Championship (Premier League), the Uzbekistan Cup, and the AFC Champions League. The total number of observations was $n = 317$. Participation in national teams was also analyzed (30 players – 83,3%) and senior national teams (17 players – 47,2%). Results were obtained only for outfield players. All players were required to be in the starting lineup and complete the full match without substitution. The Catapult Vector X7 and S7 tracking systems were used to measure the distance (S , m) covered by players in different speed zones. **Results.** The average total distance covered per match (S) was

10301,5± 120,6 m. The distance covered in the first half was nearly identical to that in the second half: 5164,5±66,82 m and 5136,9±60,5 m, respectively ($p = 0,509$). In the low-intensity running zone (LIR1), the distance was 3533,8±139,4 m. Physical activity in LIR1 during the first half (1731,6 ±70,6 m) was statistically significantly lower than in the second half (1802,1± 69,1m; $p \leq 0,001$). In the low-intensity zone (LIR2), players covered 3722,60 ±72.51 m per match. A statistically significantly greater distance was covered in the first half (1885,90±38,9 m) compared to the second half (1836,7± 37,09 m; $p = 0,040$). Analysis of the distance covered in the aerobic running zone (R) showed a value of 2031,07±111,2 m. Comparison between halves revealed a statistically significantly greater distance in the first half (1038,7± 62,02 m) than in the second half (992,3±50,9 m; $p = 0,047$). Analysis of players' locomotor activity in the high-speed running (HSR) and sprint distance (SD) zones revealed statistically significant differences between halves ($p < 0,05$). The total distance covered per match in the HSR zone was 765,2± 42,7 m, and in the SD zone 172,98± 11,5 m.

Comparison of maximum individual running speed showed that for the majority of players (64%), it was higher during training. Players who reached their maximum running speed in matches typically did so in the first half (67%).

Conclusions. The presented results and the technology for monitoring football players' physical activity across different running speed zones enable the planning of training and competitive activities with consideration of individual levels of players' locomotor activity.

Keywords: physical activity, movement speed, tracking system, GPS, maximum speed.

Надійшла до редакції / Received: 31.03.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

УДК 796.015:612.81(045)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-102-110

Ілля Олександрович Шпенков

Національний університет фізичного виховання і спорту України
shpenkovilya27@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7526-0097>

Володимир Миколайович Ільїн

Національний університет фізичного виховання і спорту України
Міжнародний центр астрономічних та медико-біологічних досліджень
ilyin_nufvsu@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7140-0659>

НЕЙРОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І СТАН АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ У ЮНИХ АКРОБАТІВ НА ЕТАПІ ПОПЕРЕДНЬОЇ БАЗОВОЇ ПІДГОТОВКИ

Мета роботи – провести комплексну оцінку нейродинамічних і вегетативних показників для вияву психофізіологічних і нейрофізіологічних особливостей юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки. **Методи дослідження.** Обстежено 8 юних спортсменів віком від 7 до 13 років, які спеціалізуються в спортивній акробатиці. Кардіоритмографічні дослідження проводились за допомогою програмно-апаратного комплексу «Гармонія». Індивідуально-типологічні характеристики вищої нервової діяльності та нейродинамічні властивості спортсменів досліджувались за допомогою комп'ютерної системи „Діагност-1”. **Результати.** На етапі попередньої базової підготовки стан вегетативної регуляції у юних акробатів характеризується переважанням парасимпатичної активності, що свідчить про достатню адаптацію до тренувальних навантажень на етапі попередньої підготовки. В той же час у них відмічається стан помірної напруги регуляторних систем, коли для адаптації до фізичних навантажень організму потрібні додаткові функціональні резерви. Значення латентних періодів простої і складної зорово-моторних реакцій час моторної реакції і центральної обробки інформації у юних спортсменів відповідають віковій нормі. В той же час середні рівні ФРНП і СНП знаходяться в діапазоні низьких значень і дорівнюють відповідно 57 сигн./хв. і 47 %. Виявлені 32 середніх і 11 сильних кореляційних зв'язків між показниками вегетативного забезпечення серцевого ритму та психофізіологічними реакціями. Наявність середніх і сильних зв'язків між психофізіологічними та ритмокардіографічними показниками свідчить про формування у юних спортсменів вже на етапі попередньої базової підготовки специфічної функціональної системи, відповідальної за адаптацію до напруженої м'язової діяльності в акробатиці. **Висновки.** У юних спортсменів вже на етапі попередньої базової підготовки відбувається формування специфічної функціональної системи, відповідальної за адаптацію до напруженої м'язової діяльності в акробатиці. Комплексна оцінка нейродинамічних і вегетативних показників може бути використана для індивідуального моніторингу стану спортсменів і корекції тренувального процесу з метою оптимізації адаптації до фізичних навантажень.

Ключові слова: акробати, адаптація, система функціональна, вегетативне забезпечення серцевого ритму, функції психофізіологічні.

Вступ. Процес адаптації до напруженої м'язової діяльності характеризується наявністю певних етапів [5]. На цих етапах виникають перехідні функціональні стани, в яких формується взаємозв'язок відповідних систем організму, що забезпечують рухові функції, як результат діяльності в даному виді спорту [1]. Функціональний стан людини в умовах напруженої м'язової складається з різних складових і характеризується в умовах високої інтенсивності фізичних навантажень підвищеними вимогами до вегетативного забезпечення нейродинамічних та психофізіологічних функцій [9]. Аналіз сучасних досліджень в галузі фізіології спорту та спортивної медицини свідчить, що більшість робіт, присвячених спортивній тематиці, стосуються окремих характеристик функціонального стану спортсменів в різних умовах тренувальної та змагальної діяльності [12].

Однак, в багатьох дослідженнях відсутні інтегральні критерії функціонального, і, зокрема, психофізіологічного стану спортсменів за результатами комплексної оцінки. Тому стає очевидним необхідність комплексного дослідження нейрофізіологічних, нейродинамічних та участі механізмів автономної нервової системи і їх взаємодії за умови переробки інформації різної модальності та складності.

Мета. Провести комплексну оцінку нейродинамічних і вегетативних показників для вияву психофізіологічних і нейрофізіологічних особливостей юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки.

Методи дослідження. Обстежено 8 юних спортсменів віком від 7 до 13 років (7 дівчат і 1 хлопець), які спеціалізуються в акробатиці. Всі спортсмени перебувають на етапі попередньої базової підготовки. Дослідження проводилось на базі спортивного клубу «AcroStudio».

Кардіоритмографічні дослідження проводились за допомогою програмно-апаратного комплексу «Гармонія/Оракул» (АС №95334 від 14.01.2020 р., АС №47857 від 18.02.2013 р.) [10]. Реєстрація кардіоритмограми (КРГ). проводилася у положенні обстежуваного лежачи на спині при спокійному диханні після 5-10 хвилин відпочинку.

Вимірювання стану системи вегетативної регуляції серця відбувалося в лежачому положенні, протягом п'яти хвилин. Показання знімалися за допомогою чотирьох електродів, які крипились на ліве та праве зап'ястя, та ліву та праву гомілку. Розраховувалися статистичні характеристики динамічного ряду кардіоінтервалів: математичне очікування динамічного ряду (RRNN); стандартне відхилення нормальних величин R-R інтервалів (SDNN); коефіцієнт варіації (CV); частка послідовних R-R інтервалів, відмінність між якими перевищує 50 мс (pNN50, %).

При спектральному аналізі визначалися потужності спектра у наступних діапазонах: надповільний діапазон (VLF); діапазон низькочастотних хвиль (LF); діапазон високочастотних хвиль (HF). Також розраховувалися: загальна потужність спектра (TP), відносне значення потужності хвиль у діапазоні низьких (Lfnu), високих частот (Hfnu), виражених в нормалізованих одиницях; співвідношення LF/HF [6].

Для вивчення інформаційної організації функціональної системи, яка відповідає за адаптацію до напруженої м'язової діяльності, було визначено рівень складності системи за значенням її максимальної ентропії.

Індивідуально-типологічні характеристики вищої нервової діяльності та сенсомоторні реакції (нейродинамічні властивості) спортсменів досліджувалися за допомогою комп'ютерної системи „Діагност-1”. Визначали швидкості простих сенсомоторних реакцій (ПЗМР) на зорові подразники, швидкості складних сенсомоторних реакцій за показниками латентних періодів реакції вибору одного із трьох (РВ 1-3) і двох із трьох сигналів (РВ 2-3) сигналів. В режимі зворотнього зв'язку визначала рівень функціональної рухливості (ФРНП) і силу нервових процесів (СНП), в режимі нав'язаного ритму – урівноваженість нервових процесів (РРО) та кількість ударів в теплінг-тесті.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою пакету програми IBM SPSS Statistics [11]. Оскільки отримані показників мали ненормальний розподіл, то вони описувалися медіаною та інтерквартильним розмахом (25-й і 75-й процентиля) [12].

Результати досліджень та їх обговорення. В таблиці 1 наведені результати варіаційного та спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму, що відображають стан автономної регуляції серцево-судинної системи у юних спортсменів на етапі попередньої базової підготовки.

У юних спортсменів на етапі попередньої базової підготовки спостерігається середні значення індексу стресу (індексу напруження) на рівні 112 (36,5; 198), що відповідає верхній межі норми (80-150 од.). У вкупі зі зниженими значеннями SDNN – 73.6 мс (47,2; 101,0) і pNN50 – 21,5 % (7,00; 52,75) (норми відповідно 100-160 мс и 25-50 %) це може свідчить про можливу наявність у цих спортсменів психоемоційного стресу, пов'язаного, наприклад, з хвилюванням перед обстеженням, або втоми після тренувань з інтенсивними фізичними навантаженнями.

Таблиця 1.

Показники варіаційного та спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму у юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки (n = 8)

Показник	Медіана (1-, 3 квантили)	Мінімум	Максимум
Частота серцевих скорочень (ЧСС), уд./хв	84 (76,2; 91)	74	97
Середнє квадратичне відхилення RR-інтервалів (SDNN), мс	69.5 (47,2; 101,0)	47	109
Індекс напруження (ІН), ум. од.	112 (36,5; 198)	25	262
Загальний рівень біоенергетики (ТР), мс ² /Гц	2627 (712,2; 4112,4)	594	4992
Дуже низькочастотний спектр (VLF), мс ²	381 (189,3; 706,2)	116	1550
Низько частотний спектр (LF), мс ² /Гц	451 (221,9; 1305,8)	104	1799
Високочастотний спектр (HF), мс ² /Гц	1008 (292,4; 2230,5)	254	3305
Відносне значення потужності хвиль низької частоти (LFnu), ум. од.	42 (23,5; 51,3)	8	64
Відносне значення потужності хвиль високої частоти (HFnu), ум. од.	58 (48,7; 76,5)	36	92
Відсоток сусідніх кардіоінтервалів, що відрізняються один від одного більш ніж на 50 мс (pNN50), %	21,50 (7,00; 52,75)	4,00	59,00
Вегетативний баланс1 (LF/HF)	0,74 (0,32; 1,08)	0,09	1,75
Вегетативний баланс2 (ІВР)	151 (54,2; 298,0)	43	329
Функціональний стан за Баєвським (ПАРС)	3,5 (2,25; 6,00)	2,0	7,0
Ентропія (Hm)	0,74 (0,64; 0,82)	0,59	0,84

Це підтверджує значення ПАРС – 3,5 од. (2,25; 6,00), яке вказує на стан помірної напруги регуляторних систем, коли для адаптації до фізичних навантажень організму потрібні додаткові функціональні резерви. Такі стани виникають у процесі адаптації до спортивної діяльності, при емоційному стресі або при впливах інтенсивних фізичних навантажень [8].

У той же час показники спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму (ТР, LF, LFn, HF, HFn, LF/HF) і значення індексу вегетативної рівноваги (ІВР) у юних акробатів на етапі попередньої підготовки свідчать про збалансованість механізмів вагусно-симпатичного тону в умовах адаптації до напруженої м'язової діяльності. При цьому, спостерігається одночасне уповільнення активації симпатичного та парасимпатичного відділів вегетативної нервової системи з деяким переважанням активності вагусних впливів, що відображає добру адаптацію до напруженої м'язової діяльності [6].

Значення максимальної ентропії (Hm) системи переробки інформації та системи вегетативного забезпечення ритму серця у юних акробатів на етапі попередньої підготовки вказує на середній рівень організації як системи переробки інформації, так і системи вегетативної регуляції ритму серця, яка з підвищенням адаптованості спортсменів буде зростати (табл. 1) [5].

Досягнення високих результатів у спорті забезпечується не тільки фізичним розвитком, фізичною підготовленістю спортсменів, їх мотивацією, але залежить і від стану індивідуальних характеристик психофізіологічних функцій, фізіологічною основою яких є генетично детерміновані особливості вищої нервової діяльності [7].

В таблиці 2 представлено значення показників психофізіологічних показників у юних акробатів на етапі попередньої підготовки. Аналіз результатів свідчить про те, що значення латентних періодів простої і складної зорово-моторних реакцій, час моторної реакції (ММР) і центральної обробки інформації (Мцои) у юних спортсменів на етапі попередньої підготовки відповідають віковій нормі.

Таблиця 2.

Нейродинамічні показники
у юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки (n = 8)

Показник		Медіана (1-, 3 кuartилі)	Мінімум	Максимум
Латентний період простої зорово-моторної реакції, мс, (М_ПЗМР)		318 (257; 360)	232	427
Час моторної реакції, мс (ММР_ПЗМР)		159 (126; 195)	118	210
Латентний період складної зорово-моторної реакції вибору одого із трьох подразників, мс (М_РВ1)		415 (367; 479)	324	484
Час моторної реакції, мс (ММР_РВ1) %		170 (118; 178)	107	209
Час центральної обробки інформації1, мс (Мцои_РВ1)		115 (94; 137)	65,05	169,84
Латентний період складної зорово-моторної реакції вибору двох із трьох подразників, мс (М_РВ2)		525 (462; 567)	438	585
Час моторної реакції, мс (ММР_РВ2) %		174 (141; 206)	126	267
Час центральної обробки інформації2, мс (Мцои_РВ2)		184 (153; 251)	90	352
Функціональна рухливість нервових процесів, сигн./хв (М_ФРНП)		57 (46,0; 71,2)	31	78
Сила нервових процесів, кільк.пом., % (М_СНП)		47 (45,5; 47,8)	46	48
Врівноваженість нервових процесів, %	Точні, % (Т)	10 (2,5; 17,5)	0	30
	Випередж., % (В)	50 (42,5; 70)	30	90
	Запізнюв., % (З)	30 (22,5; 47,5)	0	60
Ср_відхилень_реакція на об'єкт, що рухається (РРО)		34,6 (27; 66)	22,5	110,7
Кількість_ударів_темп_тест		126 (119; 139)	113	149

В той же час середні рівні ФРНП і СНП знаходяться в діапазоні низьких значень і дорівнюють відповідно 57 сигн./хв і 47 %.

ФРНП розглядається як швидкість поширення нервових процесів, їх іррадіації та концентрації. ФРНП визначає швидкість переробки інформації та швидкість прийняття рішення. Якщо ФРНП нижче 50 сигн./хв., то рівень ФРНП вважається низьким [5].

СНП визначали за сумою помилок (у %), які були допущені під час виконання поступово наростаючого навантаження. Вважається, що чим менше помилок, тим вищий рівень СНП. 47 % відповідає низькому рівню ($\geq 34\%$).

Можливо поясненням цих результатів є висока напруженість психофізіологічної регуляції у юних спортсменів, яке проявляється в наявності збудження нервових процесів.

Підтвердженням цього можуть бути дані, які отримані при проведенні тесту «Реакція на об'єкт, що рухається» (табл. 2). У юних спортсменів процентне співвідношення випереджаючих реакцій перевищувало такі для точних і запізнювальних реакцій, що може свідчити про збудженість нервових процесів, пов'язаних зі спробою досягти високих результатів у точності та стабільності реакції на рухомий об'єкт [5].

Для виявлення особливостей взаємного впливу функціонального та психофізіологічного стану спортсменів було використано кореляційний аналіз зв'язків між показниками психофізіологічних функцій і варіаційного та спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму (табл. 3).

Таблиця 3.

Значення коефіцієнтів кореляції Спірмена між показниками психофізіологічних функцій і варіаційного та спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму у юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки (n = 8)

Показники	ЧСС	SDNN	IH	PNN50	LF/HF	IBP	Hm	VLF	VLF	HF	ПАРС
М_ПЗМР	,595	-,563	,381	-,619	,143	,214	-,707	-,333	-,333	-,381	,036
rs	,120	,146	,352	,102	,736	,610	,050	,420	,420	,352	,932
ММРс	,286	-,347	,214	-,429	0,000	,071	-,635	-,190	-,190	-,262	,206
rs	,493	,399	,610	,289	1,000	,867	,091	,651	,651	,531	,624
М_РВ1	-,262	,168	-,429	,167	,119	-,452	,072	-,119	,262	,095	,400
rs	,531	,691	,289	,693	,779	,260	,866	,779	,531	,823	,326
ММР_ms_РВ1	,548	-,731	,595	-,786	,167	,500	-,563	-,714	-,595	-,595	-,327
rs	,160	,040	,120	,021	,693	,207	,146	,047	,120	,120	,429
Мцои_РВ1	-,643	,563	-,762	,595	,286	-,738	,599	,190	,619	,238	,424
rs	,086	,146	,028	,120	,493	,037	,117	,651	,102	,570	,295
М_РВ2	-,238	-,132	,357	-,238	-,143	,452	,347	-,667	-,571	-,238	-,533
rs	,570	,756	,385	,570	,736	,260	,399	,071	,139	,570	,173
ММР_РВ2	,452	-,683	,524	-,714	,238	,429	-,419	-,738	-,571	-,619	-,291
rs	,260	,062	,183	,047	,570	,289	,301	,037	,139	,102	,484
Мцои_РВ2	-,595	,323	-,167	,310	,024	0,000	,778	-,214	,024	,048	-,352
rs	,120	,435	,693	,456	,955	1,000	,023	,610	,955	,911	,393
М_СНП	,071	-,431	,548	-,476	-,190	,619	-,311	-,476	-,476	-,405	-,485
rs	,867	,286	,160	,233	,651	,102	,453	,233	,233	,320	,223
М_ФРНП	-,310	,455	-,095	,286	-,500	0,000	,252	,238	,024	,524	-,073
rs	,456	,257	,823	,493	,207	1,000	,548	,570	,955	,183	,864
РРО	-,429	,132	-,238	,119	-,119	-,167	,275	-,429	-,071	,071	,145
rs	,289	,756	,570	,779	,779	,693	,509	,289	,867	,867	,731
Т	,358	-,328	,370	-,294	-,332	,281	-,540	-,013	-,409	-,077	,215
rs	,385	,428	,366	,480	,422	,500	,168	,976	,315	,857	,610
В	-,614	,093	,049	,086	-,233	,196	,587	-,602	-,405	-,098	-,225
rs	,106	,827	,908	,840	,578	,641	,126	,115	,319	,817	,592

Продовження таблиці 3.

Показники	ЧСС	SDNN	IH	PNN50	LF/HF	<i>IBP</i>	Hm	VLF	VLF	HF	ПАРС
З	,293	,245	-,439	,268	,439	-,512	-,110	,708	,781	,268	,199
rs	,482	,558	,276	,520	,276	,194	,795	,050	,022	,520	,637
К-ть ударів темп тест	,262	-,168	,429	-,167	-,119	,452	-,072	,119	-,262	-,095	-,400
rs	,531	,691	,289	,693	,779	,260	,866	,779	,531	,823	,326

Примітка: rs – ступінь достовірності; червоним кольором позначені середні по силі зв'язки, чорним – сильні

Аналіз отриманих результатів виявив середні ($\geq 0,50$) і сильні ($\geq 0,70$) кореляційні зв'язки між нейродинамічними та ритмокардіографічними показниками, що свідчать про взаємодію функціонального та психофізіологічного станів спортсменів.

У юних спортсменів на етапі попередньої базової підготовки спостерігалися 32 середніх і 11 сильних кореляційних зв'язків між нейродинамічними властивостями і станом вегетативної регуляції серцевого ритму (рис. 1).

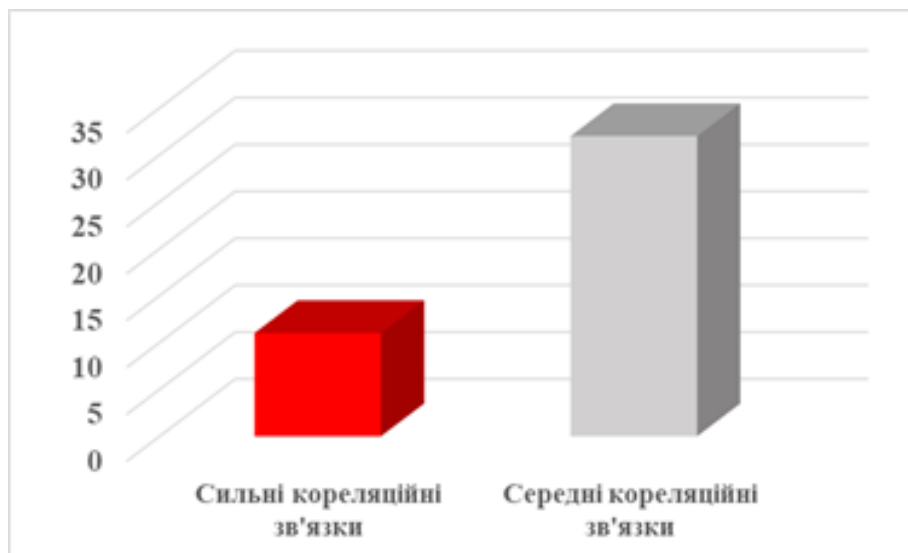


Рис. 1. Кількість середніх і сильних кореляційних зв'язків між показниками психофізіологічних функцій і варіаційного та спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму у юних акробатів на етапі попередньої базової підготовки

Наявність середніх і сильних зв'язків між нейродинамічними та ритмокардіографічними показниками свідчить про поступове формування на етапі попередньої базової підготовки у юних спортсменів специфічної функціональної системи, відповідальної за адаптацію до напруженої м'язової діяльності в акробатиці.

Подальше в процесі адаптації частка середніх по силі зв'язків трансформується в сильні або в слабкі, або зникне. За рахунок вже існуючих і появи нових сильних зв'язків зростає детермінованість організації як системи переробки інформації, так і системи вегетативної регуляції ритму серця, які стануть компонентами майбутньої специфічної функціональної системи, відповідальної за адаптацію до напруженої м'язової діяльності в акробатиці. Згідно теорії функціональних систем у разі недостатності отриманого результату в процесі адаптації відбувається стимулювання активуючих механізмів, виникає активна реорганізація компонентів, створюється зміна кількості і характеру кореляційних зв'язків (ступенів свободи) між діючими компонентами і, нарешті, після декількох «проб і помилок» знаходиться цілком достатній пристосувальний результат. Таким чином, функціональною системою можна назвати тільки комплекс таких вибірково залучених компонентів, у яких

взаємовідносини набувають характеру взаємодії компонентів для отримання конкретного корисного результату [2].

Висновки

1. У юних спортсменів на етапі попередньої базової підготовки стан вегетативної регуляції характеризується переважанням парасимпатичної активності, що свідчить про достатню адаптацію до тренувальних навантажень на етапі попередньої підготовки. В той же час у них відмічається стан помірної напруги регуляторних систем, коли для адаптації до фізичних навантажень організму потрібні додаткові функціональні резерви.

2. Значення латентних періодів простої і складної зорово-моторних реакцій час моторної реакції і центральної обробки інформації у юних спортсменів на етапі попередньої підготовки відповідають віковій нормі. В той же час середні рівні ФРНП і СНП знаходяться в діапазоні низьких значень і дорівнюють відповідно 57 сигн./хв. і 47 %.

3. Виявлені 32 середніх і 11 сильних кореляційних зв'язків між нейродинамічними і ритмокардіографічними показниками. Наявність середніх та сильних зв'язків між нейродинамічними властивостями і станом вегетативної регуляції серцевого ритму свідчить про формування у юних спортсменів вже на етапі попередньої базової підготовки специфічної функціональної системи, відповідальної за адаптацію до напруженої м'язової діяльності в акробатиці.

4. Комплексна оцінка нейродинамічних і вегетативних показників може бути використана для індивідуального моніторингу стану спортсменів і корекції тренувального процесу з метою оптимізації адаптації до фізичних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ільїн В., Філіппов М., Виноградов В. Характеристика фізичної працездатності у спортсменів без ознак та з ознаками хронічної втоми. Вісник Черкаського університету: серія Біологічні науки. – № 2 (2024). <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-29-34>
2. Ілюха Л. М. Системна біологія та системна регуляція фізіологічних процесів. Вісник Черкаського університету. 2022. №2. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37.
3. Колеснік І. В., Салямін Ю. М., Федорчук С.В. Динамічна м'язова витривалість за показниками тепінг-тесту юних гімнастів в групах початкової і попередньої базової підготовки. Інноваційні та інформаційні технології у фізичній культурі, спорті, фізичній терапії та ерготерапії: V Всеукр. електронна науково-практ. конф. з міжнар. участю, травень 2022 р., Київ: НУФВСУ.
4. Колеснік І., Федорчук С., Куценко Т., Салямін Ю. Стан властивостей психофізіологічних функцій за показниками реакції на рухомий об'єкт у зв'язку з рівнем фізичної і технічної підготовленості юних гімнастів. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2022. №3. С. 82-86. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2022.3.82-88>
5. Коробейніков Г. Оцінювання психофізіологічних станів у спорті / [Г. Коробейніков, Є. Приступа, Л. Коробейнікова, Ю. Бріскін]. – Львів : ЛДУФК, 2013. – 312 с.
6. Кальниш В. В., Швець А.В., Нагорна А.М., Пашковський С.М., Коваль Н.В., Мальцев О.В., Єщенко О.І., Трінька І.С., Тимчишин Т.П., Ангельська В.Ю., Куліш О.І., Назаренко О.П., Николаєвич П.В. Методи відновлення психоемоційного стану військовослужбовців після перебування в зоні бойових дій та оцінка ефективності їх застосування: Методичний посібник для фахівців реабілітаційних відділень (під загальною редакцією професора Валентина Кальниша [МедВП 11-35(343).39-8]. Київ. 2025. 292 с.
7. Макаренко М. В. Онтогенез психофізіологічних функцій людини / М. В. Макаренко, В. С. Лизогуб. – Черкаси : Вертикаль, вид. ПП Кандич С. Г., 2011. – 256 с.
8. Хронобіоритомологічні аспекти адаптації у спорті. Підручник / В. М. Ільїн, М. М. Філіппов, В. С. Лизогуб, В. С. Виноградов, О. П. Безкопильний. К.: Олімп. л-ра. – 2024. – с. 380 ISBN 978-617-7492-20-6
9. Шпенков І. О., Ільїн В. М. Зв'язок властивостей психофізіологічних функцій з характером спортивної діяльності різної спрямованості. Вісник Черкаського університету: серія Біологічні науки: № 1 (2025). <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-124-130>
10. Chaikovskiy I, Senko I, Budnyk M, Matsyshyn V, Ryzhenko T, Budnyk V, Romanchuk O, Popov A and Stetsyuk P (2026) Analysis of heart rate variability and subtle ECG changes based on machine learning for objective assessment of the psychological state of military personnel. Front. Psychol. 17:1688230. doi: 10.3389/fpsyg.2026.1688230
11. Daniel Stockemer. Quantitative Methods for the Social Sciences. A Practical Introduction with Examples in SPSS and Stata. Springer International Publishing AG 2019. P. 101-124.

12. Sharon L.W., Sarah K.A. Statistics Using IBM SPSS: An Integrative Approach. Cambridge University Press; 3 edition. 2016. 606 p.
13. Shpenkov I. O., Ilyin V. M. Cheerleading in Ukraine. Perspectives of contemporary science: theory and practice. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2024. Pp. 135-138. URL:<https://sci-conf.com.ua/iv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-perspectives-of-contemporary-science-theory-and-practice-26-28-05-2024-lviv-ukrayina-arhiv/>.

REFERENCES

1. Ilyin V., Filippov M., Vinogradov V. Characteristics of physical performance in athletes without signs and with signs of chronic fatigue. Bulletin of Cherkasy University: Biological Sciences series.-№ 2 (2024). <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-29-34>
2. Ilyukha L. M. Systems biology and system regulation of physiological processes. Bulletin of Cherkasy University. 2022. No. 2. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37.
3. Korobeynikov G. Assessment of psychophysiological states in sports / [G. Korobeynikov, E. Prystupa, L. Korobeynikova, Yu. Briskin]. – Lviv: LDUFK, 2013. – 312 p.
4. Kalnysh V. V., Shvets A. V., Nagorna A. M., Pashkovsky S. M., Koval N. V., Maltsev O. V., Yeshchenko O. I., Trinka I. S., Tymchyshyn T. P., Angelska V. Yu., Kulish O. I., Nazarenko O. P., Nikolaevych P. V. Methods for restoring the psycho-emotional state of military personnel after being in a combat zone and assessing the effectiveness of their application: Methodological manual for specialists of rehabilitation departments (under the general editorship of Professor Valentin Kalnysh [MedVP 11-35(343).39-8]. Kyiv. 2025. 292 p.
5. Makarenko M. V. Ontogenesis of human psychophysiological functions / M. V. Makarenko, V. S. Lyzogub. – Cherkasy: Vertical, ed. PP Kandych S. G., 2011. – 256 p.
6. Chronobiological aspects of adaptation in sports. Textbook / V. M. Ilyin, M. M. Filippov, V. S. Lyzogub, V. E. Vinogradov, O. P. Bezcopylny. Kyiv: Olimp. l-ra. – 2024. – p. 380 ISBN 978-617-7492-20-6
7. Shpenkov I. O., Ilyin V. M. The relationship between the properties of psychophysiological functions and the nature of sports activities of different orientations. Bulletin of Cherkasy University: Biological Sciences series: No. 1 (2025). <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-124-130>
8. Daniel Stockemer. Quantitative Methods for the Social Sciences. A Practical Introduction with Examples in SPSS and Stata. Springer International Publishing AG 2019. P. 101-124.
9. Sharon L.W., Sarah K.A. Statistics Using IBM SPSS: An Integrative Approach. Cambridge University Press; 3 edition. 2016. 606 p.
10. Shpenkov I. O., Ilyin V. M. Cheerleading in Ukraine. Perspectives of contemporary science: theory and practice. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2024. Pp. 135-138. URL:<https://sci-conf.com.ua/iv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-perspectives-of-contemporary-science-theory-and-practice-26-28-05-2024-lviv-ukrayina-arhiv/>

Shpenkov I. O., Ilyin V. M.

NEURODYNAMICAL PROPERTIES AND STATE OF THE AUTONOMOUS NERVOUS SYSTEM IN YOUNG ACROBATS AT THE STAGE OF PRELIMINARY BASIC TRAINING

*The process of adaptation to intense muscular activity is characterized by the presence of certain stages. At these stages, transitional functional states arise, in which the relationship of the relevant body systems that provide motor functions is formed as a result of activity in this type of sport. The functional state of a person in conditions of intense muscular activity consists of various components and is characterized in conditions of high intensity of physical exertion by increased requirements for the vegetative support of neurodynamic and psychophysiological functions. **Purpose.** To conduct a comprehensive assessment of neurodynamic and vegetative indicators to identify psychophysiological and neurophysiological features of young acrobats at the stage of preliminary basic training. **Research methods.** 8 young athletes aged 7 to 13 years, specializing in acrobatics, were examined. Cardiorhythmographic studies were conducted using the software and hardware complex "Harmony". Individual typological characteristics of higher nervous activity and neurodynamic properties of athletes were studied using the computer system "Diagnost-1". **Results.** In young athletes at the stage of preliminary basic training, the state of vegetative regulation in young acrobats is characterized by the predominance of parasympathetic activity, which indicates sufficient adaptation to training loads at the stage of preliminary training. At the same time, they have a state of moderate tension of regulatory systems, when additional functional reserves are required for adaptation to physical loads of the body. The values of the latent periods of simple and complex visual-motor reactions, the time of motor reaction and central information processing in young athletes correspond to the age norm. At the same time, the average levels of FRNP and SNP are in the range of low values and are equal to 57*

*signals/min and 47%, respectively. 32 medium and 11 strong correlations were found between the indicators of vegetative support of the heart rate and psychophysiological reactions. The presence of medium and strong correlations between psychophysiological and rhythmocardiographic indicators indicates the formation of a specific functional system in young athletes, responsible for adaptation to intense muscular activity in acrobatics, already at the stage of preliminary basic training. **Conclusions.** In young athletes, already at the stage of preliminary basic training, a specific functional system is formed, responsible for adaptation to intense muscular activity in acrobatics. A comprehensive assessment of neurodynamic and vegetative indicators can be used for individual monitoring of the condition of athletes and correction of the training process in order to optimize adaptation to physical exertion.*

Keywords: *young acrobats, adaptation, functional system, vegetative support of the heart rate, psychophysiological functions.*

Надійшла до редакції / Received: 17.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

УДК: 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2026-1-111-126

Лілія Іванівна ЮхименкоЧеркаський національний університет
імені Богдана Хмельницькогоliyukhimenko@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>**Володимир Вікторович Козак**Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницькогоkozakvolodymyr1984@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-1450-4284>

МОРФО-МЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОЖНИСТИХ ВЕН ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ГЕМОДИНАМІКИ В РІЗНИХ ФАЗАХ ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ ЗАЛЕЖНО ВІД РІВНЯ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ТИПУ КОНСТИТУЦІЇ ЛЮДИНИ

Анотація. Вивчали морфо-метричні показники порожнистих вен та особливості їх гемодинаміки у різних фазах дихального циклу залежно від рівня фізичної активності та типу конституції методом ультразвукової доплерографії (УЗД). Проведення УЗД порожнистих вен дозволило візуалізувати структуру найбільших венозних магістралей організму людини, кількісно визначити їх розміри, оцінити їх гемодинаміку. На тепер наукові відомості про конституціональні особливості довжини, ширини (діаметру) та гемодинаміки верхньої (ВПВ) і нижньої (НПВ) порожнистих вен, отримані за допомогою УЗД є малочисельними. Виходили з того, що рівень фізичної активності впливає на адаптацію організму, і зокрема на венозну систему. Разом із тим, аспект по вивченню характеристик будови та функції порожнистих вен людей з різним типом конституції, що ведуть не однаковий за рухливістю спосіб життя є виченим недостатньо.

Метою роботи було з'ясування особливостей морфо-метричних та функціональних показників порожнистих вен людей з різними конституціями тіла та фізичною активністю методом УЗД. Для цього апаратом ультразвукової доплерографії Siemens Juniper Acuson (USA) визначали поздовжні та діаметральні параметри ВПВ і НПВ, а також виявляли їх конституціональні особливості у 42-х чоловіків-волонтерів віком від 19 до 27 років, вагою від 57 до 90 кг, зростом від 157 до 193 см, околom грудної клітки від 86 до 115 см та індексом маси тіла від 18,5 до 26,4 кг/м² які вели різний за рівнем фізичної активності спосіб життя. У всіх обстежуваних були відсутні захворювання серцево-судинної системи та супутні хвороби, вони характеризувались нормальним фізичним розвитком. Отримані фактичні дані обробляли методом варіаційної статистики пакетом програм Microsoft Excel 2019.

Найбільші поздовжні параметри порожнистих вен встановлено у чоловіків астенічної конституції тіла, а у представників гіперстенічної переважаними виявились діаметральні розміри ($p \leq 0,05$). Більшість чоловіків з нормостенічною конституцією характеризувалась середніми кількісними значеннями довжини і діаметру ВПВ і НПВ. Аналіз кривих РВ-доплерографії виявив залежність фазності кровотоку від дихального циклу в обох венах: зростання швидкості на вдиху і сповільнення на видиху, з переважанням рівня пульсації у ВПВ. Водночас, встановлено, що незалежно від конституції тіла людини, діаметральні параметри порожнистих вен були достовірно більшими у чоловіків, які вели активний спосіб життя. Вищий рівень фізичної активності (РФА) позитивно корелював з високими амплітудами систолічної та реверсної хвиль, великою площиною тіла, а також більшими розмірами діаметру НПВ незалежно від фази дихального циклу ($p < 0,05$). У обстежуваних з низьким РФА виявлено більший індекс маси тіла, найменші діаметри магістральних венозних судин, які мали помітну схильність до спадання під час фази вдиху ($p < 0,05$). Отримані результати можуть бути корисними у фізіології, медицині та спорті для проведення професійної орієнтації та відбору, розробки індивідуальних тренувальних програм, здоров'язберігаючих траєкторій, процедур моніторингу стану здоров'я.

Ключові слова: верхня і нижня порожнисті вени, морфометрія, гемодинаміка, ультразвукове дослідження, доплерографія, конституція тіла, фізична активність, дихання.

Постановка питання. Вивчення конституціональних особливостей людини з різним рівнем фізичної активності та їх зв'язку з морфологією порожнистих вен є актуальним напрямом фізіології, спортивної медицини та кардіології. Визнано, що розташування кровоносних судин, їх розгалуженість, діаметр і товщина стінок є важливими морфологічними особливостями, від яких залежить гомеостаз та стан здоров'я людини в цілому. Анатомічні характеристики кровоносної системи впливають на швидкість протікання гемодинамічних процесів, рух метаболітів, транспортування дихальних газів і поживних речовин до органів і тканин [10]. У випадку вузькості судини чи її надмірного аномального вигину створюється небезпека гемодинаміці, яка загрожує різномірними метаболічними порушеннями аж до утворення незворотних ушкоджень різних структур організму. Іншою проблемою, що виникає при порушенні розподілу та доставки крові, може бути ризик утворення тромбів, який пов'язаний з деякими особливостями будови вен. Тонка стінка судини або її патологічне звуження стають причинами підвищення тиску у ній, що збільшує навантаження на серце [15]. Слабкість венозної стінки внаслідок низької еластичності сприяє утворенню розширень діаметру судини, наслідки яких можуть проявлятися запамороченнями, шумом у вухах, провокувати швидку втому, хронічний головний біль, викликати застої крові та набряки. Більше того, аномалії у роботі порожнистих вен здатні спричинювати серйозні розлади у функціонуванні всього організму, оскільки призводять до гемостазу та пов'язані з прямою загрозою для життя.

Верхня (ВПВ) та нижня (НПВ) порожнисті вени є найбільшими венозними магістралями організму людини, призначення яких полягає у поверненні деоксигенованої крові до серця від органів і тканин [11]. При здавлюванні ВПВ, що служить колектором для крові, яка надходить від голови, верхніх кінцівок і стінок грудної клітки та частково черевної порожнини, розвивається синдром цієї вени [25, 27]. Він характеризується набряком обличчя, шиї, задихою, розширенням грудних вен, ускладненням мозкового відтоку [28]. Під час порушень кровотоку у НПВ, що відповідає за повернення крові з нижніх кінцівок та органів черевної і тазової порожнин, відбуваються значні накопичення рідин у цих відділах. Стиснення судини здатне викликати різке зниження тиску та слабкість серцевої діяльності внаслідок дефіциту притоку крові до серця [23].

Отже, нормальна анатомія кровоносних судин, і зокрема порожнистих вен, детермінує гемодинаміку, слугує потенціалом здоров'я людини, а вивчення індивідуальних морфологічних варіантів магістральних венозних судин є важливим як для розуміння особливостей протікання фізіологічних процесів в них, так і пошуку надійних діагностичних критеріїв розвитку низки патологічних станів та захворювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З'ясування етіології та патогенезу захворювань, пов'язаних з морфо-функціональними особливостями венозної системи людини відносять до складних актуальних проблем сучасної фізіології та медицини [21]. Необхідність її вирішення обумовлене стабільним зростанням чисельності хворих, збільшенням частоти виявлення нових випадків та високим ризиком розвитку інвалідності внаслідок захворювань венозних судин [26]. На тепер біля 20% населення планети мали (або мають) порушення здоров'я, спричинені венозною симптоматикою. Вчені занепокоєні великою часткою людей, які повідомляли про проблеми з венами, особливо нижніх кінцівок, що змусило їх звертатися за медичною допомогою. Серед важких наслідків захворювань вен: трофічні виразки, набряки, серцева недостатність, які запускають патологічний ланцюг, що призводить до неможливості нормального ведення життя та діяльності, загрожує розвитком патологічних станів або смерті внаслідок тромбозу чи тромбоемболії. Більшість робіт даної проблематики присвячено вивченню фізіології венозного повернення крові до серця [20, 22]. Згідно результатів досліджень, венозна система знаходиться під постійним впливом земного гравітаційного поля:

при вертикальному положенні тіла напрямок сили тяжіння розташовується проти течії крові, що вимагає вмикання центральних (взаємодія серця, легенів, діафрагми) і периферичних регуляторних механізмів (венозні судини, навколишні тканини, м'язово-венозна помпа). У горизонтальному положенні позитивний тиск крові у венозній системі (аж до венозних капілярних сіток), який забезпечує венозне повернення в умовах спокою, залежить від вигнання крові з лівого шлуночка та у нормі досягає 12-15 мм рт.ст. [11]. Не менш важливого значення автори надають дослідженню «засмокуючої» сили серцевих скорочень. Саме вона спрямовує потік крові з порожнистих вен до правого передсердя (разом з дихальними рухами діафрагми та змінами об'ємів легенів шляхом зменшення внутрішньо-грудного тиску в умовах видиху). Ці процеси відбуваються після систоли шлуночків на фоні суттєвого зниження тиску [14]. Дослідники відмічають велике значення діяльності м'язово-венозної помпи, що забезпечує відповідне до умов існування венозне повернення крові до серця [3]. Цей механізм передбачає активну участь м'язів, фасцій в узгодженні роботи глибоких і поверхневих вен. Компресія, яка створюється під час скорочення м'язів, підвищує тиск, головним чином, у глибоких венах та «проштовхує» кров до серця. Робота такого м'язового насоса може збільшувати тиск до 280-300 мм. рт.ст. Водночас, розслаблення викликає його зниження, що супроводжується рухом крові (через перфорантні вени) до глибоких венозних судин [24]. Науковці наголошують на важливості дослідження розмірів порожнистих вен (особливо НПВ), що є критично важливим у медицині, оскільки ці вени є «дзеркалом» волемічного стану організму за кількістю рідини, що міститься в судинах. Саме оцінка розмірів діаметру НПВ та їх змін під час інспірації повітря дозволяє виявити надлишок рідини в організмі або її нестачу та прийняти рішення щодо застосування інфузійної терапії (призначення крапельниць) [16]. Велике діагностичне значення у визначенні серцевої недостатності відіграє і врахування розмірів діаметру НПВ. Його збільшення (яке може бути стабільним під час акту вдиху) у багатьох випадках може вказувати на розгортання застійних явищ, існування надмірного тиску у правому передсерді [15]. Крім того, морфометрія порожнистих вен дозволяє швидко виявити причини гіповолемічного чи кардіогенного шоку, як критичних станів у функціонуванні серцево-судинної системи [3], ризики розвитку ускладнень при порушеннях роботи нирок, серця, які виникають внаслідок існування атипії будови чи функції венозних судин [9], встановити місця їх звуження, існування тромбів у кров'яному руслі, що заважають нормальному кровотоку [20].

Як відомо, кожна людина характеризується певною конституцією (соматотипом), який здебільшого є генетично обумовленим. Конституція тіла впливає на обмін речовин, пропорції тіла, відображається в тій чи іншій схильності до накопичення жирової тканини, функціонуванні опорно-рухового апарату тощо. Як показник, що характеризується певною сталістю, конституція причетна до формування основи фізичної структури, яка може (за більшістю класифікацій) проявлятися астеничним (худорлявий соматотип, екоморфія), нормостенічним (атлетична, нормальний соматотип, мезоморфія) чи гіперстенічним (пикнічний тип, тучний соматотип, ендоморфія) типами [1]. На сьогодні індивідуальні морфометричні показники порожнистих вен для визначення волемічного статусу людини та оцінки тиску в її правому передсерді є ключовими, особливо ті, що визначені методом УЗД, який дозволяє точно візуалізувати практично все венозне русло від вен стопи до НПВ та вен голови і шиї до ВПВ. Завдяки ефекту Доплера, що лежить в основі УЗД, чітко виявляється динаміка частоти звукового сигналу, який відбивається від формених елементів крові. Під час оцінки роботи вен великого діаметру особливо цінним є дослідження спонтанної (антеградної) гемодинаміки, що дає можливість оцінити зв'язок руху крові з дихальними рухами грудної клітки під час вдиху і видиху у реальному часі [8]. Такі результати відіграють провідну роль у діагностуванні причин, що провокують хронічну венозну нестачу, оклюзії вен, оцінити як стан стінок венозної судини, так і діяльність серцево-судинної системи в цілому. Автори підкреслюють, що дослідження як функціональних, так і морфологічних характеристик системи кровообігу, проведені на основі конституціонального типологічного підходу може

допомогти отримати важливі результати, які будуть корисними в області вікової фізіології, спортивної фізіології, медицини, екології тощо. Практичний аспект таких результатів здатний сприяти створенню інновацій у сфері навчання, тренування, лікування та профілактики серцево-судинних захворювань, що можуть бути пов'язаними з певними конституціональними особливостями людини [4, 5, 6]. Автори повідомляють, що тип конституції людини є своєрідним пристосувальним варіантом існування до умов середовища з унікальною комбінацією морфологічних та функціональних особливостей, що націлена на забезпечення сталості внутрішнього середовища [2]. Підкреслюється, що пристосувальні можливості людини до різних факторів та чинників великою мірою залежать від серцево-судинної системи [11]. Не виключено, що врахування конституціонального типу, з притаманними йому відповідних адаптаційних стратегій виживання (вироблений тип кровообігу, механізми регуляції роботи серця, ваго-ростові показники, розміри площі тіла чи індексу маси), можуть стати важливими прогностичними критеріями вибору раціональної тактики діагностики, лікування, реабілітації чи профілактики хвороб.

Відомо, що діаметри як ВПВ, так і НПВ демонструють сильну кореляцію з площею поверхні тіла [22]. В дослідженнях інших авторів для пацієнтів з великою та малою площею тіла навіть пропонується використовувати різні порогові значення діаметра порожнистих вен чи визначати діаметр НПВ шляхом розрахування індексу маси тіла (ІМТ) [12, 13]. Разом із тим, такі дослідження є розрізненими, присвяченими окремим аспектам вивчення будови магістральних судин і не створюють загальної картини у розумінні зв'язку між конституцією тіла, морфологією порожнистих вен та рівнем фізичної активності людини. На тепер практично відсутня порівняльна характеристика будови порожнистих вен у людей, які ведуть не однаковий за фізичною активністю спосіб життя та відносяться до різних типів конституції тіла. У науковій літературі є обмаль відомостей стосовно того, наскільки морфометричні розміри порожнистих вен відповідають певному соматичному типу (конституції). Вивчення таких особливостей дозволить поліпшити прогнозування перебігу процесів, спростить виявлення межі реактивності організму, сприятиме плануванню тактик тренування, лікування чи реабілітації, що і актуалізувало наш пошук.

Метою даної роботи було з'ясувати конституціональні особливості порожнистих вен людей, що ведуть різний за фізичною активністю спосіб життя методом ультразвукової доплерографії. Основні завдання полягали у:

- ✓ визначенні поздовжніх та діаметральних розмірів ВПВ і НПВ;
- ✓ виіченні конституціональних особливостей досліджуваних морфо-метричних та функціональних показників порожнистих вен (у гравітаційному положенні лежачи на спині);
- ✓ виявленні відмінностей між показниками ВПВ і НПВ людей з різним типом конституції та рівнем фізичної активності;
- ✓ встановленні зв'язків між фізичною активністю та морфо-метричними і гемодинамічними показниками порожнистих вен.

Організація та методи дослідження. Дослідження проводились у Комунальному некомерційному підприємстві «Черкаський обласний кардіологічний центр Черкаської обласної ради». Обстежували 42-ох практично здорових чоловіків-волонтерів віком 19-27 років, які здійснювали моніторинг стану здоров'я та не мали випадків серцевих захворювань, вели різний за фізичною активністю спосіб життя.

У відповідності до поставленої мети та завдань вивчали морфометричні особливості будови ВПВ і НПВ методом УЗД-доплерографії апаратом професійного класу Siemens Juniper Acuson (USA) із секторальними датчиками. Для вимірювання діаметру ВПВ (dВПВ, крізь супрастернальне вікно) та НПВ (dНПВ, у субксіфоїдальному вікні під мечоподібним відростком в сагітальній площині, дещо праворуч від середньої лінії живота, де вена найменше піддається деформації від тиску датчика) проводили їх візуалізацію на 1-2 см проксимальніше від місця впадіння кожної з вен у праве передсердя в положенні

обстежуваних лежачи на спині. Датчик тримали чітко паралельно осі судини для уникнення заниження реальних діаметрів. Для вимірювання поздовжнього розміру ВПВ (ІВПВ) використовували супрастернальне вікно (із встановленням датчика у правій надключичній ямці зі спрямуванням променя вниз у середостіння для візуалізації місця злиття плечоголовних вен) та парастернальне вікно (зі встановленням датчика справа у 1-2 міжребер'ї для візуалізації середньої та дистальної частин вени до її впадіння у праве передсердя) наприкінці спокійного видиху. Поздовжній розмір НПВ (ІНПВ) оцінювали від місця впадіння у праве передсердя до біфуркації клубових вен за трьома сегментами: ретропечінковому, підпечінковому та інфраренальному (нижче ниркових вен). Застосовували трансторакальний фазований (секторальний) датчик (2,5–5 МГц), що був націлений на глибину 10-15 см, мав низький фільтр стінки та фокус на рівні місця вимірювання. Фіксували результати сканування з оцінкою морфо-метричних значень просвіту вен та товщини їх стінки. Записи виконували як під час спокійного дихання (фази вдиху і видиху), так і 10-секундних епізодів. Визначали максимальні діаметри ВПВ і НПВ наприкінці спокійного видиху (D_{max}) та мінімальні діаметри на піку глибокого вдиху (D_{min}). Для оцінки центрального венозного тиску (ЦВТ) визначали ідекс колабування (ІК) на основі вимірних показників діаметрів НПВ у фазах вдиху та видиху [18]:

$$ІК = ((D_{max} - D_{min}) / D_{max}) * 100\%.$$

Аналізували криві РW-доплерографії для визначення фазності потоків крові у ВПВ і НПВ: S (систолічну), D (діастолічну), А (реверсивну), V (перехідну).

Довжину тіла (L, см) вимірювали антропометром Мартіна у положенні стоячи, коли голова обстежуваного відповідала франкфуртській горизонталі. Маса тіла (M, кг) визначали медичними вагами з точністю до 100 грам. Окіл грудної клітки (ОГК, см) визначали сантиметровою стрічкою (розташовували ззаду під нижніми кутами лопаток, спереду по нижньому краю сосків). Визначали площу поверхні тіла (ППТ) [7]:

$$ППТ (м^2) = 0,000975482 * \text{зріст(см)}^{1,08} * \text{вага (кг)}^{0,46}.$$

Індекс маси тіла розраховували за формулою: $ІМТ = M / H^2$, де ІМТ – індекс маси тіла, M – маса тіла у кг, H^2 – квадрат росту тіла у м. У відповідності до рекомендацій ВООЗ вважали, що ІМТ <18,5 вказував на дефіцит маси, 18,6-24,9 – нормальну масу, 25,0-29,9 – надлишкову вагу, ≥ 30 – ожиріння (≥ 30) [19].

Тип конституції тіла обстежуваних встановлювали за величиною індексу Піньє (ІП), [1]: $ІП = L - (P + T)$, де L – довжина тіла (см), P – маса тіла (кг), T – окіл грудної клітки на видиху (см). Приймали, що $ІП > 30$ відповідав астеничному типу конституції (худорлявий соматотип, з переважанням поздовжніх розмірів тіла, стрункою, грацильною будовою). ІП у межах 10-30 вказував на нормостенічний тип конституції (атлетична будова тіла, норма, що характеризується пропорційністю, розвинутою м'язовою системою). $ІП < 10$ свідчив про гіперстенічний тип конституції (пікнічний соматотип, тучне тіло з переважанням поперечних антропометричних показників).

Вивчення рухливості способу життя проводили за допомогою анкетування ІРАQ (Long Form), оцінка враховувала щотижневу фізичну активність у 4-х сферах життя (на роботі, вдома, під час пересування та на дозвіллі) [17]. Для оцінки рівня фізичної активності (РФА) розраховували одиницю метаболічного еквіваленту (МЕТ хв./тиждень) за формулою: $МЕТ = (\text{коефіцієнт}) * (\text{хв на день}) * (\text{хв. на тиждень})$, де коефіцієнт для ходьби = 3,3 МЕТ, помірні навантаження = 4,0 МЕТ, інтенсивні навантаження = 8,0 МЕТ. Згідно методики: низька РФА - коли сумарне значення МЕТ менше ніж 600, середня – коли вона відповідала 600-3000 МЕТ, а висока – у випадку більше ніж 3000 МЕТ.

Всі дослідження проводили після отримання особистої письмової згоди обстежуваних у відповідності до норм біоетики з обов'язковим дотриманням положень МОЗ України від 13.03.2006, № 66 і Гельсінської Декларації (1975, пізніші редакції 1996–2013 рр.). Отримані результати обробляли методом варіаційної статистики за пакетом програм Microsoft Excel 2019. Аналізована нами вибірка відповідала закону нормального розподілу за тестом Шапіро-

Вілка. Кореляційний аналіз здійснювали за Пірсоном. Достовірність змін і відмінностей між досліджуваними показниками оцінювали за t-критерієм Стьюдента. Взаємозв'язки між досліджуваними показниками оцінювали за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона.

Результати та обговорення. Середні значення поздовжніх розмірів та діаметрів ВПВ та НПВ всієї вибірки обстежуваних, отриманих у положенні тіла лежачи на спині в різних фазах дихального циклу показано у табл. 1.

Таблиця 1.

Морфо-метричні показники порожнистих вен обстежуваних
у різних фазах дихального циклу

Порожниста вена	Довжина (l, см)	Діаметр у різних фазах дихального циклу (d, см)		
		вдих	видих	апноє
ВПВ	6,81 ± 1,62	0,72 ± 0,18**	1,74 ± 0,10	1,31 ± 0,09
НПВ	20,93 ± 3,12	1,33 ± 0,12*	2,45 ± 0,11	2,53 ± 0,13

Примітка. * – вірогідність відмінностей $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$ відносно видиху.

З неї видно, що показники ВПВ та НПВ у середньому відповідали межах від 6 до 20 см. Максимальні і мінімальні значення для ВПВ сягали, відповідно 5,2 та 8,5 см, для НПВ відповідно 17,8 та 24,1 см. Акти вдиху та видиху не суттєво впливали на поздовжні розміри судин внаслідок їх топографічного положення. Як відомо, початок ВПВ анатомічно пов'язаний з місцем злиття правої і лівої плечоголовних вен, а закінчення – із впаданням у праве передсердя. Для НПВ місцем початку є злиття правої і лівої загальних клубових вен, що відбувається на рівні 4-5 поперекових хребців, після чого вона піднімається вгору та впадає в праве передсердя серця [9]. Оскільки згадані точки для кожної з порожнистих вен мають чітку орієнтацію відносно скелету та розташування серця, то поздовжні розміри цих судин практично не змінюються під час дихальних циклів. Опускання діафрагми під час глибокого вдиху здатне дещо змістити НПВ, але фактично розмір залишався незмінним. Подальше вивчення морфології порожнистих вен під час вдиху і видиху вказало на чіткі зміни їх діаметральних розмірів у різних фазах дихального циклу (табл. 1). D_{max} на вдиху та видиху у НПВ дорівнювали, відповідно $1,4 \pm 0,1$ та $2,5 \pm 0,1$. D_{min} на вдиху та видиху для цієї ж порожнистої вени склали близько $1,21 \pm 0,1$ та $2,35 \pm 0,1$ відповідно. У ВПВ D_{max} змінювався у середньому від $0,9 \pm 0,1$ на вдиху до $1,84 \pm 0,1$ на видиху. Так, D_{min} на вдиху та видиху для ВПВ варіювали у межах $0,54 \pm 0,1$ та $1,64 \pm 0,1$ відповідно. Слід зазначити, що фізіологічно пік глибокого вдиху спричинював стрімкий розвиток негативного тиску у грудній клітці, який служив потужним механізмом «засмоктування» крові у серце. Через це діаметри ВПВ і НПВ звужувались (колабували). Особливо виразно таке звуження діаметру демонструвала НПВ. Так, різниця між середніми значеннями $d_{НПВ}$ під час вдиху і видиху складала у середньому, близько $1,02 \pm 0,14$ см ($p < 0,01$), тоді як зміни у $d_{ВПВ}$ у різних фазах дихального циклу відбувались у межах $0,62 \pm 0,1$ см ($p < 0,05$), що були у 1,6 разів меншими. Ймовірно, такі відмінності у колабуванні між НПВ і ВПВ пов'язані з тим, що остання, під час вдиху, жорстко зафіксована у середостінні [18].

З літератури відомо, що діагностика стану НПВ є ключовою для визначення волемічного статусу (наповнення судин рідиною) та тиску в правому передсерді [3, 16]. Для оцінки центрального венозного тиску (ЦВТ) ми провели визначення індексу колабування (ІК) на основі вимірних показників діаметрів НПВ у фазах вдиху і видиху та проаналізували його. Розрахунок ІК НПВ обстежуваних згідно зафіксованих нами D_{max} і D_{min} під час вдиху та видиху встановив його величину близько 51%. У клініці прийнято, що кількісні значення норми для ІК НПВ зазвичай дорівнюють чи більші за 50% [18]. Отримані нами шляхом розрахунку його значення, для обстежуваного нами контингенту, вказували на нормальну реакцію даної судини у різні фази дихання. Більше того, оскільки D_{min} був на видиху в обстежуваних меншим ($1,84$ см) за граничну межу норми ($2,1$ см), а рівень її колабування був у межах 51%, то можна констатувати, що ЦВТ відповідав низькому або нормальному тиску в

правих відділах серця (приблизно 0-5 мм.рт.ст.). До того ж, така висока колапсованість судини є свідченням того, що в організмі обстежуваних було відсутнє перевантаження рідиною (гіперволемії). Так, НПВ більшості обстежуваних активно спадалась на вдиху, що було відмінною прогностичною ознакою роботи серцево-судинної системи. Як відомо, нормальна гемодинаміка у НПВ і ВПВ, які безпосередньо впадають у праве передсердя та мають пульсуючий характер течії (здебільшого 3-фазний), демонструє зміни тиску в правому передсерді під час систоли і діастоли серця [7]. Порожністі вени у місцях впадання у праве передсердя мають найбільшу швидкість кровотоку, яка створюється безпосередньо роботою серця та змінами тиску в грудній клітці під час дихальних фаз. Рухи серця і грудної клітки причетні до появи "зворотних хвиль", які обумовлюють певну турбулентність течії крові в місцях впадання у серце, що деякою мірою збурює її ламінарну (спокійну) течію.

Ми провели аналіз кривих РВ-доплерографії обстежуваних для оцінки фазності потоків крові у обох порожнистих венах в цілому (рис. 1).

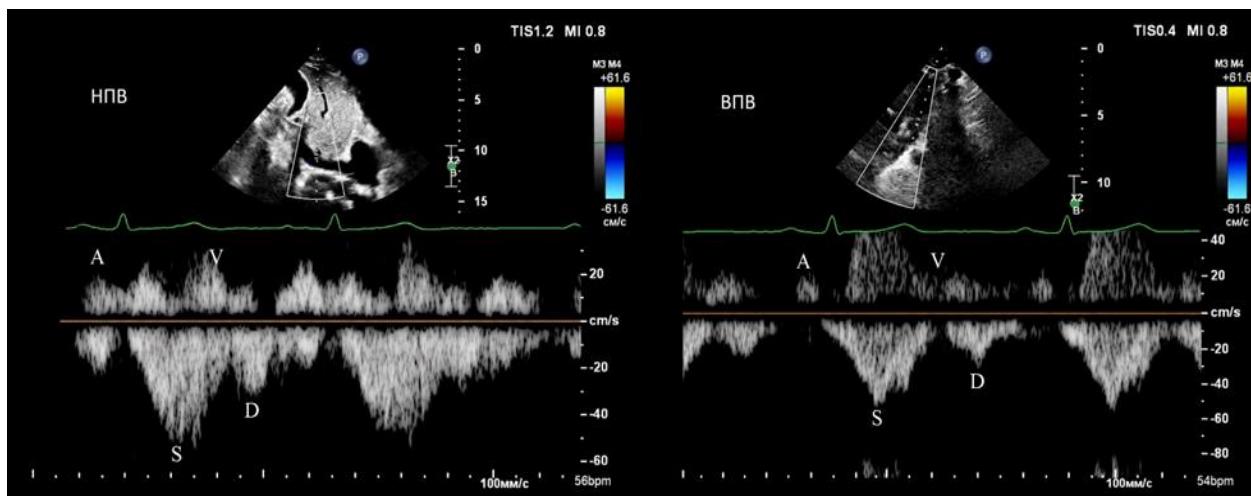


Рис. 1. Доплерограми порожнистих вен обстежуваних.

Найбільші піки хвиль порожнистих вен обстежуваних, які були спрямовані до серця, встановлені для S-хвиль у відповідь на систолу їх шлуночків. Їх амплітуда вказувала на те, що робота «присмоктувального» механізму правого передсердя, який спрацьовував під час зміщення передсердно-шлуночкової перетинки вниз, цілком достатньо забезпечував рух крові з порожнистих вен до серця, що відповідало нормі [15]. Вивчення спрямування D-хвиль (які у всіх обстежуваних були дещо меншими за S-хвилі) вказало на розташування їх вектору до серця, що свідчило про пасивний рух крові з порожнистих вен через передсердя у правий шлуночок під час ранньої діастоли внаслідок відкриття трикуткового клапану та дії градієнта тиску, що відповідало нормі.

Згідно даних літератури, у здорових чоловіків D-хвиля зазвичай має нижчу амплітуду за систолічну [1]. Аналіз реверсивного руху крові (за A-хвилями) показав, що вони здебільшого мали невелику амплітуду, були короткими та спрямованими від серця (тобто назад у вени), відображаючи період систоли передсердь. Відомо, що під час скорочення передсердя, певна частина крові завжди виштовхується назад у порожністі вени, що вважається нормою [11]. Дослідження V-хвиль обстежуваних (як відображення перехідного періоду між хвилями S і D) не виявило відхилень у їх природі. Ці хвилі відповідали моменту максимального наповнення передсердя, що передуює відкриттю трикуспідального клапана.

У подальшому ми розглянули особливості гемодинаміки за потоками крові під час кожної фази дихального циклу у ВПВ і НПВ (рис. 2). Встановлено, що характер гемодинаміки за потоками крові в обох венах залежав від фаз вдиху і видиху та проявлялось, відповідно, зростанням швидкості на вдиху і сповільненням течії крові на видиху. Порівняння рівня пульсації у порожнистих венах обстежуваних вказало на те, що у ВПВ він був дещо більшим.

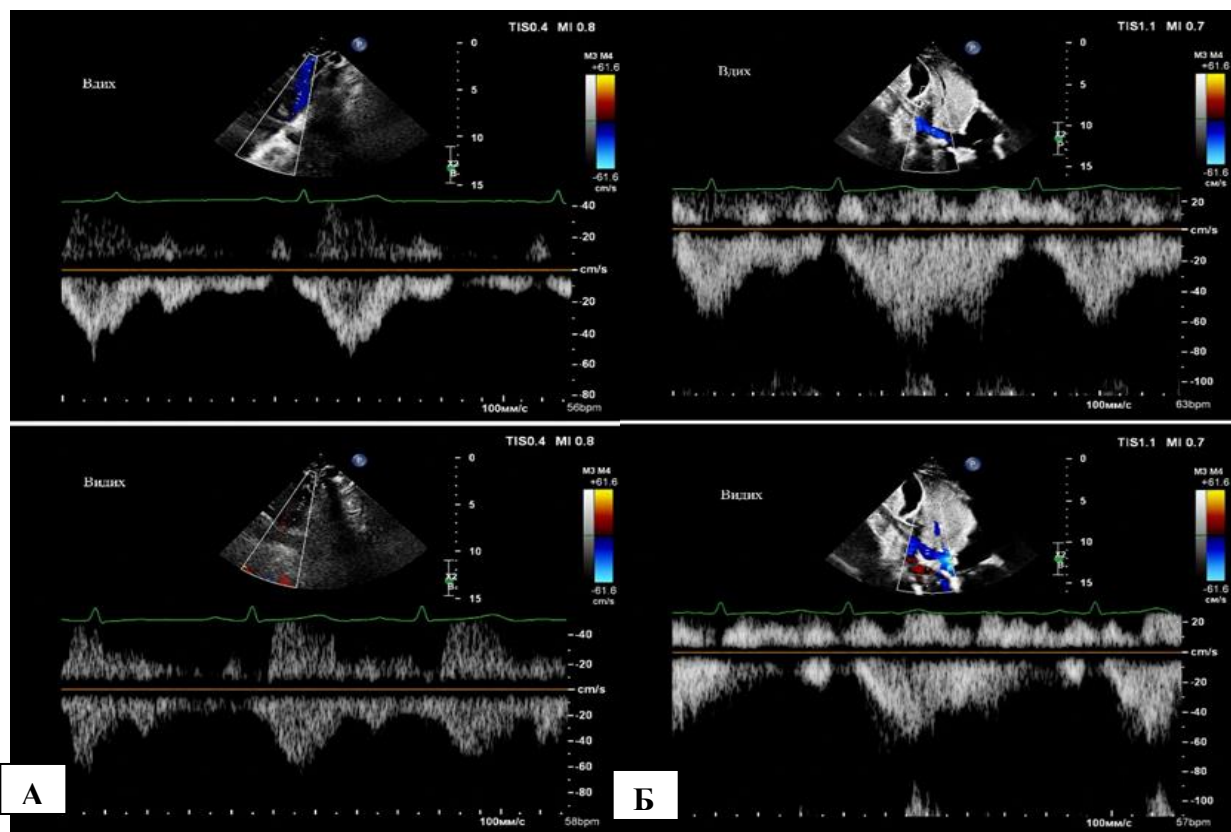


Рис. 2. Доплерівські знімки записів хвиль у верхній (А) та нижній (Б) порожнистих венах під час дихального циклу.

Це може бути пов'язане як з ближчим місцем розташування ВПВ до серця, так і з відсутністю на неї обмежуючого «демпферного» впливу черевного тиску. Отже, існування на кривих РВ-доплерографії ВПВ і НПВ обстежуваних S та D-хвиль вказувало на нормальну еластичність камер серця, а амплітуда А-хвилі свідчила про достатню силу скорочення правого передсердя. Таким чином, виявлена фазність потоку крові у порожнистих венах обстежуваних демонструвала нормальний перебіг гемодинаміки, відсутність серцевої недостатності чи стиснення вен.

У відповідності до поставлених в роботі завдань, ми провели розподіл обстежуваних за типами конституції тіла за показниками антропометрії та ІМТ (табл. 2).

Таблиця 2.

Показники антропометрії обстежуваних різних типів конституцій (Min-Max)

Тип конституції	Довжина тіла, L (см)	Маса, P(кг)	Окіл грудної клітки, T (см)	Індекс маси тіла, ІМТ (у.о.)
Астенічний	> 185,0	65,0 – 75,9	92,0 – 110,0	18,5 – 22,9
Нормостенічний	176,0 – 184,9	76,0 – 90,0	101,0 – 107,5	20,0- 25,5
Гіперстенічний	165,0 – 175,9	> 90,1	> 110,1	21,9-26,4

Як видно з таблиці, для встановлених параметрів L, P та T тіла обстежуваних різних конституцій ІМТ коливався у межах від 18 до 26 у.о. Разом із тим, нашу увагу привернуло те, що при одному і тому ж показнику ІМТ (наприклад, 22 у.о.), гіперстеніки з мінімальними значеннями T (у 110 см) виглядали більш атлетично, тоді як астеніки зі схожими антропометричними показниками іноді могли мати вигляд людини із зайвою підшкірною жировою клітковиною. Нас зацікавили параметри ВПВ і НПВ у обстежуваних з різним типом конституції.

На сьогодні у доступній нам літературі було знайдено обмаль робіт, в яких би спеціально застосовували метод порівняльного вивчення морфо-метричних та функціональних параметрів ВПВ і НПВ, визначені методом УЗД у відповідності до конституції тіла та способу життя. Водночас, є відомості відносно існування зв'язку між діаметром НПВ та деякими антропометричними розмірами тіла [16]. Деякі автори повідомляють про кореляцію між максимальним діаметром ВПВ і вагою, але відсутність статистично значущого зв'язку між центральним венозним тиском у магістральних венах та віком або розмірами тіла [30]. Тому ми провели розподіл обстежуваних за величиною індексу Пінье (ПІ) на астеничний, нормостеничний та гіперстеничний типи конституції та здійснили порівняльний аналіз морфо-метричних показників їх порожнистих вен (табл. 3).

Таблиця 3.

Показники довжини та діаметрів верхньої і нижньої порожнистих вен обстежуваних у різних фазах дихального циклу залежно від типу конституції тіла

Тип конституції	Морфо-метричні показники порожнистих вен у різних фазах дихального циклу (см)			
	ВПВ		НПВ	
	довжина	діаметр (вдих/видих)	довжина	діаметр (вдих/видих)
астеничний	$7,68 \pm 0,75^*$	$0,77 \pm 0,21^* / 1,72 \pm 0,23^*$	$22,75 \pm 1,23^*$	$0,52 \pm 0,08^* / 1,53 \pm 0,10^*$
нормостеничний	$6,13 \pm 0,71$	$0,92 \pm 0,21 / 1,93 \pm 0,22$	$19,83 \pm 1,12$	$0,79 \pm 0,09 / 1,88 \pm 0,11$
гіперстеничний	$4,59 \pm 0,60$	$2,14 \pm 0,20 / 2,65 \pm 0,24$	$16,91 \pm 0,91$	$1,82 \pm 0,11 / 2,21 \pm 0,13$

Примітка. * – вірогідність відмінностей $p < 0,05$ відносно гіперстеничного типу.

Встановлено, що обстежувані з астеничним типом конституції характеризувались достовірно більшими розмірами поздовжніх розмірів обох порожнистих вен ($p < 0,05$), що, ймовірно, відповідало великій загальній довжині їх грудної клітки порівняно з представниками інших типів, особливо гіперстеничного. Так, різниця між ВВПВ і НВПВ у обстежуваних крайніх конституційних типів складала, відповідно, 44,4% та 25,7% на користь астеників. Автори відмічають, що більша довжина порожнистих вен з меншим кутом впадання у вертикально розташоване серце притаманна людям з високими ростовими даними, що у великій мірі сприяє належному венозному поверненню крові [16]. Обстежувані нормостеничного соматотипу характеризувались проміжними розмірами порівняно інших двох типів. Водночас, у представників астеничного типу конституції виявлено найменші середні розміри діаметрів обох порожнистих вен як у фазі вдиху, так і видиху (на нижній межі норми) з D_{\min} , відповідно, 0,56 та 1,49 см.

Зміни діаметральних розмірів порожнистих вен, зафіксованих під час вдиху і видиху обстежуваних крайніх конституціональних типів показано на рис. 3. Динаміка діаметральних розмірів обох венозних магістральних судин під час фаз вдиху і видиху в обстежуваних гіперстеничного типу конституції була менш вираженою порівняно такої у представників астеничного типу (на 36,0% у ВВПВ та на 48,4% у НВПВ). Ймовірно, що гіперстеничний тип конституції (особливо переважання широтних розмірів над поздовжніми у будові грудної клітки) сприяв меншій дихальній екскурсії, що проявлялося порівняно невеликими змінами діаметра порожнистих вен.

У літературі зустрічаються схожі дані, які отримали й інші автори [29]. Також, слід зазначити, що виявлене нами значно менше спадіння діаметра магістральних венозних судин на вдиху відносно фази видиху у обстежуваних гіперстеничної конституції тіла порівняно представників астеничної тілобудови могло вказувати на високу ймовірність розвитку у перших високого тиску у правому передсерді. Адже відомо, що невисока ступінь спадання

(менша ніж 50%) є негативним прогностичним показником венозного повернення крові та виникнення ускладнень серцевої діяльності [14].

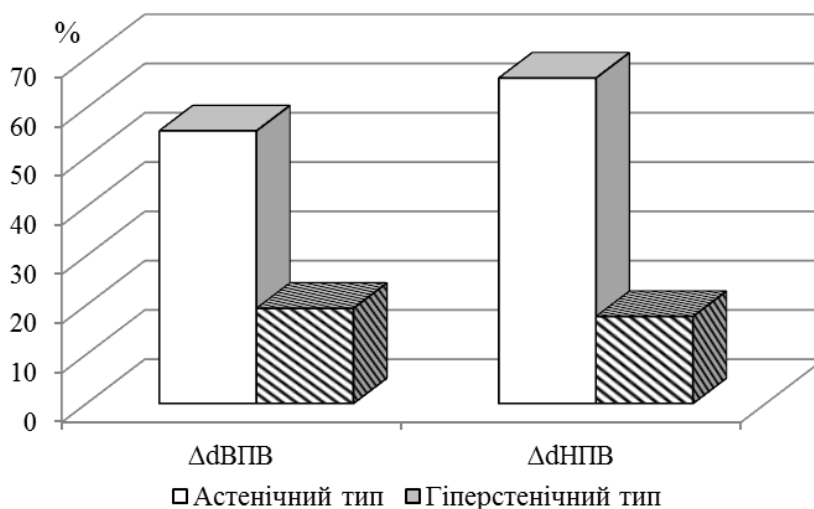


Рис. 3. Різниця діаметрів верхньої та нижньої порожнистих вен між фазами дихального циклу обстежуваних з астенічною та гіперстенічною конституцією тіла.

Представники з нормостенічною конституцією тіла здебільшого характеризувались діаметрами обох порожнистих вен, що наближались до середніх проміжних значень відносно інших соматотипів та під час дихального циклу демонстрували чітко виражені відповідні зміни у межах норми.

У подальшому ми розглянули гемодинаміку порожнистих вен обстежуваних з астенічною, нормостенічною та гіперстенічною типами конституції за кривими доплерографії (рис. 4).

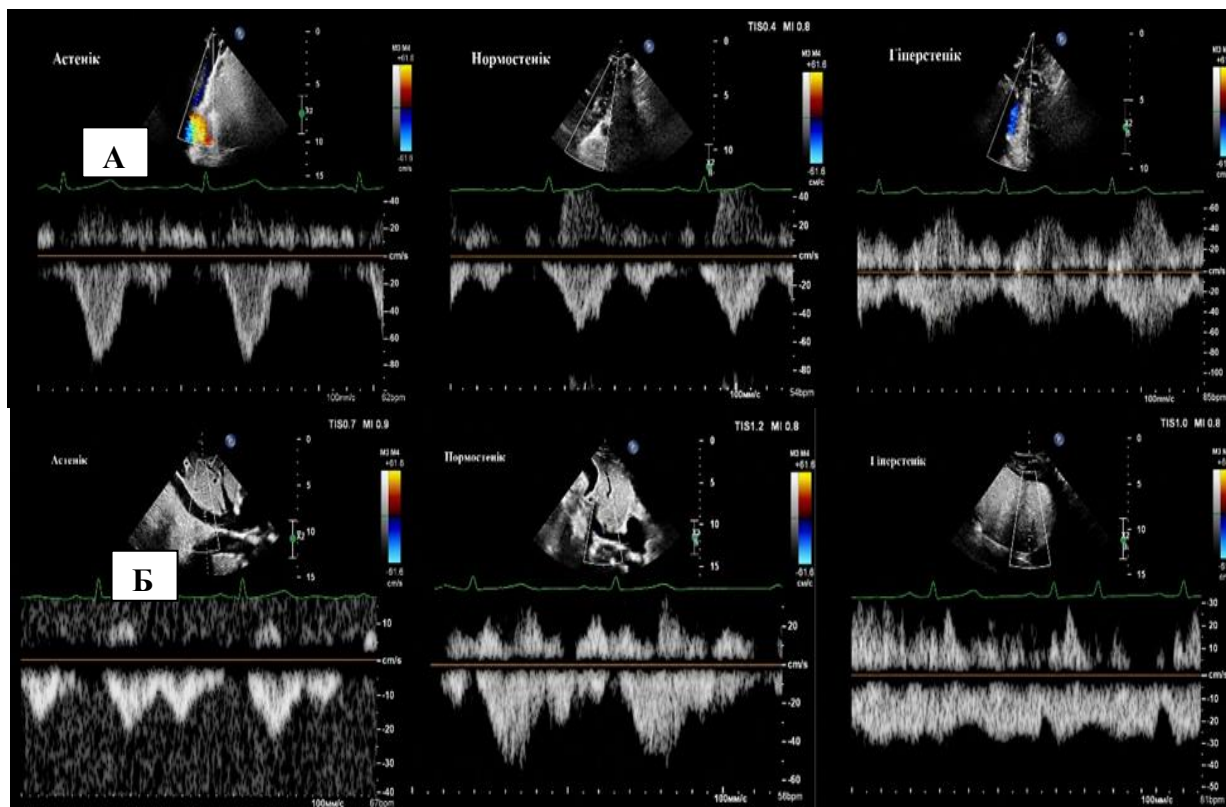


Рис. 4. Доплерівські знімки хвиль у верхній (А) та нижній (Б) порожнистих венах людей з різною конституцією тіла.

Порівняння доплерограм ВПВ і НПВ виявило, що у всіх виділених нами соматотипів пульсація (амплітуда хвиль) у ВПВ візуалізувалась чіткіше. Ймовірно, це пов'язано з тим, що ця вена має ближче розташування до серця. Водночас, у НПВ гемодинаміка сильніше залежала від процесу дихання. Під час фази вдиху присмоктуюча сила грудної клітки посилювала хвилі S та D (що відображало збільшення швидкості течії). На видиху спостерігалася протилежна реакція - швидкість потоку знижувалась, отже фазність ставала менш вираженою. З рис. 4 видно, що у обстежуваних з астеничним типом конституції пульсація була найвищою з чітко вираженими хвилями S та D. Разом із тим, завдяки вертикально розташованому серцю, венозне повернення виявляло тенденцію до більш динамічної течії. Ймовірно, на це впливав як менший діаметр судин, так і більш відчутний вплив дихання. Ретроградна А - хвиля у астеників внаслідок змін грудного тиску виявилась також більш виразнішою порівняно з іншими соматотипами. З отриманих нами записів доплера помітно, що у обстежуваних з гіперстенічною конституцією (які мали широку грудну клітку, високе розташування діафрагми та горизонтальне розміщення серця) фіксувався більш пологий хвильовий спектр, а самі хвилі не мали чіткого розмежування. Порівняно з астениками, фази S – хвиль були менш вираженими, а кровотік характеризувався монотонністю та низькою швидкістю. Водночас, схилиємось до думки, що не дивлячись на невисоку (на нижній межі норми) пульсацію (тобто амплітуду хвиль), швидкість кровотоку у гіперстеніків була більш стабільною та могла менше залежати від дихання (особливо у НПВ) [20]. Нормостеніки демонстрували чіткий хвильовий спектр: хвиля S характеризувалась більшою амплітудою порівняно хвилі D. У переважній більшості обстежуваних швидкість кровотоку відповідала нормі, що цілком забезпечувало повернення крові, яке відбувалось у відповідності до серцевого циклу.

Ми проаналізували ймовірність існування зв'язків між рівнем фізичної активності, та морфо-функціональними показниками порожнистих вен, виявлених УЗД в обстежуваних з різним типом конституції (рис. 5).

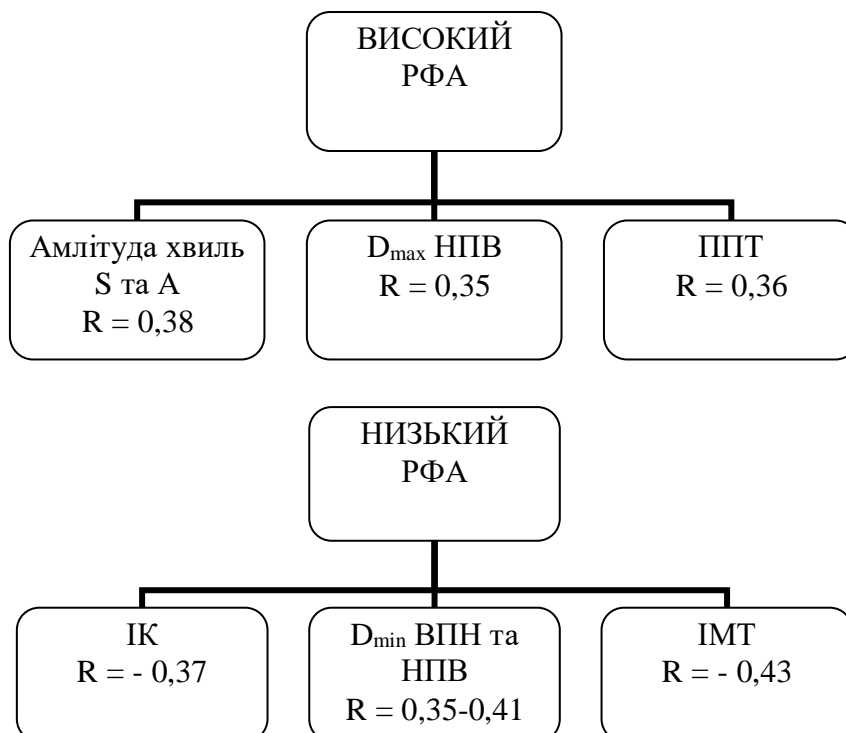


Рис. 5. Кореляції між деякими морфо-функціональними характеристиками обстежуваних різних типів конституції та рівнем їх фізичної активності.

Примітки: наводяться тільки вірогідні зв'язки на рівні не менше $p < 0,05$.

Встановлено, що високий РФА корелював з більшими амплітудами систолічної та реверсної хвиль, великою площею тіла та значним діаметром НПВ у всі фази дихального циклу (навіть під час апное) ($p < 0,05$). Ймовірно, що такий зв'язок у обстежуваних, які регулярно відвідували спортивні секції, займались фізичною працею, багато ходили пішки тощо свідчив про вироблений під впливом фізичного навантаження ряд пристосувань. Вони спрямовувались на необхідність венозною системою транспортувати значні зворотні об'єми крові, сильніше скорочення передсердь, кращу еластичність венозних стінок для підтримки нормального тиску у правих відділах серця для забезпечення механізму «засмоктування» крові. Схожі дані ми знайшли у літературі, які були отримані при обстеженні спортсменок і не спортсменок. Автори виявили, що розміри НПВ (як по довжині, так і ширині) були більшими у тих, які тренувалися на витривалість [12]. Дещо інший кореляційний патерн ми встановили у обстежуваних, які вели малоактивний спосіб життя. Він вказував на сформовані негативні зв'язки між низьким РФА та великим ІМТ, мінімальними діаметрами обох порожнистих вен, які демонстрували високу схильність до колабування під час фази вдиху ($p < 0,05$).

Отже, наші результати доводять, що незалежно від конституції тіла людини, діаметральні параметри порожнистих вен залежать від рівня фізичної активності та способу життя. Висока фізична активність створює умови для активної роботи м'язової помпи, яка може компенсувати велику довжину судин у астеників, що вкрай важливо для адекватного повернення крові до серця через НПВ. Припускаємо, що низька фізична активність за астеничної конституції тіла може створювати ризики для судинного тонусу внаслідок швидкої втрати тепла та гравітаційного стазу крові. Стосовно впливу фізичної активності на функціональність порожнистих вен у людей з гіперстенічною конституцією, схилиємося до думки, що коротший шлях судини може полегшувати швидке повернення крові до серця під час навантажень. Згідно отриманих нами результатів, систематична фізична активність сприяє більшій дилатації вен, що у гіперстеніків може додатково покращити адаптацію їх судинної системи до значного об'єму циркулюючої крові. Вважаємо, що за низького РФА існує висока ймовірність значного ризику для широких вен гуперстеніка, які можуть стати ригідними та створити негативні передумови для розвитку хронічного венозного застою.

Висновки

1. Аналіз кривих PW-доплерографії виявив залежність характеру гемодинаміки в обох венах за фазністю потоку крові залежно від вдиху і видиху, відповідно, зростання швидкості і сповільнення течії крові з переважанням рівня пульсації у ВПВ. Під час глибокого вдиху колабування діаметру у більшій мірі проявлялось у НПВ ніж у ВПВ.

2. Встановлено, що не залежно від типу конституції гемодинаміка у ВПВ має чітку пульсацію у всі фази дихального циклу, але у НПВ вона була більш помітною.

3. Вивчення морфо-метричних параметрів порожнистих вен та показників їх гемодинаміки виявило:

- достовірно більші розміри поздовжніх розмірів обох порожнистих вен ($p < 0,05$) та одночасно найменші середні розміри їх діаметрів упродовж фаз дихального циклу в обстежуваних астеничного типу конституції порівняно з гіпер- та нормостенічним. У доплерограмах астеників превалювали чітко виражені систолічні, діастолічні та реверсивні хвилі у відповідь на зміни грудного тиску;
- менш виражену динаміку діаметральних розмірів обох венозних магістральних судин під час фаз вдиху і видиху в обстежуваних гіперстенічного типу конституції порівняно такої у представників астеничного типу. Доплерограми гемодинаміки в обох порожнистих венах гіперстеніків характеризувались меншою амплітудою хвиль, монотонністю та низькою швидкістю, що у НПВ мало залежало від фаз дихального циклу;
- існування проміжних значень довжини, ширини діаметрів обох порожнистих вен у нормостеніків під час дихального циклу відносно інших соматотипів. Доплерограми характеризувались чітким хвильовим спектром у межах норми.

4. Встановлено зв'язок між фізичною активністю та деякими морфо-метричними та гемодинамічними показниками обстежуваних. Вищий РФА позитивно корелював з високими амплітудами систолічної та реверсної хвиль, великою площиною тіла, а також більшими розмірами діаметру НПВ незалежно від фази дихального циклу ($p < 0,05$). У обстежуваних з низьким РФА виявлено більший ІМТ, найменші діаметри магістральних венозних судин, які мали помітну схильність до спадання під час фази вдиху ($p < 0,05$).

5. Отримані результати можуть бути корисними у фізіології та медицині для оцінки стану венозного русла, профілактики серцево-судинних захворювань, у спортивній орієнтації, розробці індивідуальних тренувальних програм, здоров'язберігаючих траєкторій та відповідних процедур моніторингу стану здоров'я.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у проведенні оцінки морфофункціональних особливостей порожнистих вен в різних проекційних положеннях тіла під час дихального циклу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калмикова Ю.С. Методи дослідження у фізичній реабілітації: дослідження фізичного розвитку : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. фіз. культури і спорту напряму підготовки «Здоров'я людини». Харків, 2014. 104 с.
2. Лежньова О.В. Взаємозв'язки показників центральної гемодинаміки з конституціональними особливостями у спортсменів юнацького віку. Вісник морфології. 2012. Т. 18, № 1. С. 143–146.
3. Мішалов В.Г. Практикум з хірургії. Модуль 2. Торакальна, серцево-судинна, ендокринна хірургія : навч. посіб. Київ : Видавничий дім «Асканія», 2011. 446 с.
4. Приймак С.Г. Спортивно-педагогічне удосконалення студентів: морфофункціональне забезпечення діяльності. Чернівці : ПАТ «ПВК ДЕСНА», 2018. 291 с.
5. Фізична реабілітація, спортивна медицина : підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів / В.В. Абрамов, В.В. Клапчук, О.Б. Неханевич та ін. Дніпропетровськ : Журфонд, 2014. 456 с.
6. Якушева Ю. І., Сарафинюк Л. А., Кириченко Ю. В. Взаємозв'язки реокардіографічних параметрів центральної гемодинаміки з конституціональними показниками у волейболісток різного амплуа. Світ медицини та біології. 2015. № 4 (53). С. 95–100.
7. An improvement of body surface area formulas using the 3d scanning technique / G. Redlarski, S. Kozieł, M. Krawczuk et al. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2024. Vol. 37, № 2. P. 205–219. DOI: <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.02356>
8. Assessment of inferior vena cava diameter by echocardiography in normal Indian population: A prospective observational study / S. Patil, S. Jadhav, N. Shetty et al. Indian Heart Journal. 2016. Vol. 68, № 6. P. 799–805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2016.06.009>
9. Bennett W. F., Altaf F., Deslauriers J. Anatomy of the superior vena cava and brachiocephalic veins. Thoracic Surgery Clinics. 2011. Vol. 21, № 2. P. 197–203. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2010.12.010.
10. Blumgart's Surgery of the Liver, Biliary Tract, and Pancreas / ed. by L. H. Blumgart, Y. Fong. – 6th ed. – Philadelphia, PA : Elsevier, 2017. – 1952 p.
11. Current Surgical Therapy / ed. by J. L. Cameron, A. M. Cameron. – 13th ed. – Philadelphia, PA : Elsevier, 2018. – 1712 p.
12. Echocardiographic characterization of the inferior vena cava in trained and untrained females / K. Hedman, E. Nylander, J. Henriksson et al. Ultrasound in Medicine and Biology. 2016. Vol. 42, № 12. P. 2794–2802.
13. Equation for Predicting Inferior Vena Cava Diameter as a Potential Pointer for Heart Failure Diagnoses among Adult in Azare, Bauchi State, Nigeria / M. K. Yusuf, W. O. Hamman, U. E. Umana, S. B. Oladele. Journal of Clinical Images. 2022. Vol. 5, № 1. Art. 1113.
14. Greenfield's surgery: scientific principles & practice / ed. by M. W. Mulholland, K. D. Lillemoe, G. Doherty et al. ; ill. by H. R. Fischer. – 6th ed. – Philadelphia, PA : Wolters Kluwer, 2017. – 2120 p.
15. Handbook of venous disorders: guidelines of the American Venous Forum / ed. by P. Gloviczki, J. S. T. Yao. – 2nd ed. – London ; New York : Arnold, 2001. – 557 p.
16. Impact of Body Size on Inferior Vena Cava Parameters for Estimating Right Atrial Pressure: A Need for Standardization? / T. Taniguchi, T. Ohtani, S. Nakatani et al. Journal of the American Society of Echocardiography. 2015. Vol. 28, № 12. P. 1420–1427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.07.008>
17. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity / C. L. Craig, A. L. Marshall, M. Sjöström, A. E. Bauman, M. L. Booth et al. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003. Vol. 35, № 8. P. 1381–1395. DOI: <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB>
18. Ivachevskij M., Rusyn A., Ivachevska V. Inferior vena cava collapsibility index as a non-invasive method of assessing the volemic status of patients during spine interventions. Orthopaedics Traumatology and Prosthetics. 2024. № 1. P. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872024133-37>

19. Mapping the Associations Between Body Mass Index and Key Psychosocial Determinants: Resilience, Perceived Stress, and Emotion Regulation in Young Adults—A Cross-Sectional Study / B. Tilov, P. Stanchev, M. Dimitrova et al. *Healthcare*. 2025. Vol. 13, № 23. Art. 3150. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare13233150>
20. *Mastery of Surgery* / ed. by J. E. Fischer, K. I. Bland, M. P. Callery. – 7th ed. – Philadelphia, PA : Wolters Kluwer Health, 2016. – 2520 p.
21. Review of evolving etiologies, implications and treatment strategies for the superior vena cava syndrome / C. Straka, J. Ying, F.-M. Kong et al. *SpringerPlus*. 2016. Vol. 5. Art. 229. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1900-7>
22. *Sabiston Textbook of Surgery Board Review* / ed. by C. M. Townsend Jr., R. D. Beauchamp. – 9th ed. – Philadelphia, PA : Elsevier Saunders, 2021. – 304 p.
23. *Schwartz's Principles of Surgery* / ed. by F. C. Brunicaardi et al. — 10th ed. — New York : McGraw-Hill Education, 2014. — 2069 p.
24. *Shackelford's Surgery of the Alimentary Tract* / ed. by K. D. Lillemoe, C. J. Yeo. – 8th ed. – Philadelphia, PA : Elsevier, 2019. – 2184 p.
25. Superior Vena Cava Syndrome / A. H. Azizi, I. Shafi, N. I. Shah et al. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2020. Vol. 13, № 24. P. 2896–2910. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.08.038>
26. Superior Vena Cava Syndrome: A Palliative Approach to Treatment / K. D. Esposito, M. A. Shariff, A. Freiberg, M. C. A. Evangelista. *Cureus*. 2022. Vol. 14, № 8. Art. e27889. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.27889>
27. Superior vena cava syndrome / P. F. Klein-Weigel, S. Elitok, A. Ruttloff et al. *Vasa*. 2020. Vol. 49, № 6. P. 437–448. DOI: 10.1024/0301-1526/a000908.
28. Superior vena cava syndrome: Clinical considerations / B. Pech-Alonso, C. Fermín-Hernández, S.I. Saavedra-de Rosas, R.J. Cicero-Sabido. *Revista Médica del Hospital General de México*. 2018. Vol. 81, № 2. P. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hgmx.2017.03.004>
29. Systemic venous diameters, collapsibility indices, and right atrial measurements in normal pediatric subjects / S. Kutty, L. Li, R. Hasan et al. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2014. Vol. 27, № 2. P. 155–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.09.002>
30. The Relationship between Superior Vena Cava Diameter and Collapsibility and Central Venous Pressure / B. S. Cowie, R. Kluger, S. Rex, C. Missant. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2015. Vol. 43, № 3. P. 357–360. DOI: <https://doi.org/10.1177/0310057X1504300312>

REFERENCES

1. Kalmykova, Y.S. (2014). *Metody doslidzhennia u fizychnii reabilitatsii: doslidzhennia fizychnoho rozvytku* [Methods of research in physical rehabilitation: physical development research] (Educational manual). Kharkiv.
2. Lezhnova, O.V. (2012). *Vzaiozviazky pokaznykiv tsentralnoi hemodynamiky z konstytutsionalnymy osoblyvostiamy u sportsmeniv yunatskoho viku* [Interrelationships of central hemodynamics indicators with constitutional characteristics in young athletes]. *Visnyk Morfolohii*, 18(1), 143–146.
3. Mishalov, V.H. (2011). *Praktykum z khirurgii. Modul 2. Torakalna, sertsevo-sudynna, endokrynna khirurgiia* [Surgery workshop. Module 2. Thoracic, cardiovascular, endocrine surgery] (Educational manual). Vydavnychiy dim "Askaniia".
4. Pryimak, S.H. (2018). *Sportyvno-pedahohichne udoskonalennia studentiv: morhofunktsionalne zabezpechennia diialnosti* [Sports and pedagogical improvement of students: morphofunctional support of activity]. PAT "PVK DESNA".
5. Abramov, V.V., Klapchuk, V.V., Nekhanevych, O.B., & al. (2014). *Fizychna reabilitatsiia, sportyvna medytsyna* [Physical rehabilitation, sports medicine] (Undergraduate textbook). Zhurfond.
6. Yakusheva, Y.I., Sarafyniuk, L.A., & Kyryuchenko, Y.V. (2015). *Vzaiozviazky reokardiografichnykh parametriv tsentralnoi hemodynamiky z konstytutsionalnymy pokaznykamy u voleibolistok riznoho amplua* [Interrelationships of rheocardiographic parameters of central hemodynamics with constitutional indicators in volleyball players of various roles]. *Svit Medytsyny ta Biolohii*, (4), 95–100.
7. Redlarski, G., Koziel, S., & Krawczuk, M. (2024). An improvement of body surface area formulas using the 3d scanning technique. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 37(2), 205–219. doi.org.
8. Patil, S., Jadhav, S., Shetty, N., Kharge, J., Puttegowda, B., Ramalingam, R., & Cholenahally, M. N. (2016). Assessment of inferior vena cava diameter by echocardiography in normal Indian population: A prospective observational study. *Indian Heart Journal*, 68(6), 799–805. doi.org.
9. Bennett, W.F., Altaf, F., & Deslauriers, J. (2011). Anatomy of the superior vena cava and brachiocephalic veins. *Thoracic Surgery Clinics*, 21(2), 197–203. doi.org.
10. Blumgart, L.H., & Fong, Y. (Eds.). (2017). *Blumgart's surgery of the liver, biliary tract, and pancreas* (6th ed.). Elsevier.
11. Cameron, J.L., & Cameron, A.M. (Eds.). (2018). *Current surgical therapy* (13th ed.). Elsevier.
12. Hedman, K., Nylander, E., Henriksson, J., Bjarnegård, N., & Brudin, L. (2016). Echocardiographic characterization of the inferior vena cava in trained and untrained females. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 42(12), 2794–2802.

13. Yusuf, M.K., Hamman, W.O., Umana, U.E., & Oladele, S.B. (2022). Equation for predicting inferior vena cava diameter as a potential pointer for heart failure diagnoses among adult in Azare, Bauchi State, Nigeria. *Journal of Clinical Images*, 5(1), Article 1113.
14. Mulholland, M.W., Lillemoe, K.D., Doherty, G., Upchurch, G.R., Jr., Alam, H.B., & Pawlik, T.M. (Eds.). (2017). *Greenfield's surgery: Scientific principles & practice* (6th ed.). Wolters Kluwer.
15. Gloviczki, P., & Yao, J.S.T. (Eds.). (2001). *Handbook of venous disorders: Guidelines of the American Venous Forum* (2nd ed.). Arnold.
16. Taniguchi, T., Ohtani, T., Nakatani, S., Hayashi, K., Yamaguchi, O., Komuro, I., & Sakata, Y. (2015). Impact of body size on inferior vena cava parameters for estimating right atrial pressure: A need for standardization? *Journal of the American Society of Echocardiography*, 28(12), 1420–1427. doi.org.
17. Craig, C.L., Marshall, L.A., Sjöström, M., Bauman, A.E., Booth, M.L., Ainsworth, B.E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J.F., & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1381–1395. doi.org.
18. Ivachevskij, M.M., Rusyn, A.V., & Ivachevska, V.V. (2024). Inferior vena cava collapsibility index as a non-invasive method of assessing the volemic status of patients during spine interventions. *Orthopaedics Traumatology and Prosthetics*, (1), 33–37. doi.org.
19. Tilov, B., Stanchev, P., Dimitrova, M., Hristamyan, M., & Makakova-Tilova, D. (2025). Mapping the associations between body mass index and key psychosocial determinants: Resilience, perceived stress, and emotion regulation in young adults—a cross-sectional study. *Healthcare*, 13(23), Article 3150. doi.org.
20. Fischer, J.E., Bland, K.I., & Callery, M.P. (Eds.). (2016). *Mastery of surgery* (7th ed.). Wolters Kluwer Health.
21. Straka, C., Ying, J., & Kong, F. M. (2016). Review of evolving etiologies, implications and treatment strategies for the superior vena cava syndrome. *SpringerPlus*, 5, Article 229. doi.org.
22. Townsend, C.M., Jr., & Beauchamp, R.D. (Eds.). (2021). *Sabiston textbook of surgery board review* (9th ed.). Elsevier Saunders.
23. Brunnicardi, F.C., Andersen, D.K., Billiar, T.R., Dunn, D.L., Hunter, J.G., Matthews, J.B., & Pollock, R.E. (Eds.). (2014). *Schwartz's principles of surgery* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
24. Lillemoe, K.D., & Yeo, C.J. (Eds.). (2019). *Shackelford's surgery of the alimentary tract* (8th ed.). Elsevier.
25. Azizi, A. H., Shafi, I., Shah, N. I., Rosenfield, K., Schainfeld, R., Sista, A. K., & Bashir, R. (2020). Superior vena cava syndrome. *JACC: Cardiovascular Interventions*, 13(24), 2896–2910. doi.org.
26. Esposito, K.D., Shariff, M.A., Freiberg, A., & Evangelista, M.C.A. (2022). Superior vena cava syndrome: A palliative approach to treatment. *Cureus*, 14(8), Article e27889. doi.org.
27. Klein-Weigel, P. F., Elitok, S., Ruttloff, A., Reinhold, S., Sucher, U., & Valdueza, J. M. (2020). Superior vena cava syndrome. *Vasa*, 49(6), 437–448. doi.org.
28. Pech-Alonso, B., Fermín-Hernández, C., Saavedra-de Rosas, S. I., & Cicero-Sabido, R. J. (2018). Superior vena cava syndrome: Clinical considerations. *Revista Médica del Hospital General de México*, 81(2), 59–65. doi.org.
29. Kutty, S., Li, L., Hasan, R., Peng, Q., Rangamani, S., & Danford, D. A. (2014). Systemic venous diameters, collapsibility indices, and right atrial measurements in normal pediatric subjects. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 27(2), 155–162. doi.org.
30. Cowie, B.S., Kluger, R., Rex, S., & Missant, C. (2015). The relationship between superior vena cava diameter and collapsibility and central venous pressure. *Anaesthesia and Intensive Care*, 43(3), 357–360. doi.org.

Liliia Yukhymenko, Volodymyr Kozak.

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE VENA CAVAE AND THEIR HAEMODYNAMIC FEATURES DURING DIFFERENT PHASES OF THE RESPIRATORY CYCLE DEPENDING ON PHYSICAL ACTIVITY LEVEL AND BODY CONSTITUTION TYPE

Introduction. *The study investigated morphometric parameters of the superior and inferior vena cava (SVC and IVC) and their haemodynamic features during different phases of the respiratory cycle according to physical activity level and body constitution using Doppler ultrasonography. Ultrasound imaging enabled visualisation of the major venous trunks, quantitative assessment of their dimensions, and evaluation of venous haemodynamics. Data regarding constitutional differences in vena cava morphology and haemodynamics remain limited. Since physical activity substantially affects adaptive mechanisms and venous circulation, studying vena cava structure and function in individuals with different somatotypes and activity levels is of considerable scientific interest.*

Objective. *To determine morphometric and functional characteristics of the vena cavae in individuals with different body constitution types and physical activity levels using ultrasonography.*

Methods. *Ultrasound Doppler examination was performed using a Siemens Juniper Acuson system (USA). Longitudinal and diametrical parameters of the SVC and IVC were assessed in 42 healthy male volunteers aged 19–27 years with different physical activity levels. Body weight ranged from 57 to 90 kg, height from 157 to 193 cm, chest circumference from 86 to 115 cm, and BMI from 18.5 to 26.4 kg/m². All*

participants had normal physical development and no cardiovascular or concomitant diseases. Data were processed using variation statistics in Microsoft Excel 2019.

Main Results. The greatest longitudinal vena cava dimensions were found in asthenic individuals, whereas hypersthenic participants demonstrated significantly larger diameters ($p \leq 0.05$). Normosthenic subjects showed intermediate values. PW Doppler analysis revealed respiratory-dependent haemodynamic changes in both veins, with increased blood flow velocity during inspiration and reduced flow during expiration, while pulsation predominated in the SVC. Regardless of body constitution, physically active men demonstrated significantly larger vena cava diameters than less active participants.

Scientific Novelty. In the supine position, Doppler curves demonstrated specific morphometric and haemodynamic changes in different respiratory phases. During deep inspiration, diameter collapse was more pronounced in the IVC than in the SVC. SVC haemodynamics remained independent of body constitution and preserved distinct pulsation throughout all respiratory phases. Physical activity significantly influenced morphometric and functional vena cava parameters and showed different correlations across somatotypes.

Conclusions. PW Doppler analysis confirmed respiratory-phase dependence of haemodynamics in both vena cavae, characterised by accelerated blood flow during inspiration and reduced velocity during expiration, with greater pulsation in the SVC. Asthenic individuals demonstrated significantly greater longitudinal dimensions and smaller diameters of both vena cavae ($p < 0.05$), accompanied by pronounced systolic, diastolic, and reverse Doppler waves. Hypersthenic participants showed reduced respiratory-related diameter variability and lower-amplitude haemodynamic waves, particularly in the IVC. Normosthenic individuals demonstrated intermediate morphometric parameters and normal wave patterns. Higher physical activity positively correlated with greater systolic and reverse wave amplitudes, larger body surface area, and increased IVC diameter irrespective of respiratory phase ($p < 0.05$). Low physical activity was associated with higher BMI, smaller venous diameters, and greater inspiratory collapse. The findings may be useful in physiology, medicine, cardiovascular prevention, sports medicine, and the development of individualised training and health-monitoring programmes.

Keywords: superior vena cava, inferior vena cava, morphometry, haemodynamics, ultrasonography, Doppler sonography, body constitution, physical activity, respiration.

Надійшла до редакції / Received: 14.04.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аншелес Анна Олександрівна – здобувачка вищої освіти, кафедра медичної біології і спортивної дієтології Національного університета фізичного виховання і спорту України

Безкопильний Олександр Олександрович – д. пед. н., доцент, кафедра теорії, методики фізичного виховання, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Гулько Петро Миколайович – доцент кафедри спортивних дисциплін, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Дзюник Іван Сергійович – аспірант, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Ільїн Володимир Миколайович – Національний університет фізичного виховання і спорту України, Міжнародний центр астрономічних та медико-біологічних досліджень

Коваленко Станіслав Олександрович – доктор біологічних наук, професор, кафедра спортивних дисциплін, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Коваль Катерина Генадіївна – аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Коваль Юлія Віталіївна – викладач, Науково-дослідний інститут фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Кожемяко Тетяна Володимирівна – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Козак Володимир Вікторович – аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Краснова Світлана Павлівна – к.мед.н., доцент, доцент кафедри медичної біології і спортивної дієтології Національного університета фізичного виховання і спорту України

Лизогуб Володимир Сергійович – д.б.н., професор, директор Науково-дослідного інституту фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Лук'янцева Галина Володимирівна – д.б.н., професор, професор кафедри медичної біології і спортивної дієтології Національного університета фізичного виховання і спорту України

Пакушина Людмила Зиновіївна – старший викладач кафедри початкової і спеціальної освіти Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького

Пастухова Вікторія Анатоліївна – д.м.н., професор, зав. кафедри медичної біології і спортивної дієтології Національного університета фізичного виховання і спорту України

Петренко Юрій Олексійович – кандидат біологічних наук, доцент, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Пустовалов Віталій Олександрович – кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент, кафедра спортивних ігор, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, кафедра спортивних ігор. м. Черкаси, Україна

Савицька Олена Сергіївна – викладач кафедри початкової і спеціальної освіти Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького

Светлова Олена Дмитрівна – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Севериновська Олена Вікторівна – доктор біологічних наук, професор Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Северинчук Владислав Михайлович – аспірант, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Сіянов Юрій Васильович – тренер футбольного клубу «Пахтакор», Ташкент, Узбекистан

Скоробогатов Андрій Миколайович – д.мед.н., професор, професор кафедри медицини голови та шиї, Приватний заклад вищої освіти «Академія Добробут»

Сосновський Володимир Володимирович – доктор філософії з біології, викладач кафедри медичної біології і спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України

Хмельницька Юлія Костянтинівна – к.н. з фіз. вих., доцент, доцент кафедри медичної біології і спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України

Хоменко Сергій Миколайович – кандидат біологічних наук, доцент, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Циганник Роман Анатолійович – викладач кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Чернолевський Богдан Олегович – аспірант кафедри біохімії та фізіології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Шпанюк Віталій Васильович – доктор філософії, диплом UEFA Pro, Центр ліцензування, УАФ, Україна

Шпенков Ілля Олександрович – Національний університет фізичного виховання і спорту України

Юхименко Лілія Іванівна – докторка біологічних наук, професор кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

ЗМІСТ

Чернолевський Б. О., Севериновська О. В. ДИНАМІКА ВІДНОВЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СЛУХУ ТА ВЕГЕТАТИВНІ РЕАКЦІЇ ПІСЛЯ НІЧНОГО ВОЄННОГО СТРЕСУ	4
Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І. РОЛЬ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ХАРЧУВАННЯ У ФОРМУВАННІ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ СТУДЕНТІВ ДО НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	17
Коваленко С. О., Дзюник І. С., Гунько П. М., Циганник Р. А. ВПЛИВ ТИМЧАСОВОЇ ОКЛЮЗІЇ НИЖНІХ КІНЦІВОК НА ЦЕНТРАЛЬНУ ГЕМОДИНАМІКУ АТЛЕТІВ	31
Кожемяко Т. В. ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ СТАТОКІНЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ З ТИПОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НЕРВОВИХ ПРОЦЕСІВ В ОНТОГЕНЕЗІ ОСІБ З РІЗНОЮ РУХОВОЮ АКТИВНІСТЮ	38
Лизогуб В. С., Безкопильний О. О., Коваль Ю. В. АСИМЕТРІЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕРОБКИ ОБРАЗНОЇ ТА ВЕРБАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РЕЖИМІ GO/NO-GO/GO	48
Лук'янцева Г. В., Пастухова В. А., Аншелес А. О., Краснова С. П., Хмельницька Ю. К., Скоробогатов А. М., Сосновський В. В. ГЛЮТЕН-АСОЦІЙОВАНІ ПОРУШЕННЯ: МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНА ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ УЯВЛЕНЬ.....	55
Петренко Ю. О., Северинчук В. М. ЕНТРОПІЯ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ.....	70
Світлова О., Пакушина Л., Савицька О. ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОЗУМОВОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СТУДЕНТІВ РІЗНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	81
Шпанюк В. В., Сіянов Ю. В., Пустовалов В. О. ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ФУТБОЛІСТІВ У РІЗНИХ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМАХ БІГУ	90
Шпенков І. О., Ільїн В. М. НЕЙРОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І СТАН АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ У ЮНИХ АКРОБАТІВ НА ЕТАПІ ПОПЕРЕДНЬОЇ БАЗОВОЇ ПІДГОТОВКИ.....	102
Юхименко Л. І., Козак В. В. МОРФО-МЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОЖНИСТИХ ВЕН ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ГЕМОДИНАМІКИ В РІЗНИХ ФАЗАХ ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ ЗАЛЕЖНО ВІД РІВНЯ ФІЗИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ТИПУ КОНСТИТУЦІЇ ЛЮДИНИ.....	111

CONTENT

Chernolevskiy B. O., Severynovska O. V. DYNAMICS OF SLEEP ARCHITECTURE RESTORATION AND AUTONOMIC RESPONSES AFTER NIGHTLY WAR-RELATED STRESS.....	4
Koval K. H., Khomenko S. M., Liliia I. Y. THE ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY AND NUTRITION IN THE FORMATION OF STUDENTS' PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION TO THE EDUCATIONAL PROCESS UNDER CONDITIONS OF MARTIAL LAW	17
Kovalenko S., Dziunyk I., Gunko P., Tsyhannyk R. THE EFFECT OF TEMPORARY OCCLUSION OF THE LOWER LIMBS ON THE CENTRAL HEMODYNAMICS OF ATHLETES.....	31
Kozhemiako T.V. INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF THE INTERACTION BETWEEN STATOKINETIC STABILITY AND THE TYPOLOGICAL PROPERTIES OF NERVOUS PROCESSES IN THE ONTOGENESIS OF INDIVIDUALS WITH DIFFERENT LEVELS OF MOTOR ACTIVITY.....	38
Lyzohub V. S., Bezcopylnuy O.O., Koval Y. V. ASYMMETRY OF THE NEURAL NETWORK OF PROCESSING VISUAL AND VERBAL INFORMATION IN THE GO/NO-GO/GO MODE.....	48
Lukyantseva H. V., Pastukhova V. A., Ansheles A. O., Krasnova S. P., Khmelnyska Yu. K., Skorobogatov A. M., Sosnovsky V. V. GLUTEN-RELATED DISORDERS: A MULTIDISCIPLINARY INTEGRATION OF CURRENT CONCEPTS.....	55
Petrenko Yu. O., Severynchuk V. M. ENTROPY OF BEHAVIORAL REACTIONS AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM.....	70
Svietlova O., Pakushyna L., Savytska O. FUNCTIONING OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM AND FEATURES OF MENTAL PERFORMANCE OF STUDENTS OF VARIOUS SPECIALTIE	81
Shpaniuk V.V., Siyanov U.V., Pustovalov V.O., FEATURES OF FOOTBALL PLAYERS' PHYSICAL ACTIVITY IN DIFFERENT RUNNING SPEED ZONES.....	90
Shpenkov I. O., Ilyin V. M. NEURODYNAMICAL PROPERTIES AND STATE OF THE AUTONOMOUS NERVOUS SYSTEM IN YOUNG ACROBATS AT THE STAGE OF PRELIMINARY BASIC TRAINING.....	102
Liliia Yukhymenko, Volodymyr Kozak. MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE VENA CAVAE AND THEIR HAEMODYNAMIC FEATURES DURING DIFFERENT PHASES OF THE RESPIRATORY CYCLE DEPENDING ON PHYSICAL ACTIVITY LEVEL AND BODY CONSTITUTION TYPE.....	111

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Серія біологічні науки
№ 1. 2026

Відповідальний за випуск
Лизогуб В. С.

Відповідальний секретар
Хоменко С. М.

Комп'ютерне верстання
Любченко Л. Г.

Підписано до друку 15.05.2026.
Формат 84x108/16. Папір офсет. Друк офсет. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 11,3. Обл. вид. арк. 11,6.
Замовлення № 61. Тираж 300 прим.