

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

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

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**
Серія
БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

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

Науковий журнал
Виходить 2 рази на рік

№1. 2025

Черкаси – 2025

**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 №3 від 24.04.2025).

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

Редакційна колегія серії:

Лизогуб В. С., д.б.н., проф. (відповідальний редактор); Светлова О. Д., к.б.н., доц. (відповідальний секретар); Абуладзе А. В., к.б.н. (Грузія); Анна Радохонська, д.б.н., проф. (Польща); Башенко М. І., академік НААН, д.с.-г.н., проф.; Гаврилюк М. Н., к.б.н., доц.; Давидова О. М. к.б.н, доц. (США), Зима І. Г., д.б.н., ст.н.сп., доц., Ілюха Л. М., к.б.н., доц.; Коваленко С. О., д.б.н., проф.; Коробейнікова Л. Г. д.б.н, проф., Лисенко О. М. д.б.н., проф., Макарчук М. Ю., д.б.н., проф.; Освальд Руксенас, д.б.н., проф. (Литва); Спрягайло О. В., к.б.н., доц.; Хоменко С. М., к.б.н., доц.; Юхименко Л. І., д.б.н., проф.

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>
svetlova_2004@ukr.net

Founder, editorial, publisher and manufacturer –
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Media Identifier 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 candidate 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 3 dated 24.04.2025).

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: Doctor of Biological Sciences, Professor Volodymyr Serhiiovych Lyzohub.

Executive secretary: PhD (Candidate of Biological Science), Assistant Professor Olena Dmitrivna Sviatlova.

A.V. Abuladze, Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor (Georgia); Anna Radokhonska, Doctor of Biological Sciences, Professor (Poland); M.I. Bashchenko, Academician of the National Academy of Agricultural Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, M.N. Gavrilyuk, Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Davydova E. PhD, Assistant Professor (USA); Iliukha L.M., Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Khomenko S.M. Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Kovalenko S.O. Doctor of Biological Sciences, Professor; Korobeynikova L.G. Doctor of Biological Sciences, Professor; Lysenko O.N. Doctor of Biological Sciences, Professor; M.Yu. Makarchuk, Doctor of Biological Sciences, Professor; Oswald Ruksenas, Doctor of Biological Sciences, Professor (Lithuania); Spryagaylo O.V. Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Yukhymenko L.I. Doctor of Biological Sciences, Professor; Zyma I.G. Doctor of Biological Sciences, Senior Research Fellow

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>
svetlova_2004@ukr.net

UDC 612.8; 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-4-13

Kateryna Hennadiivna Koval

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

kolybri.777@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2920-2343>

Serhii Mykolaiovych Khomenko

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

skhomenko@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>

Liliia Ivanivna Yukhymenko

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

liyukhimenko@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

EEG-CORRELATES OF ANXIETY OF STUDENT YOUTH IN THE REALITIES OF THE EXTREME SITUATION OF MARTIAL LAW

Relevance. It is known that anxiety caused by an extreme situation can provoke chronic stress and the development of various somatic diseases. At the same time, there is no comprehensive information about EEG patterns in young people experiencing anxiety in the modern realities of Ukraine. The article deals with the peculiarities of the brain functioning of students with different levels of anxiety in the conditions of extreme situation of martial law. It is assumed that the level of anxiety of students while studying at a higher education institution in the extreme situation of martial law can affect the functioning of the brain. Extreme situation was understood as complicated conditions of educational activity: day and night air raids, mixed form of education, uneven workload, etc. **The purpose of the research** is to find out the peculiarities of brain functioning according to the indicators of its electrical activity in students with different levels of anxiety during an extreme situation of martial law. **Research methods.** The method of electroencephalography (EEG) was used to study background EEG patterns and record cognitive evoked brain potentials P_{300} of the auditory modality and determine the levels of reactive (RA) and personal (PA) anxiety. The study was conducted with the participation of 38 practically healthy male students aged 17-19 years. A correlation between EEG power and RA levels was found. **Results of the research.** The correlation analysis between EEG wave power and RA levels revealed the existence of a relationship between them, especially in the low-wave range, where correlations were found in four cortical loci. It was found that students with high anxiety were characterised by significantly lower reactivity of brain mechanisms compared to their peers with lower levels of anxiety. The low level of brain reactivity in students with high anxiety was observed at all stages of evoked brain activity, and their EEG was characterised by a low-amplitude pattern. The analysis of the amplitude characteristics of N_1-P_2 and P_2-N_2 revealed the existence of a significantly lower power of the interpeak intervals of the EEG in individuals with high anxiety compared to subjects with medium and low anxiety gradations. The obtained results can be useful for creating new approaches to preventing and overcoming anxiety as a consequence of the impact of an extreme martial law situation.

Keywords: psychophysiological functions, anxiety, electroencephalography, evoked brain activity, extreme situation, martial law.

Introduction. Among various problems that have recently been of concern to modern scientists, the issues of social anxiety and stress management have become a priority. As a result of constant air raids, forced displacement, shelling, deaths of relatives, etc., Ukrainians' anxiety is increasing, their neurological status is deteriorating, and somatic morbidity is rising. It is known that high anxiety, which lasts for a long time, provokes the development of chronic stress, which can have serious consequences: constant fatigue, insomnia, aggressiveness, low productivity, impaired attention and memory, lability of behavioural strategies, etc. The functioning of many physiological systems is disrupted, in particular, the central nervous system (CNS), which undergoes dangerous changes [11, 26].

The need to restore impaired functions, prevent and treat neuroses and their complications, and develop depressive states makes it important to understand the mechanisms of brain functioning in stressful situations, as well as to find new algorithms to mitigate the impact of excessive anxiety on the psyche of the younger generation. According to the researchers, high anxiety and the associated increase in morbidity, loss of interest in life and learning, the threat of new unpredictable symptoms and disability are challenges that need to be addressed today [4, 6]. The authors are concerned about the danger posed by the growth of anxiety among the civilian population, in particular among students, which can have devastating consequences for the country's future [5, 12].

It has been proven that personal anxiety is a relatively stable individual characteristic that can be used to judge a person's tendency to worry, and reactive (situational) anxiety reflects emotions of tension, anxiety, worry, irritation or nervousness [6, 22]. It is known from the literature that the level of anxiety and its variations in university students have certain features that may be associated with adaptation to the educational process, balance of nervous processes, formation of attitudes towards the future field of professional activity, etc. At the same time, there is currently no comprehensive information on EEG patterns in relation to anxiety. While some authors insist on the desynchronisation of EEG rhythms and the predominance of β rhythms under these conditions, others point to the dominance of θ waves [15, 27]. Thus, the electrophysiological correlates of anxiety in stressful situations as markers of the level of physiological processes have not been studied sufficiently, which has led to the relevance of our study.

Statement of the problem and purpose of the study. One of the priorities of the national education system in the context of European integration is the formation of a professionally competent and psychologically healthy personality. The educational process of student youth in today's realities is characterised by intense mental activity, high pace of the educational process, a variety of experiences of life situations, high learning requirements, forced mixed forms of education (full-time, distance, online) against the background of the negative realities of martial law. All this can lead to increased anxiety among students, creating additional stress on the central nervous system [23].

Anxiety, as an individual trait, reflects a person's persistent tendency to experience strong feelings for insignificant reasons. The body of an anxious person functions in the mode of constant expectation of negative events, which is manifested in behavioural strategies characterised by disorders of self-preservation processes, adaptation to changing living conditions, and depletion of psychophysiological reserves [4]. It is important to remember that the material basis of a person's full life is the optimal course of certain physiological processes aimed at ensuring various functions: mental, motor, metabolic, etc.

Anxiety at the physiological level is manifested by changes in the functioning of many visceral systems (increased heart rate, blood circulation, respiration) and the central nervous system, in particular the brain. During anxiety, there is an increase in the overall excitability of the nervous system, a decrease in the thresholds of sensitivity to irritating stimuli, and a shift in the emotional background to a negative plane [6, 12].

The authors point out that the development of anxiety may be an indicator of insufficient restructuring of psychophysiological mechanisms. Increased activation of the nervous system initiates the development of inadequate behavioural strategies and causes symptoms of fear and anxiety [10, 25]. It is important to define human psychophysiological adaptation as the ability to adapt to changing conditions of existence and withstand the pressure of existing or imagined circumstances of the world around us [7, 21]. Disclosure of the manifestation of anxiety properties, scientific substantiation of the physiological basis of stimulus perception, consideration of performance, clarification of the role of the central nervous system opens up opportunities for revealing the mechanisms of body functioning, gives a chance to find ways to optimise the psycho-emotional background by reconfiguring the brain, etc.

Our working hypothesis was that the level of anxiety in students while studying at higher education institutions (HEIs) in an extreme situation of martial law as a threat to health and life itself [4] has certain characteristics that can correlate with the peculiarities of brain functioning.

The purpose of our research was to find out the peculiarities of brain functioning based on the indicators of its electrical activity in students with different levels of anxiety during an extreme martial law situation.

Organisation and methods of the study. In accordance with the aim, we studied cognitive evoked potentials (P_{300}) by electroencephalography and levels of reactive (RA) and personal (PA) anxiety by means of a questionnaire. The study was conducted with the participation of 38 practically healthy young men aged 17-19 years, 3rd year students of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, who had no pathologies of the auditory, endocrine, nervous systems and traumatic brain injuries. The study was conducted over a 6-month period (from October 2024 to March 2025) in compliance with bioethical standards and the provisions of the Declaration of Helsinki (1975, 1996-2013) with the prior consent of the subjects after they were informed of the purpose, duration, and procedure of the study.

The EEG was recorded with a computerised encephalograph "NeuroCom" by HAI Medica in 19 leads with symmetrical electrode placement according to the international system 10-20 at rest in a shielded sound and light-insulated chamber in a sitting position. The combined ear electrode was used as a reference electrode. EEG recording during each stage of the experiment lasted 40 s. The signal analysis time was 4 s, the sampling frequency was 500 Hz, and the overlap was 50%. The frequency filters were in the range of 0.5 Hz (for low) - 45 Hz (for high). The power of brain biocurrents in the α -, β -, and θ -frequency ranges in all leads was assessed using the NeuroCom software.

The study of evoked potentials (EPs) was carried out on the same computer system. For this purpose, sound stimulation of the right and left ears was performed for 50 ms with a sequence period of 1-2 s, with an intensity of 75-85 dB in the state of closed eyes. The tone frequency of the meaningful stimulus was 2000 Hz, and that of the irrelevant stimulus was 1000 Hz. The appearance of the stimuli in the series was pseudo-random (for every 10 non-significant stimuli, 2-3 significant stimuli were generated). The analysis period was 750 ms. The subject had to pay attention to, recognise and count one of the stimuli (the significant one), which was presented less frequently. The pre-stimulus time interval (about 200 ms) was analysed. The number of averages for the salient stimuli was close to 30, the frequency band was 0.5-50 Hz. Responses to salient stimuli were assessed by verifying the P_{300} component by comparing responses to salient and non-salient stimuli. It was believed that responses to a significant stimulus contain medium-latency components, as well as the P_{300} cognitive complex itself. The latency and amplitude of the components P_1 , N_1 , P_2 , N_2 , P_3 , N_3 between peak latencies P_1 - N_1 , N_1 - P_2 , P_2 - N_2 , N_2 - P_3 , and the duration of the P_{300} wave were assessed. All subjects were right-handed.

To identify the levels of reactive (RA) and personal (PA) anxiety, the subjects were offered to complete a questionnaire based on the Spielberger-Khanin questionnaire [2, 25]. The statistical processing of the results was carried out by methods of mathematical statistics using Microsoft Excel 2010 software packages. The reliability of changes and differences between comparative values was assessed by the Student's t test for difference, nonparametric Wilcoxon-Mann-Whitney U test. Differences with P values ≤ 0.05 were considered significant.

The results of the study and their discussion. It is known that anxiety is an individual quality of a personality characterised by a tendency to excessive worry, acute perception of stress factors, experiences associated with expected troubles, failures, threats, and the thought of inability to adapt to new conditions of existence. The authors agree that anxiety, as a normal emotional response to negative events, is involved in the formation of an adequate response of the body, capable of mobilising energy resources to overcome adversity [6, 10]. At the same time, a high level of anxiety or its duration can disrupt the psychophysiological status of a person and cause fatigue, the development of somatic diseases, and neurological disorders [12].

In accordance with these views, we analysed the anxiety of the students under study during our 6-month study (Table 1).

As can be seen from the table, the results of the Spielberger-Khanin test at the beginning of the study were close to high levels (in the case of both RA and PA). The PA score did not exceed 45 points, and the average RA score was not less than 36 points. Over time, in most of the subjects, the studied anxiety indicators increased, and at the 6th month of the study they acquired the status of high ($P \leq 0.05$). Thus, the increase in the level of PA was 30.6 %, while the increase in RA was 62.8 %. In addition, it should be noted that many answers in the questionnaires of the subjects contained information about an increase in the number of cases of deterioration of health, low activity, and the prevalence of bad mood, which indicated the possibility of developing fatigue and exhaustion.

Table 1.

Indicators of personal and reactive anxiety of the subjects

Investigated indicators (scores)	October 2024 $X \pm m$	March 2025 $X \pm m$	Reliability of differences
PA	41,8 $\pm$ 3,2	54,6 $\pm$ 3,6	$P \leq 0,05$
RA	37,7 $\pm$ 2,6	61,4 $\pm$ 3,2	$P \leq 0,05$

According to the data we obtained from students at the end of the study, the levels of both RA and PA were high and did not meet the generally accepted norm [1, 6]. Our results are in line with the findings of other researchers who emphasise that a significant proportion of the adult population has shown a clear trend towards increased anxiety after Russia's unprovoked full-scale invasion of Ukraine [23, 26].

This increase in anxiety was probably caused by the events of the hot phase of hostilities and the associated development of psychological discomfort. After all, from October 2024 to March 2025, according to official statistics (<https://map.ukrainealarm.com>), an average of 3 to 21 air alerts were announced per day in Cherkasy region, which could last from 30 minutes to 3 hours or more. The number of alerts was at least 6 every day. In October 2024 alone, there were 300 air raids in the middle of the school week (Wednesday-Thursday). But even on the weekend of this month (Sunday), the occupiers terrorised the civilian population of the region at least 99 times, creating an atmosphere of intimidation and danger of arrivals. Approximately the same situation occurred in the following months, which may have contributed to the increase in anxiety among students.

Our research revealed a high level of anxiety in 39.2% of the respondents, a medium level in 31.4%, and a low level in 28.6%, which allowed us to form three groups according to RA: with high, medium and low levels. The first group included 15 young men with a high level of RA, the second group consisted of 12 peers with an average level of RA, and the third group included 11 young men with a low level of anxiety.

It should be noted that anxiety is closely related to the functioning of the limbic system. The amygdala, as its component, regulates emotions such as aggression, fear, and anxiety. It is this brain structure that is responsible for controlling affective reactions, recognising stimuli and evaluating them. Powerful neural afferentation from the amygdala to the frontal cingulate cortex can cause fluctuations in the perception of emotional information [8, 19], and lead to the development of feelings of fear and anxiety [14]. Also, based on current views that EEG is an integrative characteristic of brain functioning that reflects the activity of many neuronal groups [13], we analysed the background electrical activity of the brain of the students under study at the initial and final stages of our study in groups allocated by RA levels. The analysis of the EEG wave power in each group at the beginning of the study showed that in the resting state with eyes closed, it was within the normal range for all subjects. At the same time, there were significant differences between the waves of the high-frequency range of individuals with different levels of RA in the

frontal-central and temporal cortex ($P \leq 0.05$) (Fig. 1). People with an average level of RA took an intermediate position.

As can be seen from the figure, opening the eyes caused a decrease in the power of α -waves (by 39.3% in subjects of the 1st, 44.7% of the 2nd and 32.4% of the 3rd group, respectively), and was also characterised by significant fluctuations in the power of β -band waves. In subjects with low RA, similar changes were recorded in the anterior and posterior cortex. It is likely that such dynamics of α - and β -wave power was associated with an increase in the afferent flow of information and an increase in energy demand [13].

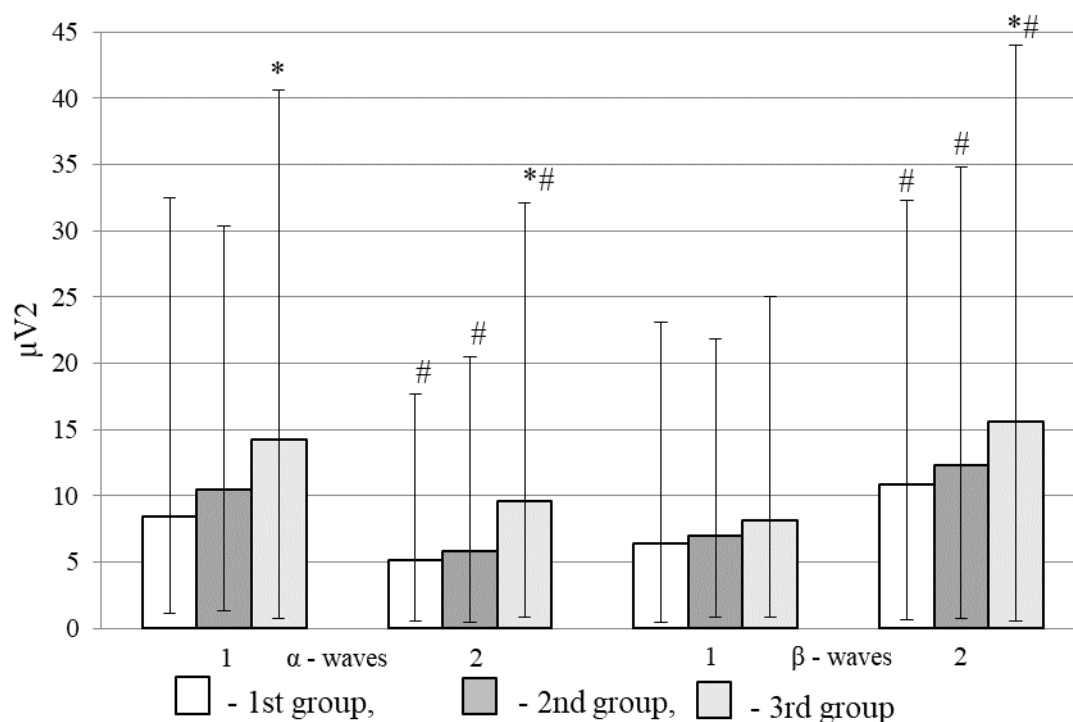


Fig. 1. Power of EEG oscillations in the α - and β -bands in the state with eyes closed (1) and with eyes open (2) in individuals with different levels of reactive anxiety; * – significance of differences $P \leq 0.05$ relative to the indicators in their group, # – $P \leq 0.05$ relative to the indicators with eyes closed in their group.

In general, a comparison of the EEG power indices of the study groups recorded at the beginning and end of the study revealed a decrease in the range of α -waves and a marked increase in θ -rhythmicity as markers of anxiety [11, 17], which was more pronounced in the first group. According to the authors, the feeling of anxiety is accompanied by the appearance of θ waves in the central cerebral cortex [15]. At the same time, it is known that the state of anxiety can be manifested by desynchronisation of the main alpha rhythm and a decrease in its amplitude [18].

Our correlation analysis between EEG wave power and RA levels revealed the existence of a relationship between them, especially in the low-wave range, where correlations were found in four cortical loci ($P \leq 0.05$ -0.01) (Fig. 2). This suggests that anxiety can significantly change the functional state of the cortex and subcortical structures of the brain, as well as "reconfigure" the relationships between them. The dominance of the slow-wave range of EEG characteristics in subjects with a higher level of RA may indicate exhaustion and an increasing deficit of reserve energy capabilities of the "anxious" brain.

Thus, our results probably indicate the existence of functionally different strategies for processing auditory information and forming a brain response in subjects with different levels of

anxiety, as well as a faster rate of nerve impulse transmission and response formation in low-anxious subjects compared to those with higher RA gradations.

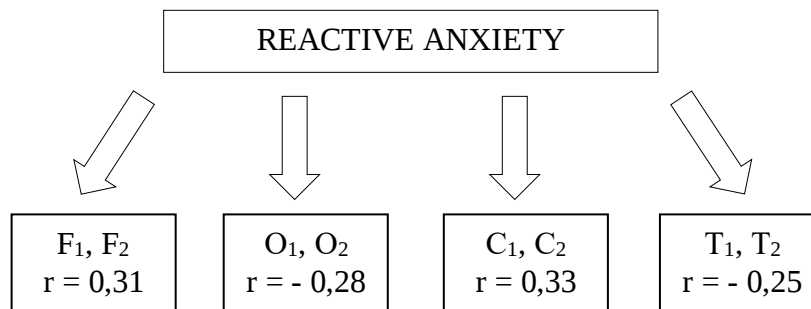


Fig. 2. Correlations between the power of the subjects' EEG waves in the θ -range.

Notes: only significant relationships are shown ($p < 0.05-0.001$).

It is obvious that anxiety can make significant adjustments to the functioning of the cortex and subcortical structures of the brain, and affect the establishment of synaptic contacts between neurons. We assume that the dominance of the slow-wave range of EEG characteristics in individuals with high anxiety may demonstrate the limited capabilities of the brain of a person in an extreme martial law situation, which will interfere with the perception, differentiation of sound stimuli and synthesis of brain responses to stimuli.

To test this hypothesis, we analysed the dynamics of evoked brain activity as a total indicator of its bioelectrical activity, which can be used to judge in more detail the possibility of developing an adequate response under conditions of increased stress. It was found that the latent periods of some components of auditory ERs in individuals with high RA were longer than in subjects with medium and, especially, low anxiety. While the comparison of P_1 components of individuals of different anxiety groups did not reveal any significant differences, the latency of the P_2 component was lower in medium- and low-anxious subjects of the second and third groups, respectively ($P \leq 0.05$) (Table 2).

Table 2.

Difference in the median latency periods of the components of the evoked cognitive potential P_{300} of the auditory modality in subjects with different levels of RA

Components of EPs	Differences between the indicators of individuals with different levels of RA (Δ , %)		
	high – medium	high - low	medium - low
P_1	9,75 (+)	10,53 (+)	9,89 (-)
P_2	12,8* (+)	45,6* (+)	28,1* (+)
P_3	24,9* (+)	55,6** (+)	31,4* (+)

Notes for Tables 2 and 3: * - significance of differences $P \leq 0.05$, ** - $P \leq 0.01$; "-", "+" - respectively, shorter or longer latency period relative to the comparison group.

It is accepted that the early components of the EPs, such as P_1 and P_2 , reflect the unconscious perception and deployment of the initial stages of nonspecific processing of the stimulus auditory signal [11]. On this basis, our results may indicate the benefit of faster stimulus perception and higher cortical cell reactivity in subjects with lower RA at the early stages of response formation. This may also reflect the ability of a "relatively low-anxiety" brain to activate more neurons, establish synaptic connections between them more quickly and in greater numbers, intensify the processes of excitation irradiation along neural circuits, and turn on fast sensory fibres, lemniscus projection systems, and subcortical cortical structures [9, 14]. Similar results

were obtained in relation to the latency period of the P_3 component, which demonstrated a significant slowing of cerebral reactivity in response to auditory stimuli in subjects with high levels of anxiety ($P \leq 0.01$). It is known that the P_3 wave is a reflection of the analytical processes of the brain responsible for the conscious specific processing of information in the primary and secondary cortical areas of the cerebral hemispheres. Thus, the total brain response time in subjects with lower anxiety did not differ significantly from the norm, although it was slightly shorter (by 60-80 ms). In contrast, the total latency of the analysed P_{300} peaks of the subjects of the first group with a high level of RA was 2.3 times higher ($P \leq 0.05$). It should be assumed that a significantly longer latency period of the P_3 component of highly anxious subjects may indicate a smaller number of activated synaptic connections, a lower rate of nerve impulse transmission, and a slower mediator function.

According to modern views, the late components of evoked brain activity reflect the work of nonspecific nuclei of the thalamus, reticular formation, limbic and other multitasking nonspecific brain systems [16, 19, 24]. Probably, a high level of anxiety "paralysed" the perception of the stimulus, inhibiting the transmission of nerve impulses, which led to a paradoxical effect in the work of brain mechanisms, manifested by inadequately low reactivity in response to stimuli.

The analysis of the amplitude characteristics of N_1 - P_2 and P_2 - N_2 revealed the existence of a significantly lower power of the interpeak intervals of the EPs in individuals with high anxiety compared to subjects with medium and low anxiety gradations, whose indicators almost corresponded to the norm accepted in psychophysiology (Table 3).

Table 3.

Difference in the median amplitudes of the components of the evoked cognitive potential P_{300} of the auditory modality in individuals with different levels of RA

Components of EPs	Differences between the indicators of individuals with different levels of RA (Δ , %)		
	high – medium	high - low	medium - low
P_1	6,33 (-)	5,46 (+)	6,58 (+)
P_2	15,8* (-)	27,4* (-)	17,6* (+)
P_3	53,4* (-)	73,5** (-)	24,3* (-)

It is possible that the low power of the studied interpeak intervals of the EPs in the subjects of the first group is indicative of the suppression of brain activation capabilities by stress factors and the unfolding of adverse morphological and functional changes in the central nervous system. It should be noted that stimulation with simple single-tone auditory stimuli, to which the brain response was formed, cannot be very demanding in terms of activating neural reserves or forming synaptic connections, because in the early stages of perception, the nature of the stimulus is not yet assessed. Probably, the high level of anxiety made it impossible for the brain to respond adequately due to the dominance of inhibitory processes. At the same time, the longer latency of both the early and late components of the EPs and the low power of their amplitude in highly anxious subjects indicated a relatively slower rate of nervous processes at all stages of information processing and response formation and the exhaustion of energy reserves.

The results of the research open up new opportunities for physiological monitoring of anxiety, preventing the development of depressive states and neurological dysfunctions that may arise as a result of extreme martial law situations. They can also be useful in improving existing approaches to preserving the mental health of students.

Conclusions.

1. The reactivity of brain mechanisms in students with high anxiety compared to those with low anxiety gradations was found to be significantly lower ($P \leq 0.05$).

2. A correlation between EEG power indices and RA level was found. In the low-wave range, the correlation was found in four cortical loci ($P \leq 0.05-0.01$).
3. It was found that the EEG of subjects with high RA is characterised by a low-amplitude pattern.
4. Highly anxious individuals have a lower level of brain reactivity at all stages of evoked brain activity.
5. The obtained results may be useful for creating new approaches to preventing and overcoming anxiety as a consequence of the impact of the extreme situation of martial law.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агаєв Н.А., Кокун О.М., Пішко І.О. [та ін.]. Збірник методик для діагностики негативних психічних станів військовослужбовців: Методичний посібник. Київ: НДЦ ГП ЗСУ. 2016. 234 с.
2. Байдюк Я.П. Методики для діагностики тривожності. <https://golosiiv.irc.org.ua/news/09-24-30-02-08-2023/>
3. Блохіна І.О. Психологічні причини виникнення тривожності. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Вип. 4. 2021. С. 82–86.
4. Васютинський В.О. Індивідуальні і колективні стратегії адаптації мешканців міських громад до життя в період воєнного конфлікту. Київ: Міленіум, 2017. Вип. 5 (19). С.43 – 52.
5. Гула Л.В. Навчання студентів ЗВО та їх адаптація в умовах воєнного стану. *Теорія і методика професійної освіти*. Випуск 71. Том 1. 2024. С. 129-133.
6. Іванова Т. Тривога як психологічний феномен. *Вісник Львівського університету*. Сер. Психологічні науки. 2020. Вип. 6. С. 72–78.
7. Коваль К.Г. Розробка комп'ютеризованого методу інтегральної оцінки психофізіологічної адаптації людини. Збірник матеріалів міжнародної наукової інтернет-конференції: Світ наукових досліджень. Вип. 40. Біологічні науки. 2025. Тернопіль-Ополе. Електронне джерело: <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/>.
8. Макарчук М.В., Куценко Т.В., Кравченко В.І., Данілов С.А. Психофізіологія. Київ: ООО «Інтерсервіс». 2011. 329 с.
9. Моренко А.Г. Особливості мозкових процесів під час виконання мануальних рухів у відповідь на сенсорні сигнали в осіб із високою і низькою альфа-частотою. Луцьк.: Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки; 2014. 214 с.
10. Стрілецька І.І. Тривожність як індивідуальна властивість особистості (теоретичний аспект). *Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова*. Сер. Психологічні науки. Вип. 1 (46). Київ.: Видавництво НПУ ім. М. П. Драгоманова. 2015. С. 266-272.
11. Тодорів І.В. Електроенцефалографія в психіатрії. Івано-Франківськ. 2004. 82 с.
12. Халік О.О. Тривожність як чинник дезадаптації практичних психологів-початківців: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. псих. наук : 19.00.07. Київ, 2010. 20 с.
13. Чернінський А.О., Крижановський С.А., Тукаєв С.В., Піскорська Н.Г. і ін. Зв'язок фонових та реактивних значень спектральної потужності ЕЕГ людини при виконанні діяльності з різним ступенем інформаційної насиченості. *Фізика живого*. 2010. 18(2). С. 85-91.
14. Чорний С.В. Нейро- та психофізіологічний аналіз стану тривожності у людини: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біолог. наук: 03.00.13. Сімферополь, 2007. 21 с.
15. Шкурпат А.В., Мельник А.Г. Оцінка рівня тривожності підлітків за допомогою ЕЕГ головного мозку. *Формування сучасної наукової думки*. Кропивницький. 31 січня 2020 року. С. 105-106.
16. Andersson S., Holmgren E., Manson J. Localized thalamic rhythmicity induced by spinal and cortical lesions. *EEG Clin. Neuroph.* 1971b. 31(4). P. 347-356.
17. Foa E. B., Huppert J. D. & Cahill S. P. Emotional Processing Theory: An Update. In B. O. Rothbaum (Ed.). *Pathological anxiety: Emotional processing in etiology and treatment*. 2006. P. 3-24.
18. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res. Rev.* 2007. 53(1). P. 63-88.
19. Klinge C., Röder B., Büchel Ch. Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind. *Brain*. 2010.133(Pt 6). P. 1729-1736.
20. Koval K.H., Khomenko S.M. Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content. The collection contains the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture, Sports and Health of Cherkasy National University of Bohdan Khmelnytskyi November 27-28. Cherkasy – Kyiv. 2024. P. 153-154.
21. Koval K.H., Khomenko S.M., Yukhymenko L.I. Psykhofiziologichni osnovy poniattia stresostiikosti liudyny [Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance]. *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society: Proceedings of the XL International scientific and practical conference*. Salzburg. 2024. doi:<https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>.

22. May R. The Problem of Anxiety. 2001. 432 p.
23. Melnyk K.S., Tertychna N.A. Anxiety as a mechanism of youth maladjustment during the war. The 9th International scientific and practical conference "Scientists and existing problems of human development". Zahreb, Khorvatiia. Mizhnarodna naukova hrupa in Croatia. 2023. P. 340-343.
24. Mujica-Parodi L.R., Korgaon M., Ravindranath B. [et al]. Limbic dysregulation is associated with lowered heart rate variability and increased trait anxiety in healthy adults. *Hum. Brain Mapp.* 2009. 30(1). P. 47-58.
25. Spielberger C.D. Anxiety: Current trends in theory and research. New York. 1972. Vol. 1. P. 24-55.
26. Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: the results of an all-Ukrainian survey. Official site of Sociological Association of Ukraine. 2025. Retrieved from <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/>.
27. Verstraeten E. Attentional switching-related human EEG alpha oscillations / Verstraeten E., Cluydts R. *Neuroreport.* 2002. V. 13. P. 681-684.

REFERENCES

1. Agaiev N.A., Kokun O.M., Pishko I.O. [et al. Collection of methods for diagnosing negative mental states of military personnel: Methodological manual. Kyiv: Research and Development Centre of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. 2016. 234 p.
2. Baidiuk Ya.P. Methods for diagnosing anxiety. URL: <https://golosiiv.irc.org.ua/news/09-24-30-02-08-2023/>
3. Blokhina I.O. Psychological causes of anxiety. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University.* Issue 4. 2021. P. 82-86.
4. Vasiutynskyi V.O. Individual and collective strategies of adaptation of urban communities' residents to life during the period of military conflict. Kyiv: Millennium, 2017. Issue 5 (19). P. 43 - 52.
5. Hula L.V. Training university students to adapt to martial law. The theory and methods of professional education. Issue 71. Volume 1, 2024. P. 129-133.
6. Ivanova T. Anxiety as a psychological phenomenon'. *Bulletin of Lviv University: Psychological Sciences.* 2020., Issue 6. P. 72-78.
7. Koval K. H. The development of a computerised method for the integrated assessment of human psychophysiological adaptation. Collection of materials from the international scientific internet conference. The World of Scientific Research. Issue 40. Biological Sciences. 2025. Ternopil–Opole. Electronic resource: <https://www.economy-confer.com.ua/full-article/6205/>.
8. Makarchuk M.V., Kutsenko T.V., Kravchenko V.I., Danilov S.A. *Psychophysiology.* Kyiv: Interservice LLC. 2011. 329 p.
9. Morenko A. H. Features of brain processes during manual movement performance in response to sensory signals, in individuals with high and low alpha frequencies. Luts'k: Lesya Ukrainka Eastern European National University, 2014. 214 p.
10. Striletska I. I. Anxiety as an individual property of personality (theoretical aspect). *Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Psychological Sciences.* Issue 1 (46). Kyiv: Drahomanov National Pedagogical University Publishing House. 2015. P. 266-272.
11. Todoriv I. V. *Electroencephalography in psychiatry.* Ivano-Frankivsk. 2004. 82 p.
12. Khalik O. O. Anxiety as a factor of maladaptation of novice practical psychologists: PhD thesis for the degree of Cand: 19.00.07. Kyiv, 2010. 20 p.
13. Cherninskyi A. O., Kryzhanovskyi S.A., Tukaiev S.V., Piskorska N.H. et al. Correlation of background and reactive values of the spectral power of the human EEG during the performance of activities with different degrees of information saturation. *Physics of the Living.* 2010. 18(2). P. 85-91.
14. Chorny S. V. Neuro- and psychophysiological analysis of the state of anxiety in humans: PhD thesis for the degree of Cand: 03.00.13. Simferopol, 2007. 21 p.
15. Shkuropat A.V., Melnyk A.H. Assessment of the level of anxiety in adolescents using EEG of the brain. Formation of modern scientific thought. *Kropyvnytskyi.* 31 January 2020. P. 105-106.
16. Andersson S., Holmgren E., Manson J. Localized thalamic rhythmicity induced by spinal and cortical lesions. *EEG Clin. Neuroph.* 1971b. 31(4). P. 347-356.
17. Foa E. B., Huppert J. D. & Cahill S. P. Emotional Processing Theory: An Update. In B. O. Rothbaum (Ed.). *Pathological anxiety: Emotional processing in etiology and treatment.* 2006. P. 3-24.
18. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Res. Rev.* 2007. 53(1). P. 63-88.
19. Klinge C., Röder B., Büchel Ch. Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind. *Brain.* 2010.133(Pt 6). P. 1729-1736.
20. Koval K.H., Khomenko S.M. Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content. The collection contains the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Educational and Scientific Institute of Physical Culture, Sports and Health of Cherkasy National University of Bohdan Khmelnytskyi November 27-28. Cherkasy – Kyiv. 2024. P. 153-154.

21. Koval K.H., Khomenko S.M., Yukhymenko L.I. Psykhofiziologichni osnovy poniattia stresostiikosti liudyny [Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance]. *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society*: Proceedings of the XL International scientific and practical conference. Salzburg. 2024. doi:<https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>.
22. May R. The Problem of Anxiety. 2001. 432 p.
23. Melnyk K.S., Tertychna N.A. Anxiety as a mechanism of youth maladjustment during the war. The 9th International scientific and practical conference "Scientists and existing problems of human development". Zahreb, Khorvatiia. Mizhnarodna naukova hrupa in Croatia. 2023. P. 340-343.
24. Mujica-Parodi L.R., Korgaon M., Ravindranath B. [et al]. Limbic dysregulation is associated with lowered heart rate variability and increased trait anxiety in healthy adults. *Hum. Brain Mapp.* 2009. 30(1). P. 47-58.
25. Spielberger C.D. Anxiety: Current trends in theory and research. New York. 1972. Vol. 1. P. 24–55.
26. Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: the results of an all-Ukrainian survey. Official site of Sociological Association of Ukraine. 2025. Retrieved from <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/>.
27. Verstraeten E. Attentional switching-related human EEG alpha oscillations / Verstraeten E., Cluydts R. *Neuroreport*. 2002. V. 13. P. 681-684.

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

ЕЕГ-кореляти тривожності студентської молоді в реаліях екстремальної ситуації воєнного стану

У статті розглядаються особливості функціонування головного мозку студентів із різним рівнем тривожності в умовах екстремальної ситуації воєнного стану. Під екстремальною ситуацією розуміли ускладнені умови навчальної діяльності: денні і нічні повітряні тривоги, змішана форма навчання, нерівномірність об'ємів навчального навантаження тощо. Припускали, що рівень тривожності студентів під час навчання у вищому навчальному закладі за цих умов може впливати на мозкову діяльність.

Метою було з'ясування особливостей роботи мозку за показниками його електричної активності у студентів з різним рівнем тривожності під час екстремальної ситуації воєнного стану.

Досліджували фонові патерни ЕЕГ, реєстрували когнітивні викликані потенціали мозку P_{300} слухової модальності та визначали рівні реактивної (РТ) і особистісної (ОТ) тривожності

у 38 практично здорових студентів чоловічої статі віком 17-19 років.

Виявлено кореляцію між потужністю ЕЕГ і рівнем РТ. Між низькочастотними хвилями і рівнем РТ були встановлені кореляції у чотирьох локусах кори мозку: центральних, темпоральних, окципітальних та фронтальних.

Встановлено, що студенти з високою РТ характеризувалися значно нижчою реактивністю мозкових механізмів порівняно з однолітками, що відрізнялися нижчими її градаціями. Низький рівень мозкової реактивності у обстежуваних з високою тривожністю реєструвався на всіх етапах викликані мозкової активності, що збільшувало час загальної відповіді мозку на подразники.

Вивчення показників потужності ЕЕГ обстежуваних з різними рівнями РТ, зафіксованих на початку і наприкінці дослідження, встановило зниження діапазону α -хвиль та помітне зростання θ -ритміки, як маркерів тривожності, що у високо-тривожних представників було більш виразним. ЕЕГ студентів з високим рівнем РТ характеризувалася низько-амплітудними патернами.

Отримані результати можуть бути корисними для створення нових підходів до запобігання та подолання тривоги як наслідку впливу екстремальної ситуації воєнного стану.

Ключові слова: психофізіологічні функції, тривога, електроенцефалографія, викликана мозкова активність, екстремальна ситуація, воєнний стан.

Надійшла до редакції / Received: 08.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

UDC 612.8.24

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-14-24

Volodymyr Serhiyovych Lyzohub

Doctor of Biological Sciences, Professor

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

v_lizogub@ukr.net

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

Vitalii Oleksandrovych Pustovalov

Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

v_pustovalov@ukr.net

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

Tetiana Volodymyrivna Kozhemiako

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

kozhemako@ukr.net

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

Serhii Mykolayovych Khomenko

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

skhomenko@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>

Yuliya Vitaliyivna Koval

researcher, M. Bosyi Research Institute of Physiology

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

uyula0077@ukr.net

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

RESEARCH AND EVALUATION OF INDIVIDUAL PSYCHO-PHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF GAME INTELLIGENCE OF FOOTBALL PLAYERS

*“Intellect” computer program for research and evaluation of psychophysiological properties of game intelligence of football players have been theoretically grounded, developed and experimentally tested. Its essence is that the football player was offered cognitive tests on processing information of varying degrees of complexity on a computer. The following psychophysiological properties of football players’ game intelligence have been determined: information perception time (PT), speed of solving one (SST₁) and two (SST₂) of three alternative tasks, maximum switching speed (MSS) of complex motor actions, intellectual productivity (IP), predictability (IPred) and task performance accuracy (TPA). Scales of evaluations of qualitative and qualitative psychophysiological characteristics of intellectual tasks have been developed. The statistically significant correlations of the psychophysiological properties of intelligence of IP, MSS, IPred and SST₂ with expert evaluations of football players’ game activity have been determined. A method of determining the coefficient of psychophysiological properties of game intelligence of football players and its quantitative values has been proposed. **The results** of the study using the proposed “Intellect” computer method and the criteria for evaluating the psychophysiological properties of the game intelligence of football players will help in solving theoretical and practical issues of training and competitive activities.*

Keywords: game intelligence, psychophysiological properties, football players, expert evaluation.

In the last decade, research aimed at creating artificial intelligence has intensified [1]. The world has seen significant progress in the creation of intelligent Chat Generative Pre-trained Trans

systems, ChatGPT, an open model of AIs GPT-3, which is a vivid example of such progress. Artificial intelligence systems began to be used in physical education and sports [2]. However, in various kinds of sports, achieving high sports results is possible not only due to physical, functional, technical and tactical capabilities and the manifestation of willpower, but also through the realization of psychophysiological, not artificial intellectual properties of sportsmen [3, 4, 5]. Therefore, the educational and training process must be directed to improving the intellectual capabilities of sportsmen [6, 7, 8]. V.N. Platonov [3] notes that intellectual training should be aimed at ensuring the sportsman's creative analysis of the educational and training process and competitive activities.

Specialists believe that the main type of training in game sports is special intellectual training, which should include theoretical, psychological special-practical components, as well as components of thinking and logic, formation of techniques of mental activity, abstraction and generalization [9, 10]. Indicators of intellectual training can be such psychophysiological properties as: analysis, synthesis and comparison; inductive and deductive conclusions, as well as understanding, assimilation of connections and relations, formation of concepts, classification and systematization of knowledge [11, 12]. It should be emphasized that the processes of perception, analysis, comparison, generalization and prediction effectively affect the quality of competitive activity. M.P. Pitin [10] points out that theoretical training, on the one hand, is an independent structural unit, on the other hand, it is a component of intellectual activity and forms the basis of special game activity.

Another aspect of a sportsman's intellectual training in game sports is the training of intellectual abilities as the highest degree of cognitive activity. The sportsman's intelligence is realized in the strategy he/she chose depending on the game role. Since football is the most popular game in the world, the constant changes in game tactics lead to the fact that the intellectual psychophysiological properties of the players must ensure quick and effective action in the game situation. So, there is an understanding that modern world-class football is an intellectual game that requires quick, specific game thinking in conditions of limited space and lack of time to adopt and successfully implement the most effective actions. Therefore, high-level competitive activity and preparation for it can be considered, first of all, as an intellectual duel of individual players, teams, coaching staffs [4, 13]. It is clear that this does not reduce, but on the contrary, increases the requirements for the level of technical, tactical, physical, psychological and other areas of football players' preparedness. That is why the founders of the concept of intellectual football [5, 14, 15] rightly considered intellectual training to be a promising direction of the future. The validity of this approach is confirmed by the fact that in recent years training of football intelligence and tactical training has become increasingly valuable and is spreading from children's and youth academies to the level of elite football players [16].

Concerning the psychophysiological properties of football players' intelligence, it should be noted that playing football forms cause-and-effect relationships, activates mental processes, improves thinking, develops memory, attention, accuracy, and perception [4, 11]. A football player constantly calculates the combinations that arise, plans and tries to play the game as best as possible, anticipates actions and hinders the opponent's plans. The understanding of the game essence is that football has a unique combination of elements of the game, scientific knowledge and, even, a kind of art. The sportsman's attention is constantly in close connection with thinking [9]. Specific psychophysiological properties of the intelligence of football players can be components of mental activity that include separate components that are not inherent in other sports. They include the principles of the organization of educational and cognitive activities, the peculiarities of the means and methods of sports training aimed at the development of intellectual properties, the formation of knowledge and skills of playing a competitive game, the use of modern information technologies (video films, computer games, GPSport systems). The authors [4, 17] studied the mechanisms underlying successful decision-making in football players of various qualifications. It was found that the analysis of visual search did not reveal differences in football players of different qualifications. While the use of the Brain Kinetic training method has a positive effect on the intellectual properties of football players and increases the result of the game. It should

also be noted that some foreign specialists share the opinion regarding the connection between agility and intellectual abilities, in particular, the speed of visual perception and prediction [4, 5, 7]. Another part of specialists limits the ways of development and understanding of the essence of agility, in particular, in football, only by the speed of movements of the whole body with a change of direction in response to a certain stimulus [18].

It should be noted that an important factor for football players is spatial intelligence, as the ability to quickly perceive visual and spatial information, modify it and reproduce and construct images. This is nothing but the ability of football players to see the field, read the game situation, model and calculate the future most effective individual or team actions in attack and defense [19]. Therefore, the connection of spatial intelligence with the player's tactical thinking is a relevant issue.

In addition, body-kinesthetic intelligence, according to specialists, is a property of the player that allows the use of all parts of the body when solving a motor task [5, 6, 7, 19]. Football theorists and practitioners are convinced of the unity of bodily-kinesthetic and spatial types of intelligence in players. Therefore, game intelligence of a football player can be represented as a complex psychophysiological property, which is a synthesis of bodily-kinesthetic and spatial types of intelligence of the player, the level and manifestations of which allow solving technical and tactical tasks of varying complexity in conditions of strictly limited space and time. In the study of Bondarenko S.V. [19], it is emphasized that the situation we have in domestic football encourages the search for new approaches to improving the intellectual training of football players. A reserve of football players' game intelligence can be emotional intelligence [20]. Emotional maturity of an individual, emotional intelligence, emotional-social intelligence, emotional competence, emotional stability, reliability, regulation, ensure the competitiveness of sportsmen during competitions [21, 22, 23].

Other authors [24] have analyzed modern research and believe that psychomotor properties, such as bodily-kinesthetic, emotional, volitional, communicative and moral, best determine the intelligence of a football player. The authors note that verbal-linguistic and kinesthetic properties prevail among different types of intelligence in the intellectual profile of sportsmen. The authors established the existence of a positive correlation between indicators of kinesthetic intelligence and indicators of emotional (EQ) and cognitive intelligence (IQ). Other researchers [25] indicate that the executive functions of the brain are innate mechanisms for regulating intellectual behavior and show how they are related to the ability to read the game and react quickly.

Thus, the analysis of the literature shows that among the intellectual properties of football players, it is necessary to highlight such psychophysiological properties as the speed of perception of the game situation and cognitive information, the speed of processing and making one, two or several correct decisions, the maximum speed of forming a program of actions and the ability to evaluate their implementation in complex game situations [8]. Besides, intellectual productivity is important for football players; it characterizes the sportsman's ability to solve cognitive tasks efficiently, with a small number of errors, during a long-playing time, at high speed. In addition, the ability to predict changes in the game situation and correctly and timely perform offensive and defensive actions is also important [9, 11]. Therefore, in connection with the above, the task of the study included theoretically substantiating and developing a methodology for research and assessment of individual psychophysiological properties of football players' game intelligence.

Materials and methods. To obtain experimental material of the intellectual psychophysiological properties of football players, we developed a computer complex and the "Intellect" program package with a control panel for the patient and keys for the left and right legs of the football player placed on it.

Guided by the principles of the Helsinki Declaration and biomedical ethics and on the basis of informed consent, 52 professional football players aged 24.1 ± 0.9 years were studied and evaluated for the individual psychophysiological properties of game intelligence.

In this study, we focused on the development of the "Intellect" computer complex with a foot control panel. The methodology made it possible to investigate and evaluate the intellectual psychophysiological properties of football players. The study was conducted in two modes of

“optimal rhythm” and “feedback”. In the “optimal rhythm” mode, the following intellectual properties were determined: information perception time (PT, ms), speed of solving one (SST₁, ms) and two correct tasks (SST₂, ms) of three alternative ones. Using the “feedback” mode, the diagnostics of speed and qualitative-quantitative intellectual properties was performed, namely: maximum switching speed (MSS, s) of solving complex visual-motor tasks, intellectual productivity (IP, number of signals), predictability (IPred, ms) and task performance accuracy (TPA, quantity). These tests determine and evaluate the psychophysiological properties of football players’ intelligence and the ability of the higher parts of the brain to ensure the maximum possible pace for each player of a fast and error-free motor reaction with the legs to cognitive positive and braking signals.

The intellectual property PT was determined in a sitting position in front of a computer monitor, the subject’s feet were placed on the remote control. The subject was offered the instruction: “When any signal (red, yellow or green) appears on the monitor screen, you need to press and release the key on the remote control as quickly as possible with your right foot”. The average value of PT was recorded, as well as other statistical indicators: mean square deviation, error of the mean, coefficient of variation. To determine PT, 30 signals were used with an exposure of 0.7 s. The PT property was assessed by the average motor reaction time in ms. The shorter the visual-motor reaction time, the better the PT score.

To obtain the value of the psychophysiological property of SST₁, the subject was offered the instruction: “When a red signal appears on the monitor screen, you need to quickly press the right key with your right foot. Do not respond to other signals”. The device registers and displays on the screen the average value of the time of SST₁ with the same indicators as when determining PT and indicates the number of false reactions. The property of SST₁ was assessed by the average reaction time of the response in ms. The shorter the motor reaction time of the choice, the better the result of SST₁.

To determine the intelligence property of SST₂, the football player had to perform the task with two legs. The subject was offered the instruction: “When a red signal appears on the monitor screen, you need to quickly press the key with your right foot. When the green signal appears, press the left key. Do not respond to yellow signals”. The device registers and displays on the screen the same list of statistical indicators as in the previous modes. When determining the intelligence properties of SST₂ in both recent tests, we also presented 30 signals with an exposure of 0.9 s. The property of SST₂ was assessed by the average reaction time of the response in ms. The shorter the time of the visual-motor reaction of differentiating signals and motor action, the better the result of SST₂.

To determine the psychophysiological properties of the MSS to solve complex tasks, as well as the IP according to the indicators of speed, quality and quantity of information processing, the football players were examined in the “feedback” mode. In this mode, under the condition of performing a cognitive task, the exposure of the signal changed automatically depending on the nature of the subject’s answers: after a correct answer, the exposure of the next signal was shortened by 20 ms, and after an incorrect one, on the contrary, it was extended by the same value. The fluctuation range of the signal exposure during the work of the subject was within 900-20 ms. The instruction for the subject under the condition of conducting examinations using this mode is the same as in the “optimal rhythm” mode with SST₂.

The intelligence property of the MSS was evaluated by the time of the task. In our research, football players were presented with a cognitive task of 120 signals and the level of MSS was evaluated based on the performance result. The following indicators are displayed on the computer screen: the indicator of the level of MSS, the minimum exposure and the time to achieve it, the speed of correct answers for the right and left legs. The property of MSS was evaluated by the time it took to complete the task in seconds. The shorter the time required to complete the task of processing 120 signals, the better the result - MSS.

To determine the properties of IP, the football players performed tasks with their feet for 3 minutes. The total number of processed signals is a measure of the IP property evaluation. The result of the task performance was recorded on the screen: the number of processed signals, the minimum exposure and the time of exiting it, the percentage of correct answers for the right and left

leg. The property of IP was evaluated by the number of processed signals. The more the football player processed the signals, the higher the IP score was.

The properties characterizing the sportsman's ability to IPred and TPA were determined and evaluated as the timeliness and accuracy of motor reactions of the subject to an object moving at a constant speed. The football player's task was to predict when in space and time, it was necessary to press a key with his foot in order to stop an object moving as close as possible to a stationary marker. This version of the research methodology of IPred and TPA allows to register the movement responses of football players (in a given place and in time) to the movement of a moving object. The moment of movement of the object is set by the program. The number of trials after training was set by the experimenter (usually 30 trials, 2-3 series). The subject's reaction was considered accurate if the moving object deviated from the stationary marker within ± 5 ms and was an exact match. Before the start of the study, the subject was familiarized with the testing conditions. The subject was offered the instruction: "Press the key with your right (or left) foot, try to stop the moving object exactly against the stationary marker. Continue the test until the screen shows that "test completed". After performing the test, the indicators were displayed on the monitor screen: the number of accurate reactions, the number of reactions that were delayed and ahead of them, and their average time. The property of IPred was evaluated by the average time of deviation of motor acts in ms, and TPA by the total number of accurate reactions.

Statistical data processing was conducted using statistical packages for medical and biological research (SPSS, version 22, IBM, USA). The analysis of the studied indicators shows that their distribution differs from the normal one. Accordingly, in the further statistical analysis, non-parametric criteria were applied and descriptive statistics (mean and error of the mean) and the Wilcoxon test were used. Tukey's test with Bonferroni correction was used to determine significant differences ($p < 0.05$) between mean values.

RESULTS. We used the study of PT, SST1, SST2, MSS, IP, IPred, TPA indicators to assess the individual psychophysiological properties of football players' intelligence. It was assumed that the successful mastery of the skills and abilities necessary for football and the effectiveness of the game would depend on these psychophysiological properties.

The value that was the smallest in the three tasks should be considered as an indicator of the PT property of an individual football player. The need to perform the same task three times is due to the fact that the most optimal and stable value of the PT indicator is achieved during the first three examinations. This approach to assessing the time of perception of intellectual information is determined by the results of the analysis of experimental data obtained on the same subjects who performed the same task several times (Fig. 1).

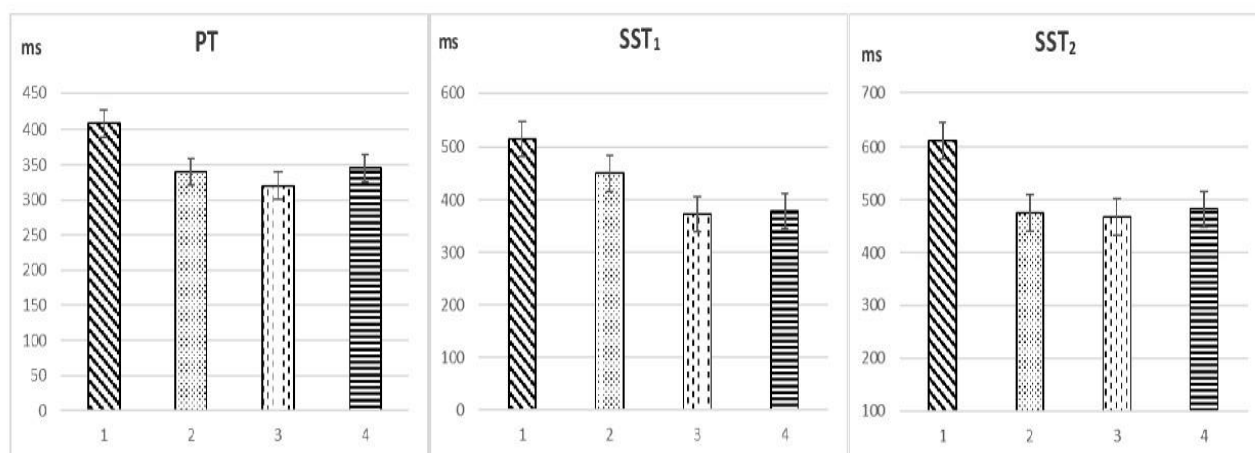


Fig.1. Average values ($\bar{x} \pm SD$) of motor reaction time indicators aimed at identifying the intellectual properties of PT, SST₁ and SST₂ of football players using the Intellect computer device: 1 – the first, 2 – the second, 3 – the third and 4 – the fourth examination.

It was found that the time characteristics of PT, SST₁ and SST₂ stabilize and reach their optimal value, mainly during the first three examinations. Therefore, we recommend to use three repetitions of the same test in order to identify the individual psychophysiological properties of PT, SST₁ and SST₂, and to use the best result from three tests in order to evaluate these intellectual properties.

We have developed and proposed a scale for the quantitative and qualitative characterization of the psychophysiological properties of PT, SST₁ and SST₂. These psychophysiological properties have five gradations according to this scale (Table 1).

Table 1.

Rating scales of the level of intellectual properties of information perception time, speed of solving one and two correct out of three alternative tasks in football players (n = 52)

Property Level	Studied Intellectual Properties		
	PT, ms	SST ₁ , ms	SST ₂ , ms
High	≤ 291	≤ 360	≤ 415
Above mean	292-314	385-361	439 – 416
Mean	333-315	411-386	475 – 440
Below mean	359-334	412-436	510 – 476
Low	≥ 360	≥ 437	≥ 511

The division into five levels was conducted on the basis of the results of processing a large number of digital arrays, considering the mean values of PT, SST₁ and SST₂. The values given in Table 1 can be used to evaluate the state of intellectual psychophysiological properties of PT, SST₁ and SST₂ of persons aged 9 to 45.

Determination of the football players' psychophysiological properties of the intelligence of MSS, IP, IPred and TPA was conducted according to the indicators of speed, quality and quantity of information processing in the “feedback” mode.

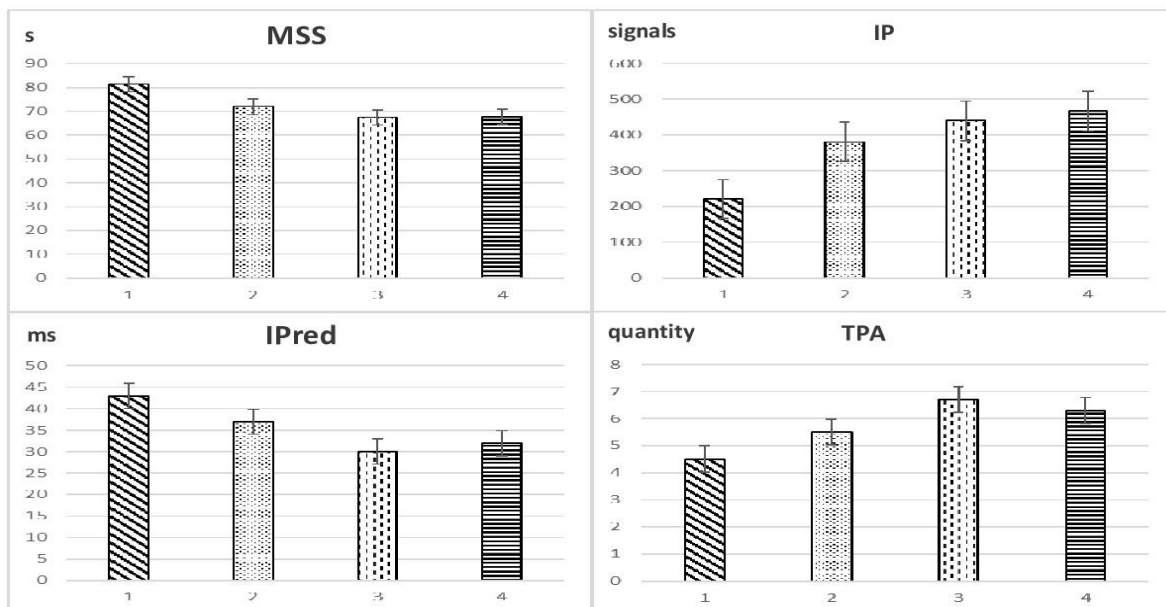


Fig.2. Mean values ($\bar{x} \pm SD$) of psychophysiological indicators aimed at identifying the football players' intellectual properties of the MSS, IP, IPred and TPA of on the “Intellect” device: 1 – the first, 2 – the second, 3 – the third and 4 – the fourth examination.

It was found that psychophysiological indicators of MSS, IP, IPred and TPA stabilize and reach their optimal value in the first three examinations. Therefore, we can recommend using three

repetitions of the same test to identify the psychophysiological properties of MSS, IP, IPred and TPA. The best result from three measurements was used to evaluate the above-mentioned psychophysiological properties of football players' intelligence.

We have proposed rating scales that have five gradations (Table 2) for the quantitative and qualitative characterization of the intellectual properties of MSS, IP, IPred and TPA.

Table 2.

Rating scales for the level of maximum switching speed, intellectual productivity, predictability and accuracy of task performance in football players (n = 52)

Property Level	Studied Intellectual Properties			
	MSS, s	IP, signals	IPred, ms	TPA, quantity
<i>High</i>	≤ 60	≥ 570	≤ 20	≥ 10
<i>Above mean</i>	61 – 64	569 – 531	21- 25	8-9
<i>Mean</i>	65 – 68	500 – 530	26 -31	6-7
<i>Below mean</i>	68 – 71	499 – 451	32-36	4-5
<i>Low</i>	≥ 72	≤ 450	≥ 37	≤ 3

The division into five levels was conducted on the basis of the results of processing a large number of examinations and considering the mean values of MSS, IP, IPred and TPA for football players aged from 9 to 45.

Presented in this work, the research methods of PT, SST₁, SST₂, MSS, IP, IPred, TPA, as well as scales for evaluating the quality and quantity of information processing are used, first of all, to determine the intellectual psychophysiological properties of football players. Knowledge of individual psychophysiological properties can be used in various studies, including the study of the peculiarities of forming neurophysiological and psychomotor functions of football players. This, in turn, opens the way to understanding the biological basis of game activity and individual psychophysiological differences of football players.

To confirm that the investigated quantitative and qualitative indicators of the intellectual psychophysiological properties of PT, SST₁, SST₂, MSS, IP, IPred, TPA are related to the game activity of football players, we conducted its expert evaluation and developed an assessment scale. The coaches used a scale where 5 was the mean result, 1 – the lowest, and 9 – the highest value (Table 3).

Table 3.

Expert evaluation of football players' game activity (n = 52)

N	Game Activity Level	Index of football players' game activity, scores
1	High	9
2	Above mean	7
3	Mean	5
4	Below mean	3
5	Low	1

Experts, experienced coaches (6 people), found that 11% of football players (5 people) belonged to the group with a high level of game activity, 24% (17 people) had an above-mean level, and the majority of players – 57% (27 people) had the mean level. Four football players (8%) were assigned to the group with a below-mean level of game activity. The experts did not find football players with a low level of playing activity (1-2 points).

The conducted correlation analysis of the success of game activities with the studied psychophysiological intellectual properties of IP showed high values ($r = 0.38$; $p=0.034$). The

correlation coefficients were within the limits of statistical probability for MSS, IPred and SST₂ (respectively, $r = 0.33$; $p=0.041$, $r = 0.31$; $p=0.047$ and $r = 0.30$; $p=0.049$). Correlation coefficients did not reach the level of statistical significance with indicators of PT, SST₁, TPA of psychophysiological properties and expert evaluation of game activity ($r = 0.23$; $p=0.071$, $r = 0.19$; $p=0.076$ and $r = 0.24$; $p= 0.059$). This indicates that football players with a high and above-mean game activity score were characterized in most cases by high values of the studied psychophysiological intellectual properties of IP, MSS, IPred and SST₂. The study [25] also established a correlation between creativity and game intelligence of the football players, ability to rationality, problem solving and decision-making.

Discussion. In our study, the evaluation of game intelligence is based on the expert opinion of coaches and the psychophysiological properties of elite football players. The results show that football players with high values of psychophysiological properties of intellectual productivity, maximum speed of solving complex intellectual tasks, predictability and speed of solving two correct cognitive tasks out of three alternative tasks are also characterized by higher expert assessments of game intelligence. This strengthens our initial hypothesis that the game intelligence of football players consists of a complex of psychophysiological properties: (1) basic executive functions and (2) properties of a higher order. The first ones are responsible for the behavioural reactions of football players: reactivity, braking, control of obstacles, speed of information perception. They include the psychophysiological visual-motor properties studied by us: PT, SST₁ and TPA. The second ones, in elite football players, are related to solving complex tasks that include higher-order properties. They determine the speed, quantitative and qualitative characteristics of psychophysiological properties of the highest level: MSS, IP, IPred and SST₂. These intellectual properties that we have studied are fundamental for the successful game activity of football players. The importance of various components of the psychophysiological properties of game intelligence for football players is obvious, for example, braking movement for a feint or using working memory and attention to remember the location of the position of other players on the field, repeating previous combinations, constantly using scanning skills, programming new tasks, anticipating new strategic plans, to achieve a general level of stability due to high requirements for inhibition of reactions, as well as to constantly switch movements, to combine divergent and convergent creativity under the pressure of space and time, which requires a high level of cognitive flexibility [4, 22, 25]. We should mention that the morpho-functional basis of these executive functions and higher-level psychophysiological properties is the prefrontal and parietal cortex, which coordinately interact with the basal ganglia and specific neuromodulating systems of the brain [26, 27, 28]. Considering the above and the theoretical concepts of J. Guilford's intelligence [29], R. Sternberg's 'triple intelligence' [30], H. Gardner's 'multiple intelligence' [31], as well as the results of our research, we formulate theoretical approaches and propose a method of definition and assessment of integral indicator of football players' game intelligence according to the formula: $IF = IP + MSS + IPred + SST_2$. The maximum value of the individual indicator of game intelligence among football players was 33, and the minimum - 22 points. According to G. Vain [5, 6], high values of the game intelligence of a football player can characterize high indicators of motor learning and cognitive processes. This allows the football player to quickly perceive and correctly make game decisions.

We believe that based on the results of this test and theoretical ideas about the formation of neurodynamic properties, we can state that the properties of football players' game intelligence that we studied are determined not only by the psychophysiological characteristics acquired during training, but also by innate highly genetically determined properties of the higher parts of the brain and memory functions, thinking, perception and attention [32].

Thus, the presented results and data from the literature show that the criteria for the successful football activity can be not only indicators of the physical, technical, and functional readiness of football players, the playing role of players, body types, biological age, individual characteristics [33, 34, 35, 36], but the intellectual properties of the players are of particular

importance. It should be considered that individual psychophysiological intellectual properties are informative in terms of predicting the success of football players' game activities [4, 13, 37]. According to the results of our work, psychophysiological indicators of intellectual productivity, maximum speed of solving complex intellectual tasks, predictability and speed of solving two correct out of three alternative intellectual tasks correspond to such criteria. These psychophysiological properties are characterized by a strong and stable biological nature. According to the results of the study of game intelligence in a football player, prediction and decision-making play a decisive role [38, 39]. The ability of players to predict the intentions of opponents and make appropriate decisions depends on a number of processes related to perception and cognition [7]. Differences in tactical task performance are supported by differences in visual search strategy. Elite players are more likely to record shorter durations on more discrete and informative tasks than less experienced players. They also make more verbal reports, indicating a more developed subject-specific memory for the current game situation compared to less skilled players. Our results confirm and extend previous works [7] and emphasize the importance of perceptual-cognitive and spatial and kinesthetic processes [19]. In order to better determine the expectations and effectiveness of decision-making in football, correlations were established between indicators of kinesthetic intelligence and the properties of emotional (EQ) and cognitive intelligence (IQ) [24]. The results of comparing the data of the quantitative assessment of the effectiveness of game activity with a set of indicators of psychophysiological intellectual properties can be used in solving a number of practical issues of sports selection and scientific organization of the training process. The proposed method of research and evaluation of psychophysiological intellectual properties can be useful in solving issues when it is necessary to establish the influence of various factors of competitive and training activities on the functional state of the cortex of the large hemispheres of the brain. This applies to fatigue, exhaustion, rest, physical and mental stress, the action of various pharmacological substances, hypoxia or hyperoxia, temperature, emotions, etc. In all these cases, fluctuations in the level of IP, MSS, IPred and SST₂, in one direction or another, can be used along with their application to evaluate individual psycho-functional differences of players, as sensitive and objective indicators of the functional state of the sportsmen's body. This technique and packages of adapted programs on the computer, automation of experiments can bring a lot of new things to the results of examinations of the game intelligence of football players, significantly expand the possibilities of obtaining higher quality and diverse material.

Conclusions.

1. The innovative computer technique and program "Intellect" is theoretically grounded and proposed for determining individual psychophysiological intellectual properties of football players. Its high efficiency and reliability are demonstrated.
2. The Scales for evaluating the level of quantitative and qualitative psychophysiological properties of intelligence are presented; they can be used in the process of training and competitive activities of football players.
3. Statistically significant correlations between the expert evaluation of game activity and the psychophysiological properties of intelligence of the IP, MSS, IPred and SST₂ of football players are established.
4. The methodology and formula for determining the integral psychophysiological coefficient of the intellectual properties of football players are proposed.

REFERENCE

1. Dergaa I, Chamari K, Zmijewski P, & Ben Saad H. (2023) From human writing to artificial intelligence generated text: examining the prospects and potential threats of ChatGPT in academic writing. *Biol Sport.*; 40(2):615-622. doi: 10.5114/biolSport.2023.125623. Epub 2023 Mar 15. PMID: 37077800; PMCID: PMC10108763.
2. Seema S, & Manju M. (2023) Emotional intelligence and personality as correlates of the psychological well-being of adolescents: a cross-sectional study in north India. *Health Prob Civil.*; 17(1): 49-61. <https://doi.org/10.5114/hpc.2023.12511>
3. Platonov V. (2021) Modern system of sports training. Kyiv: The first printing house; 520.

4. Farahani J., Javadi A., O'Neill B., & Walsh V. (2017) Effectiveness of above real-time training on decision-making in elite football: A dose-response investigation. *Progress in brain research.*; 234: 101–116. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.08.007>
5. Wein H. (2004) *Developing game intelligence in soccer*. Reedswain Publishing.; 312.
6. Wein H. (2011) *Spielintelligenz im Fußball – Kindgemäß trainieren*. Aachen: Meyer&Meyer.; 368.
7. Williams A., & Ford P. (2013) Game intelligence: anticipation and decision making, in *Science and Soccer III*, ed Williams A. (London: Routledge).; 105–121.
8. Dolbysheva N. (2020) Fundamentals of long-term training systems in mind sports. *Human Movement.*; 21: 1-20. <https://doi.org/10.5114/hm.2020.9134>
9. Dolbysheva N., Kondratenko V., Alfiorov O., & Kusovska O. (2023) The specificity of the training system in intellectual sports. *Scientific journal of the National M.P. Drahomanov Pedagogical University. Series 15. Scientific and pedagogical problems of physical culture (physical culture and sports).*; 7(167): 72-77. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.7\(167\).14](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2023.7(167).14)
10. Pityn M. (2015) *Theoretical training in sports: monograph*. Lviv: LDUFK; 256.
11. Voronova, V. (2013) Psychological support for training sportsmen in football. *Science in Olympic sports.*; 4:32-39.
12. Timenko V., Malinoshevska A., Melnyk M., & Gritsan O. (2017) *Methodology for diagnosing the practical intelligence of young students: a methodological handbook*. Kyiv: Institute of Gifted Children of the National Academy of Sciences of Ukraine; 218.
13. Nikolayenko V., & Shamardin V. (2015) *Long-term training of young football players. The way to success: educational and methodological guide*. Kyiv: Summit-book; 164.
14. Rinus Michels (2001) *Teambuilding: The Road to Success*. Reedswain Inc.; 298. ISBN:9781591641483, 1591641489
15. Bazylevych O., Zelentsov A., & Lobanovsky V. (1997) *Game strategy and training program*. Football-Hockey.; 38: 12 – 13.
16. Teoldo I., Guilherme J., & Garganta J. (2021) *Football Intelligence: Training and Tactics for Soccer Success* (1st ed.). Routledge; 246. <https://doi.org/10.4324/9781003223375>
17. Vaeyens R., Lenoir M., Williams A., & Philippaerts, R. (2007) Mechanisms underpinning successful decision making in skilled youth soccer players: an analysis of visual search behaviors. *Journal of motor behavior.*; 39(5); 395–408. <https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.395-408>
18. Zhurid S., Koval S., Lebedev S. (2020) *Technical and tactical training of football players. Educational - methodical manual.*; 207.
19. Bondarenko S., Savchenko V., & Sklianichenko S. (2022) Development of game intelligence as the basis of the process of teaching technical and tactical actions of young football players of preschool age. *Scientific journal of the National M. P. Drahomanov Pedagogical University. Series 15. Scientific and pedagogical problems of physical culture (physical culture and sports).*; 11(157): 40-44. [https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.11\(157\).10](https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2022.11(157).10)
20. Cherniavska T. (2023) Emotional intelligence as a resource of competitiveness in sports game activity. *Sports games.*; 2(24): 82–90. <https://doi.org/10.15391/si.2022-2.9>
21. Bar-On R. (2006) The Bar-On model of emotional-social intelligence (ESI). *Psicothema.*; 18(Suppl): 13–25. [URL:http://www.psicothema.com/psicothema.asp?id=3271](http://www.psicothema.com/psicothema.asp?id=3271).
22. Goleman D. (2019) *Emotional intelligence.*; 528 . ISBN 978-966-982-222-2
23. Mayer J., & Salovey P. (1995) Emotional intelligence and the construction and regulation of feelings. *Applied & Preventive Psychology.*; 4(3), 197–208. [https://doi.org/10.1016/S0962-1849\(05\)80058-7](https://doi.org/10.1016/S0962-1849(05)80058-7)
24. Indychenko L., Cherevko S., & Cherevko A. (2019) Peculiarities of kinesthetic intelligence in sportsmen at different stages of their sports career. *Theory and practice of modern psychology.*; 4(2): 129-135. <https://doi.org/10.32840/2663-6026.2019.4-2.24>
25. Vestberg T., Jafari R., Almeida R., Maurex L., Ingvar M., & Petrovic P. (2020) Level of play and coach-rated game intelligence are related to performance on design fluency in elite soccer players. *Scientific reports.*; 10(1): 9852. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66180-w>
26. Baddeley A., & Hitch G. (1994) Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology.*; 8(4): 485–493. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.485>
27. Barkley R.A. (2001) The executive functions and self-regulation: an evolutionary neuropsychological perspective. *Neuropsychol Rev.*; 11(1):1-29. doi:10.1023/a:1009085417776
28. Friedman N.P., & Miyake A. (2016) Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex.*; 86:186-204. doi: 10.1016/j.cortex.2016.04.023. PMID: 27251123; PMCID: PMC5104682.
29. Guilford J. (1998) Some Changes in the Structure-of-Intellect Model. *Educational and Psychological Measurement.*; 48(1): 1-4. <https://doi.org/10.1177/001316448804800102>
30. Sternberg R., Forsyth J., & Hedland J. (2002) *Practical intelligence. Series: Masters of Psychology*; 272.

31. Davis K., Christodoulou J., Seider S., & Gardner H. (2011) The Theory of Multiple Intelligences. New York; 267.
32. Makarenko M., & Lyzohub V. (2011) Ontogeny of human psychophysiological functions. Cherkasy: Vertical; 235.
33. Ilyin V., Drozdovska S., Lyzohub V., & Bezkoptynyi O. (2013) Fundamentals of molecular genetics of muscle activity; 112.
34. Kozina Zh. (2017) System of modern technologies for integral development and health promotion of people of different ages: monograph. Kharkiv-Rodom: Point; 385.
35. Korobeynikov G., Prystupa E., Korobeinikova L., & Briskin Y. (2013) Assessment of psychophysiological conditions in sportsmen. Lviv: LDUFK; 342.
36. Lisenchuk G. (2003) Management of the training of football players. Kyiv: Olympic literature; 381.
37. Lyzohub V., Pustovalov, V., Suprunovych V., & Koval J. (2015) Relationship between of special preparedness and bioenergetics level of football-player aged 13–14 and typological function of central nervous system. Slobozhanskyi Bulletin of Science and Sport.; 1 (45): 61-67.
38. Roca A., Ford P., & Williams A. (2013) The processes underlying 'game intelligence' skills in soccer players. Science and Football.; 7: 255-260.
39. Leso G., Dias G., Ferreira J., Gama J., & Couceiro M. (2017) Perception of creativity and game intelligence in soccer. Creativity Research Journal.; 29 (2), p. 182-187.

Лизогуб В. С., Пустовалов В. О., Кожемяко Т. В., Хоменко С. М., Коваль Ю. В.

Дослідження та оцінка індивідуальних психофізіологічних властивостей ігрового інтелекту футболістів

Теоретично обґрунтовано, розроблено та експериментально перевірено комп'ютерну програму «Інтелект» для дослідження та оцінки психофізіологічних властивостей ігрового інтелекту футболістів. Її суть полягає в тому, що футболісту пропонувалися когнітивні тести на обробку інформації різного ступеня складності на комп'ютері. Визначено такі психофізіологічні властивості ігрового інтелекту футболістів: час сприйняття інформації (СІ), швидкість розв'язання одного (ШР1) та двох (ШР2) з трьох альтернативних завдань, максимальна швидкість переключення (МШП) складних рухових дій, інтелектуальна продуктивність (ІП), передбачуваність (ІПпер) та точність виконання завдань (ТВЗ). Розроблено шкали оцінок кількісних та якісних психофізіологічних характеристик інтелектуальних завдань. Визначено статистично значущі кореляційні зв'язки психофізіологічних властивостей інтелекту ІП, МШП, ІПпер і ШР2 з експертними оцінками ігрової діяльності футболістів. Запропоновано методику визначення коефіцієнта психофізіологічних властивостей ігрового інтелекту футболістів та його кількісних значень.

Результати дослідження з використанням запропонованого комп'ютерного методу «Інтелект» та критеріїв оцінки психофізіологічних властивостей ігрового інтелекту футболістів допоможуть у вирішенні теоретичних і практичних питань тренувальної та змагальної діяльності.

Надійшла до редакції / Received: 15.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК: 61.656.001.01

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-25-36

Тетяна Володимирівна Дегтяренко-Мельник
Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського
matanya@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4462-8863>

Ірина Вячеславівна Бринза
Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського
biryana3691@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7159-6639>

ПРОБЛЕМАТИКА ОПЕРАТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ В СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ

Актуальність. У статті надається теоретичний огляд напрямків дослідження проблеми операторської діяльності, як особливого різновиду професійної діяльності людини. Обґрунтування значення людського фактору в забезпеченні оптимальної операторської діяльності, принципів, що лежать в основі створення ефективних, зручних та інтуїтивно зрозумілих технологій для взаємодії в системах «людина-машина», перешкодостійкості в операторській діяльності та основних етапів переробки текстової інформації в системі «оператор-дисплей». **Метою статті** є висвітлення проблематики операторської діяльності в контексті взаємовідношень в системі «людина-машина» в сучасних реаліях сьогодення. Застосовано методи теоретичного аналізу, зіставлення, порівняння, систематизації та узагальнення. **Результати.** Обґрунтовано, що проблема вдосконалення операторської професійної діяльності має вирішуватися комплексно і спиратися на принципи, що лежать в основі створення ефективних, зручних та інтуїтивно зрозумілих технологій для взаємодії в системах «людина-машина»; доведено, що питання професійної надійності особи, що виконує операторську діяльність, є вельми актуальними за своєю медико-соціальною значущістю, тому що принциповою особливістю будь-яких комплексних систем «людина-машина» є не тільки технічне залучення освіченої особи, а й необхідність врахування особистісних складових професійної надійності; прояснено, що. Висока перешкодостійкість пам'яті оператора до впливів пасивних зовнішніх перешкод свідчить про його адаптаційні можливості за умов наявності сторонніх сенсорних подразників; показано, що беручи до уваги сучасні реалії невизначеності та турбулентності особливого значення набуває «людський фактор» в забезпеченні оптимальної операторської діяльності, що передбачає формування у особи-оператора стресостійкості та адаптованості до роботи в умовах підвищеної небезпеки.

Ключові слова: операторська діяльність, система «людина-машина», система «оператор-дисплей», надійність, перешкодостійкість в операторській діяльності.

Постановка проблеми. Проблема операторської діяльності пов'язана насамперед із забезпеченням високого рівня виконання професійних функцій фахівцями різного профілю за умови збереження їх фізичного та психічного здоров'я, а зважаючи на екстремальні ситуації сьогодення подальша її розробка має вагоме соціально-економічне та профілактичне значення. Надійність професійної діяльності особи – це теоретико-прикладна проблема багатьох сучасних наук, зокрема таких як диференціальна психологія та психофізіологія.

Аналіз науково-методологічної літератури свідчить про те, що проблема професійної надійності знайшла свій самостійний статус відносно недавно, а саме – в середині ХХ століття. Активне вдосконалення технічних засобів, систем автоматизованого управління

виробництвом, виконання окремих видів трудової діяльності із застосуванням складного оснащення обумовило необхідність долучення науковців різної спеціалізації до дослідження особливостей функціонального стану персоналу під час виконання професійних обов'язків, особливо в умовах підвищеної небезпеки [1,3,4,6,8,11 та ін..].

Не дивлячись на великі досягнення в розробці такого перспективного наукового напрямку як дослідження психофізіологічних особливостей індивіда в контексті його професійної придатності багато питань, щодо визначення професійної надійності особи при виконанні робіт в стресогенних умовах праці залишаються ще не вирішеними. Безперечно важливість для оцінки професійної надійності особи має вивчення особливостей функціонального стану організму та динаміки працездатності особи-оператора, як провідного фахівця в різних соціально-важливих галузях в контексті розробки актуальної проблематики «людина-машина» в сучасних кризових умовах. Не викликає сумнівів необхідність подальшого дослідження механізмів психо-нейро-імунно-ендокринної регуляції у осіб-операторів з метою своєчасного виявлення можливих порушень у їх психофізичному стані при виконанні професійної діяльності в умовах стресового напруження [3,5,8 та ін..]. Формування та підтримка адаптаційних можливостей організму людини на певному оптимальному рівні шляхом вдосконалення спеціальної фахової підготовки операторів і технічного оснащення, а також розробка адекватних методів оцінки їх індивідуально-типологічних особливостей є вельми доцільними в плані вирішення профілактичних задач психофізіологічної експертизи. Тому в концепті розробки проблеми професійної надійності особи в плані визначення психологічних ознак та психофізіологічних характеристик індивіда поряд з описом технічних засобів його професійної діяльності виникло поняття «надійність». В теперішній час спостерігається зростання складності технічних засобів інформаційного забезпечення трудової діяльності, розширення діапазону певних видів професійної діяльності з одночасним ускладнення їх виконання.

Отже, успішне здійснення особою професійних функцій вимагає від фахівця усвідомленої відповідальності, досконалого оволодіння професійно-важливими навичками, оскільки від цього в значній мірі буде залежати, як ефективність роботи, так і безпека праці його особисто і колег в колективі.

Професійна надійність вивчається в соціології, психології праці, диференціальній психофізіології, крім того до розробки цієї проблематики долучені інші галузі знань (філософія, біологія, гігієна, медицина, інформатика), але маємо підкреслити доцільність запровадження саме міждисциплінарного підходу для вирішення актуальних питань професійної надійності особи-оператора [4,5].

Мета представленої статті полягає у висвітленні проблематики операторської діяльності в контексті взаємовідношень в системі «людина-машина» в сучасних реаліях сьогодення.

Методологія дослідження. Застосовано методи теоретичного аналізу, зіставлення, порівняння, систематизації та узагальнення.

Доцільним стало обговорення таких **важливих питань**, що стосуються:

1. *Операторської діяльності, як особливого різновиду професійної діяльності людини;*
2. *Принципів, що лежать в основі створення ефективних, зручних та інтуїтивно зрозумілих технологій для взаємодії в системах «людина-машина»;*
3. *Значення людського фактору в забезпеченні оптимальної операторської діяльності;*
4. *Значення перешкодостійкості в операторській діяльності;*
5. *Основних етапів переробки текстової інформації в системі «оператор-дисплей».*

Аналіз основних досліджень і публікацій. Професійна діяльність людини-оператора віддзеркалює особливості перебігу тих основних нейрофізіологічних процесів, які визначають успішність чи неуспішність його діяльності в різних соціально-важливих галузях нашого суспільства. Операторська діяльність потребує залучення всіх структурно-

функціональних блоків мозку для забезпечення оптимальної професійної надійності (мнемічного, сенсорного, інтелектуального, психомоторного) і сформованості у особи певних індивідуальних психологічних ознак, а саме: цілеспрямованості, вмотивованості, оперативності, самоконтролю та самовдосконалення.

Розглядаючи операторську діяльність, як особливий різновид професійної діяльності людини маємо підкреслити, що операторська діяльність проходить в особливих умовах виконання особою складних видів роботи в обмежені терміни часу і тому має свою специфіку та виступає спеціальним об'єктом дослідження в гігієні праці, профпатології, інженерній психології та диференціальній психофізіології [1,5,8,10]. Застосування в сучасний час сучасних технологічних засобів, необхідність керування складним оснащенням, пов'язано сьогодні не стільки з фізичними, як з розумовими та психічними навантаженнями на людину. Вищезазначене потребує як формування досконалих автоматизованих професійних навичок, так і прийняття особою нестандартних та творчих рішень в системах управління операторською діяльністю. В сучасних системах управління в різних сферах професійної діяльності особа виступає в ролі оператора, що передбачає реалізацію індивідом складних взаємовідносин з різними інформаційними потоками, що надходять від складного обладнання. Це потребує активізації процесів усвідомлення індивідом необхідної інформаційної взаємодії з окремими складовими сучасного технічного оснащення та зобов'язує особу забезпечити власне ефективне функціонування в цілісній системі «людина-машина».

Системи «Людина-машина» (Human-Machine Systems, HMI) охоплюють широкий спектр технологій і застосунків, де особа певним чином взаємодіє з машинами або з певним обладнанням. Доречно навести декілька прикладів таких систем [5].

Автомобільні навігаційні системи: Сучасні автомобілі зазвичай оснащені складними інформаційно-розважальними системами, які дозволяють водіям керувати музикою, навігацією, і навіть деякими налаштуваннями автомобіля через сенсорні екрани або голосові команди [3].

Медицинські апарати: В медицині системи «людина-машина» включають в себе все, від простих апаратів для вимірювання кров'яного тиску до складних систем магнітно-резонансної томографії (МРТ). Ергономіка інтерфейсів цих складних систем має критичне значення для точності діагностики та розробки алгоритмів лікування [12].

Авіаційні системи управління польотами: Пілоти взаємодіють з бортовими системами літака через широкий спектр інтерфейсів, включаючи джойстики, кнопки, сенсорні екрани та багатофункціональні дисплеї для того щоб правомірно керувати польотом і спілкуватися з наземними службами управління повітряним рухом [8].

Дронові апарати, які мають спеціальне оснащення для оптимального керування вони знайшли широке практичне застосування як в професійній діяльності військових, так і у працівників агропромислового комплексу.

Індустріальні роботизовані системи: На виробництвах люди взаємодіють з роботизованими системами для виконання завдань, що вимагають високої точності, швидкості, або є небезпечними для виконання. Це можуть бути панелі управління на різних лініях виробництва або інтерфейси для програмування роботів [10].

Слід розрізняти роль звичайного користувача сучасною апаратурою від роботи *оператора*. Останній виконує цю роль у професійному контексті, що потребує спеціальної фахової підготовки. Також у контексті систем «людина-машина» терміни «звичайний користувач» і «оператор» відображають різні ролі та рівні взаємодії особи з сучасними технологіями або системами. Дизайн інтерфейсів для звичайних користувачів зосереджений на інтуїтивності, простоті використання та доступності для того щоб максимально спростити взаємодію людини з певною технологією. Натомість, інтерфейси для операторів є набагато складнішими. Інтерфейси для операторів проектується з урахуванням необхідності детального контролю над всіма інформаційними процесами, можливості швидкого доступу

до критичної інформації та мають високі вимоги до безпеки під час роботи. Такі інтерфейси потребують залучення ІТ-фахівців для їх розробки та спеціального навчання операторів для ефективного їх використання [5].

Розглядаючи проблематику операторської діяльності в системах «людина-машина» необхідно зауважити, що свідомість оператора має виступати продовженням функцій обладнання і тоді ключовим постає питання розмежування відповідальності між особою і «розумними машинами». За найкращим сценарієм людина доручає машині автоматичні задачі задля збереження ресурсу вищої нервової діяльності, і, натомість, бере на себе концептуальні питання керування і творчу постановку цілей. Однак, на практиці це трапляється далеко не завжди, що призводить до дисбалансу в ситуаціях, де операторська діяльність людини надлишково автоматизується, а машина робить суттєві помилки у цілепокладанні. Прикладом цього виступають численні аварії, які виникають через помилки в системах навігації транспортних засобів за умов коли людина надмірно покладаючись на машину, виконує вочевидь абсурдні і помилкові команди в системах управління внаслідок того, що ігнорує чи не враховує всі обставини, а від так і потрапляє в аварійні ситуації.

Недосконалість розуміння психофізіологічних процесів, які мають складний перебіг в системах «людина-машина», призводить до можливості розробки незручного та неоптимального дизайну в цих системах. А від так дизайнові та інженерні рішення при розробці сучасних систем взаємодії особи зі складним технологічним оснащенням мають ґрунтуватися на врахуванні правомірних закономірностей інтегративної діяльності мозку людини та особливостях функціонування основних його структурно-функціональних блоків. Надмірно механістичне розуміння провідних психічних процесів може закладати підстави для численних технологічних інцидентів, а тому в дійсний час має місце продовження еволюції досліджень в системах «людина-машина» [3].

Важливо зазначити принципи, що лежать в основі створення ефективних, зручних та інтуїтивно зрозумілих технологій для взаємодії в системах «людина-машина».

У психології праці та ергономії ще в 70 роках минулого століття були сформульовані теоретичні основи антропоцентричного підходу, що розглядає людину-оператора як керуючу ланку в технологічних системах, тобто як суб'єкта професійної діяльності, а машину — як знаряддя праці [5]. Еволюція уявлень про взаємодії в системах «людина-машина» у західній науці демонструє захопливий шлях від ранніх теорій праці до сучасних концепцій інтерфейсу та взаємодії особи з апаратно-програмним обладнанням. На початку 20 століття Фредерік Тейлор (1911 р.) започаткував наукове управління працею і він зосередився на дослідженні ефективності та оптимізації робочих процесів. Його наукові праці, хоча й були спрямовані на підвищення продуктивності робочих процесів, стали підставою для подальшого вивчення взаємодій між людьми та машинами, оскільки акцентували увагу на необхідності проведення аналізу та планування робочих задач. Лілліан і Френк Гілберти (1914 р.) продовжили розвиток цих ідей і внесли вагомий науковий внесок у галузь ергономіки та вивчення робочих процесів. Вони були піонерами в аналізі рухів та часу, що не тільки покращило ефективність виробництва, але й зробило важливий акцент на адаптації робочих місць до фізіологічних і психологічних потреб працівників. Саме таке розуміння важливості «людського фактору» в інтеракціях людини з машинами стало ключовим моментом у розвитку гуман-факторної інженерії [5,7].

До кінця 20 століття зважаючи на розвиток комп'ютерних технологій увага науковців зосереджувалась на взаємодії людини з комп'ютером. Бен Шнайдерман, один з лідерів у цій галузі, сформулював основні принципи проектування інтерфейсів, що зробило взаємодію людини з комп'ютерними системами більш ефективною та інтуїтивно зрозумілою. Його роботи в галузі HCI підкреслили важливість урахування потреб користувачів при розробці технологій і відкрили шлях до створення більш доступних та корисних цифрових інструментів. Слід підкреслити, що саме Бен Шнайдерман визначив вісім ключових принципів, які лежать в основі створення ефективних, зручних та інтуїтивно зрозумілих

технологій для оптимальної взаємодії в системах «людина-машина» – це так звані «8 золотих правил інтерфейсів»:

Маємо нагоду зазначити змістовну сутність цих правил, що мають принципове значення:

1. *Послідовність* – забезпечення єдності стилів, термінології, кольорів і розташування елементів у всьому інтерфейсі.

2. *Спрощення* – надання користувачам можливості використовувати альтернативні, більш швидкі способи виконання завдань для підвищення продуктивності.

3. *Інформативний зворотний зв'язок* – забезпечення негайного і зрозумілого зворотного зв'язку на кожну дію користувача.

4. *Діалог, що сприяє закінченню задачі* – створення логічних послідовностей дій з достатньою інформацією, які дозволяють користувачам успішно завершувати задачі.

5. *Обробка помилок* – мінімізація помилок за допомогою дизайну та надання простих способів їх виправлення.

6. *Дозвіл на скасування дій* – дозволяє користувачам безпечно експериментувати та виправляти помилки за допомогою функції "скасувати".

7. *Внутрішній контроль* – надання користувачам відчуття контролю над інтерфейсом та діями, які вони виконують.

8. *Економія короткочасної пам'яті* – обмеження кількості інформації та дій, які користувач повинен пам'ятати, для спрощення взаємодії з системою.

Важливо усвідомити, що застосування вище зазначених принципових положень є ключовим для створення ефективних інтерфейсів у системах «людина-машина», де кожен аспект дизайну суттєво впливає на здатність оператора ефективно взаємодіяти з машиною, надає можливість підвищувати задоволеність користувачів і сприяє кращому взаєморозумінню між людиною та комп'ютером.

Треба позначити, що еволюція досліджень актуальної проблематики взаємодії в системах «людина-машина» у західній науці відображає перехід від оптимізації та ефективності робочих процесів до розуміння важливості ергономіки та зручності інтерфейсів, що є вирішальним для забезпечення гармонійної та продуктивної взаємодії між індивідом і машинами.

Доцільно вказати на значення «людського фактору» для забезпечення оптимальної операторської діяльності, оскільки він виступає в цьому контексті провідною детермінантою. Поняття «людський фактор» відіграє ключову роль у аналізі аварій та катастроф, особливо в контексті дослідження систем «людина-машина» [5]. Це поняття охоплює широкий спектр аспектів життєдіяльності людини у соціумі, включаючи ергономіку, психологію, антропометрію, взаємодію між людиною і комп'ютером, а також процесуальні та організаційні елементи, які можуть вплинути на поведінкові дії та прийняття рішень людиною. Людський фактор можна визначити як вивчення та застосування психологічних та нейрофізіологічних принципів до сучасної інженерії та дизайну продуктів, процесів та складних інформаційних систем з метою покращення комфорту, ефективності та безпеки. Тому важливим є аналіз того, як люди взаємодіють з технологіями та системами, як вони здійснюють розробку способів зниження ймовірності помилок, подолання втоми та інших негативних чинників, які можуть призвести до аварій чи катастроф. Аналіз аварій та катастроф часто виявляє, що «людський фактор» є ключовою причиною багатьох небажаних інцидентів. Наприклад, може бути встановлено, що недоліки в дизайні інтерфейсу машини спричинили неправильні дії оператора, або що організаційні недоліки призвели до недостатньої підготовки або перевтоми персоналу. Вкрай важливим є досконале проектування в системах «людина-машина» оскільки воно виступає критичним чинником, щодо запобігання аваріям і катастрофам, а також сприяє підвищенню загальної безпеки і продуктивності в широкому спектрі галузей, від авіації до ядерної енергетики.

Важливо усвідомити значення перешкодостійкості в операторській діяльності. Такий науковий напрям практичної спрямованості, як дослідження перешкодостійкості оператора, розробляється в основному на підставі вивчення особливостей сприйняття інформаційних сенсорних сигналів оператором і, зазвичай, це зорові і слухові сигнали. Слід нагадати, що в сучасних технологічних системах спостерігається залучення переважно нейроструктур саме зорового аналізатора для обробки інформаційного потоку: на зорове сприйняття припадає майже 90 % інформації у всіх апаратно-програмних комплексах, а слуховий аналізатор забезпечує сприйняття 8-9 % інформаційних сенсорних сигналів. Вірогідність безпомилкового виконання психомоторних дій при обробці зорових сигналів визначається характером існуючих перешкод, які супроводжують професійну діяльність оператора. Висока перешкодостійкість пам'яті оператора до впливів пасивних зовнішніх перешкод свідчить про його адаптаційні можливості за умов наявності сторонніх сенсорних подразників. Такі можливості в разі впливу перешкод різної модальності призводять до того, що досліджувані спочатку зменшують ефективність оперативної короткочасної пам'яті (ОКП), потім свідомо стримують відповіді за сенсорними каналами зорового чи звукового сприйняття на монотонні сторонні сигнали і в результаті цього увага особи концентрується саме на сприйнятті необхідної важливої інформації. Під час впливу одноманітних пасивних зорових перешкод оператори зважають на те, що їм не потрібно запам'ятовувати, вони намагаються фіксувати їх у своїй ОКП і використовують час відстрочки для повторення 7-значного формуляра, який сприймається особою. При цьому продуктивність зорової короткочасної пам'яті дещо підвищується за рахунок активізації нейронних ланцюгів зорового аналізатору внаслідок збудження під час додаткової зорової аферентації [5,9].

Маємо вказати на *Антисаккадний тест який застосовується для визначення індивідуальних особливостей зорових сенсомоторних реакцій оператора.*

Антисаккадний тест в якості діагностичного інструменту спочатку було розроблено для оцінки когнітивного контролю та інгібіторних здібностей у психофізіологічному контексті, оскільки він визначає особливості взаємодії в системах «людина – машина» і зокрема характеризує діяльність оператора у складних системах. Саккади (з французької мови saccade, що означає «ривок» або «штовх») — це швидкі та синхронізовані рухи очей, що відбуваються одночасно та в однаковому напрямку. Антисаккадний тест визначає здатність людини придушити рефлексивний погляд на раптово з'явившийся стимул і замість цього вимагає дивитися в протилежному напрямку. Ця здатність ігнорувати можливі автоматичні відповіді, а натомість виконувати свідомі контрольовані дії є критичною в тих умовах де оператори взаємодіють зі складними машинами або комп'ютерними системами. У контексті взаємодії людини з машиною результати антисаккадного тесту можуть допомогти зрозуміти, наскільки ефективно оператор зможе управляти розсіянням уваги та зосереджуватися на критичних завданнях. Наприклад, в умовах високого когнітивного навантаження, таких як управління літаками, дронами операторам часто потрібно ігнорувати несуттєві стимули, щоб концентруватися на важливій інформації, яка забезпечує безпеку та ефективність управління транспортними засобами. Так само, у автомобільній сфері, водії взаємодіють із складними інтерфейсами приладової панелі, що вимагає здатності ігнорувати непотрібні сповіщення та зосереджуватися на критичній інформації для успішного водіння. Аналіз результатів виконання оператором антисаккадного тесту може допомогти у проектуванні більш ефективних інтерфейсів людина-машина, оскільки підкреслює необхідність мінімізувати непотрібну або відволікаючу інформацію, яка могла б спровокувати рефлексивні погляди. Такий аналіз також може сприяти поліпшенню процесів навчання, ідентифікуючи осіб, яким може знадобитися більш значний термін навчання щодо отримання навичок управління увагою. Крім того використання антисаккадного тесту буде корисним для розробки спеціальних тренувальних програм, які підвищують когнітивний контроль та формують здатність особи до залучення процесів гальмування, що має забезпечувати кращу підготовку операторів до вимог сучасного технологічного оснащення.

Отже, аналіз результатів виконання оператором антисаккадного тесту може надати цінні вказівки щодо індивідуальних відмінностей у когнітивному контролі особи, які можна використовувати для покращення як проектування інтерфейсів в системах «людина–машина», так і для професійного відбору та навчання операторів у різних соціально-важливих галузях.

Ефективність переробки та інтерпретації отриманої інформації обумовлюється значущістю представлених знаків і залежить від характеристик поставлених задач. Важливим аспектом процесу обробки інформації оператором є мотиваційна сторона його професійної діяльності.

Дослідження процесу відбору значимої інформації в різноманітних умовах функціонування ОКП проводились на основі врахування форми мнемічної активності (довільна і мимовільна зорова короткострокова пам'ять) і характеру поставлених перед особою задач. Виявилося, що більш ефективним було довільне короткочасне запам'ятовування в умовах вирішення мнемічних задач. Наявність однієї мнемічної цілі активує прийоми перекодування у зв'язку з тим, що вся представлена інформація оцінюється індивідом як значима. В умовах додавання кольорового фону, тобто в умовах задач з перенавантаженням, суттєво знижується ефективність відтворення за всіма типами задач.

Вивчення надійності ОКП проводиться на основі визначення її зв'язку з конфігурацією кодових знаків за довжиною та послідовністю. У проведених експериментах тест-об'єктами слугують зазвичай графічні знаки по одному в кожному кадрі. Досліджувані повинні були спочатку сприйняти всю послідовність представлених знаків, а потім її відтворити. Кожен графічний знак виступає як багатомірний стимул, і згідно з результатами такого діагностичного тестування з'ясувалося, що ймовірність правильного відтворення графічних знаків знаходиться у зворотній залежності від загальної кількості представлених знаків.

В разі близького за часом представлення знаків їх образ зберігається у межах кількох секунд у сенсорній пам'яті, потім образ сканується і послідовно поступає в центральний канал забезпечення ОКП. Під час послідовної подачі серії графічних сигналів інтерференція спостерігається як прояв гальмування слідів минулих знаків наступними сенсорними сигналами.

Вельми важливими слід вважати дослідження ефективності психомоторної пам'яті оператора, оскільки вона є фундаментальною основою для засвоєння практичних умінь та навичок професійної діяльності щодо управління об'єктами в АСУ (автоматизованих системах управління). Закономірності цієї пам'яті вивчені ще недостатньо у зв'язку з наявністю індивідуальних відмінностей у сприйнятті певних інформаційних сигналів різної модальності, а також у психомоторній організації особи. У підготовленій нами монографії "Психомоторика та індивідуальність" детально висвітлено індивідуальні особливості перцептивно-когнітивних і сенсомоторних функцій, а також значущі взаємозв'язки у осіб з різним станом психосоматичного здоров'я [2].

Встановлено тенденцію до зниження ймовірності безпомилкового відтворення під час збільшення кількості представлених тестових об'єктів. Зафіксовано обмеження пропускну здатності ОКП за цих умов. Визнано, що продуктивним виявилось відтворення лише одного тестового об'єкта при експозиції його 1-2 секунд. Після представлення 3-ох і більшої кількості тестових об'єктів продуктивність їх відтворення різко знижується за рахунок інтерференції.

У зв'язку з наявністю нових сучасних видів технологій більшість операторських задач вирішуються за допомогою діалогових пристроїв, куди входять відеотермінали і різноманітні АПМ. За цих умов вербальна інформація, що сприймається на слух від абонента, виводиться на екран відеотерміналу для самоконтролю і коректування тексту.

Представляємо основні етапи переробки текстової інформації в системі «оператор-дисплей». Швидкість і точність переробки текстової інформації особою у системі «оператор-дисплей» залежать від ряду об'єктивних та суб'єктивних чинників.

Основні психофункціональні складові ОКП в контексті реалізації психомоторних дій оператора:

1. Сенсорна пам'ять, яка передбачає в реальному вимірі часу усвідомлений відбір інформаційних сигналів певної модальності – здебільшого це зорова і слухова аферентація, що передбачає упізнання сенсорних сигналів (зоровий і слуховий гнозис).

2. Декодування інформаційних сигналів в нейроструктурах кори головного мозку, що передбачає і вербальне декодування.

3. Формування на підставі аналітико-синтетичної діяльності мозку програми дій – переважна участь лобової кори, яка забезпечує цілеспрямованість психічної діяльності на підставі створення задуму дії.

4. Психомоторне збудження та мовленнєво-моторне, яке за шляхами кінетичного аналізатора забезпечує тонку диференційовану психомоторику рухових відділів ОРА.

5. Реалізація усвідомлених дій, що передбачає на підставі власного досвіду оволодіння особою певними психомоторними якостями для успішної професійної діяльності.

6. Контроль в нейроструктурах акцептора результату дії здійснених дій для бажаного співпадіння нейродинамічної моделі досягнутого результату з необхідним (ідеальним).

7. Прогнозування можливостей покращення ефективності професійної діяльності з конкретизацією певних заходів не тільки технічного плану, а й за рахунок активізації власних зусиль.

Оптимальний показник безпомилкового відтворення інформаційних сигналів спостерігався під час представлення окремих зв'язкових сполучень у реченнях, а мінімальне відтворення спостерігається за умови повної завантаженості екрана текстом. З'ясувалося, що максимальна кількість помилок припадає на географічні назви, числа, імена власні та іноземні слова. Відповідно до кількості таких слів тексти слід ранжувати за рівнем складності, який виступає значущим фактором повноти і безпомилковості відтворення. На середньому рівні складності оптимальними для ОКП є тексти, основна частина яких містить не більше 5-7 слів і цифр, що допускає утворення двох одиниць оперативної пам'яті [11].

Маємо зазначити, що повнота і безпомилковість передачі оператором текстової інформації обумовлені такими основними чинниками:

- а) Кількість одночасно представлених слів;
- б) Якісний склад і логічна структура представлених текстів;
- в) Наявність тренування;
- г) Мотиваційні установки;
- д) Навички зорового самоконтролю.

Подальші дослідження щодо врахування всіх об'єктивних і суб'єктивних факторів, які забезпечують досконале сприйняття та вдалу інтерпретацію текстової інформації, є вкрай необхідними для ефективної організації професійної діяльності особи в сучасних системах «оператор-дисплей».

Рима як ефективна система кодування. Поняття «рима» (грец. *ῥυθμός* – мірність, сумірність, узгодженість) означає співзвуччя закінчень у суміжних та близько розташованих словах. Вона охоплює ритмічний акцент і наступні за ним звуки та навіть групи слів і тісно пов'язується з ритмомелодикою.

Рима давно використовується як мнемонічний засіб, що допомагає покращувати запам'ятовування та знижувати кількість помилок у передачі інформації. Структура рими сприяє легшому і більш точному відтворенню тексту, оскільки ритмічність і звукова гармонія роблять слова більш запам'ятовуваними. Це ефективна система кодування. Такі мнемоніки використовуються у вигляді сталих висловів, наприклад, у правилах чи приказках, які допомагають запам'ятати певні знання або принципи. Моряки, наприклад, часто використовують римовані приказки для опису погодних умов, такі як «Червоний захід – матросам радість, червоний світанок – до шторму підготовка». «Red sky at night,

sailors' delight; red sky in the morning, sailors take warning». Це допомагає їм швидше приймати рішення на основі спостережень за небом. Ця техніка спрощує запам'ятовування та дозволяє більш точно передавати накопичений досвід від покоління до покоління.

Удосконалення роботи операторів може бути досягнуто через інноваційне застосування римованих інструкцій. Рима, як ефективний мнемонічний засіб, може значно поліпшити запам'ятовування стандартних процедур і команд, що є критично важливим у ситуаціях, що вимагають швидкого доступу до інформації під час керування технічними системами або у випадку надзвичайних ситуацій. Римовані інструкції можуть спростити процес навчання і зробити технічні деталі більш доступними, особливо для новачків, які можуть швидше засвоювати і відтворювати необхідні дії. Використання рими також може зменшити втому і підвищити увагу операторів під час вивчення та виконання робочих процедур. Рекомендується розробити пілотний проект, який би включав створення і тестування римованих інструкцій, для оцінки їхньої ефективності в реальних робочих умовах.

Висновки.

1. Актуальна проблема вдосконалення операторської професійної діяльності має вирішуватися комплексно за двома основними напрямками: по-перше, це подальше вдаль конструювання технічних засобів та оснащення з урахуванням психофізіологічних особливостей особи та її адаптивних можливостей; по-друге, це організація та впровадження індивідуального професійного відбору, а також орієнтоване навчання операторів, що мають бути адаптовані до виконання конкретних видів робіт, навіть в умовах складної та небезпечної професійної діяльності. Постійне удосконалення технічних засобів і ускладнення механізмів управління в системах «людина-техніка» постає найважливішою проблемою сьогодення, а тому на її вирішення спрямовано подальший науково-технічний прогрес сучасного суспільства.

2. Важливі питання *професійної надійності особи*, що виконує операторську діяльність, є вельми актуальними за своєю медико-соціальною значущістю. В сучасних системах управління операторською діяльністю, крім надійності суто технічних ланок, особливого значення набуває здатність людини-оператора до точних і своєчасних переробок умовно-рефлекторної діяльності, правомірної інтерпретації масиву інформації, а також спроможність особи до швидкої організації необхідних дій у відповідності з функціональним призначенням певної технічної системи та можливостями її вдосконалення. Принциповою особливістю будь-яких комплексних систем «людина-машина» є не тільки технічне залучення освіченої особи, а й необхідність врахування особистісних складових професійної надійності, оскільки вмотивованість та емоційний інтелект забезпечують прагнення та здатність індивіда до досягнення поставленої мети.

3. Людина-оператор виконує запропоновані та регламентовані дії в організації управління системою, зважаючи на поставлені завдання. Тому найбільш інтегральними в системах «людина-машина» є показники результативності професійної діяльності відповідно до поставленої цілі, а відтак такий підхід до оцінки успішності діяльності оператора слід назвати прагматичним. Прагматична ефективність в системах «людина-техніка» полягає у здатності особи реалізувати власні досягнення у відповідності до поставленої мети з урахуванням показників результативності професійної діяльності (прагнення до досягнення необхідних якостей та результативності праці).

4. Такий науковий напрям практичної спрямованості, як дослідження перешкодостійкості оператора, розробляється в основному на підставі вивчення особливостей сприйняття інформаційних сенсорних сигналів оператором і, зазвичай, це зорові і слухові сигнали. Вірогідність безпомилкового виконання психомоторних дій при обробці зорових та слухових сигналів визначається характером існуючих перешкод, які супроводжують професійну діяльність оператора. Висока перешкодостійкість пам'яті

оператора до впливів пасивних зовнішніх перешкод свідчить про його адаптаційні можливості за умов наявності сторонніх сенсорних подразників.

5. Основні етапи переробки текстової інформації в системі «оператор-дисплей» в контексті реалізації психомоторних дій оператора включають: сенсорну пам'ять, декодування інформаційних сигналів в неокортексі, формування на підставі аналітико-синтетичної діяльності мозку програми психомоторних дій, психомоторне та мовленнєво-моторне збудження, реалізацію усвідомлених дій, контроль в нейроструктурах акцептора результату усвідомлених дій, прогнозування можливостей покращення ефективності професійної діяльності.

6. Професійна надійність особи-оператора в сучасних автоматизованих системах полягає у її здатності до творчої та своєчасної обробки інформаційних сигналів різної модальності для організації адекватних психомоторних дій з метою успішного управління складними комплексними технологічними системами з високим рівнем інформативності. Зважаючи на сучасні реалії невизначеності та турбулентності особливого значення набуває «людський фактор» в забезпеченні оптимальної операторської діяльності, що передбачає формування у особи-оператора стресостійкості та адаптованості до роботи в умовах підвищеної небезпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дегтяренко-Мельник Т.В. Актуальність подальшої розробки проблеми професійної надійності в контексті психофізіологічної експертизи. Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». 2024. №2. С. 20-28. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-20-28>
2. Dehtiarenko T., Brynza I. Interdependence of mental development with psychomotorics In the context of the formation of personal motive qualities. Collective monograph / Theoretical and practical aspects of modern scientific research. Sherman Oaks, 2022 C. 245-252.
3. Брусенцов В. Г. Професійна надійність людини-оператора як проблема сучасної інженерної індустрії / В. Г. Брусенцов, О. В. Брусенцов // Людина, суспільство, комунікативні технології: матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф. (21–22 жовтня 2021 р.). Харків : ДІСА ПЛЮС, 2021. С. 281-284.
4. Діденко О. В. Сутність, зміст і структура поняття «професійна надійність фахівця» //Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Педагогічні науки. 2015. № 1. С. 90-101.
5. Інженерна психологія: курс лекцій / Укладач: С.О. Гура. – Х.: НУЦЗ України, 2016. – 127 с.
6. Євсюков О.П. Науково-історичні та теоретико-методологічні основи вчення про професійну надійність людини в загальносвітовій психологічній науці. Зб. наук. праць. «Проблеми надзвичайних ситуацій». Черкаси. 2017. С. 49-64.
7. Психологія праці: навч. Посібник. /за ред. Є. Л. Скворчевської; Держ. біотехнол. ун-т. Харків, 2022. 160 с.
8. Лещенко Г. Чинники, що впливають на професійну надійність фахівців з аварійного обслуговування та безпеки на авіаційному транспорті. Зб. наук. праць. ЦДУ імені В. Винниченка. Кропивницький. 2015. С. 56-66.
9. Сапельнікова Т. Пам'ять як фактор надійності операторської діяльності. Вісник Львівського університету. Серія психологічні науки. 2021. Випуск 8. Львів. С. 143–149.
10. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць. Вінниця: ТОВ «Друк плюс», 2022. Вип. 63. 220 с.
11. Шаповал І.О. Професійна надійність суб'єкта діяльності: психологічний ракурс аналізу. Габітус. Психологія праці. Вип.54. 2023. С. 204-208.
12. Удод М.О. Психологічні особливості професійного відбору фахівців екстреної медичної допомоги та медицини катастроф: дис. ... канд.. психол. наук : 19.00.04 «Медична психологія» / Інститут психології імені Г.С. Костюка НАПН України. Київ, 2021. 342 с.

REFERENCES

1. Degtyarenko-Melnyk T.V. The urgency of further development of the problem of professional reliability in the context of psychophysiological examination. Bulletin of Cherkasy University. Biological Science Series. 2024. №2. P. 20-28.
2. Dehtiarenko T., Brynza I. Interdependence of Mental Development With Psychomotorics in the Context of the Formation of Personal Motive Qualities. Collective Monograph /Theoretical and Practical Aspects of Modern Scientific Research. Sherman Oaks, 2022 C. 245-252.
3. Scientific-practical. conf. (October 21–22, 2021). Kharkiv: Disa Plus, 2021. P. 281-284.

4. Didenko O.V. The essence, content and structure of the concept of "professional reliability of a specialist" //Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Pedagogical Sciences. 2015. № 1. P. 90-101.
5. Engineering Psychology: Lecture Course / Compiled by: S.O. Gura. - X.: NUCZ of Ukraine, 2016 - 127 p.
6. Yevsyukov O.P. Scientific-historical and theoretical and methodological foundations of the doctrine of professional reliability of man in world psychological science. Coll. Sciences. works. "Emergency Problems". Cherkasy. 2017. P. 49-64.
7. Labor Psychology: Educ. Manual. /Ed. E.L. Skvovskaya; State. Biotechnole. Univ. Kharkiv, 2022. 160 p.
8. Leshchenko G. Factors that affect the professional reliability of specialists in emergency and aviation safety. Coll. Sciences. works. V. Vinnychenko Central Committee.Kropyvnytskyi. 2015. P. 56-66.
9. Salelnikova T. Memory as a factor of reliability of operator activity. Bulletin of Lviv University. Series Psychological Sciences. 2021. Issue 8. Lviv. P. 143-149.
10. Soltik O.O. Modern information technologies and innovative teaching methods in specialists training: methodology, theory, experience, issue Issue 52. P. 397- 401.
11. Shapoval I.O. Professional reliability of the subject of activity: psychological perspective of analysis. Habitus. Psychology of work. Issue 54. 2023. P. 204-208.
12. Udod M.O. Psychological features of professional selection of emergency medical care and disaster medicine: dis. ... Candidate of Psychol. Sciences: 19.00.04 "Medical Psychology" / Institute of Psychology named after GS Kostyuk of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021. 342 p.

Degtyarenko-Melnyk T., Brynza I.

Problem of operator activity in modern realities

Introduction. The article provides a theoretical review of the areas of study of the problem of operator activity as a special kind of professional activity of a person. Substantiation of the importance of the human factor in providing optimal operator activity, principles that underlie the creation of effective, convenient and intuitive technologies for interaction in human-machine systems, obstacles in operator activity and basic stages of processing of textual information in the system "operator". The purpose of the article is to highlight the problems of operator activity in the context of relationships in the system "man-machine" in the modern realities of today.

Research methodology. Methods of theoretical analysis, comparison, comparison, systematization and generalization have been applied.

Scientific novelty. The article states that the problem of improving the operator's professional activity should be solved in two main directions: first, it is a further successful design of technical means and equipment, taking into account the psychophysiological characteristics of the person and its adaptive capabilities; Secondly, it is the organization and implementation of individual professional selection, as well as the oriented training of operators, which should be adapted to the performance of specific types of work, even in conditions of complex and dangerous professional activity.

Conclusions. It is substantiated that the problem of improving the operator's professional activity should be solved comprehensively and based on the principles that underlie the creation of effective, convenient and intuitive technologies for interaction in human-machine systems; It is proved that the issue of professional reliability of a person performing operator activity is very relevant in their medical and social significance, because a fundamental feature of any complex system "man-machine" is not only the technical involvement of an educated person, but also the need to take into account personal components; It is clarified that the study of the obstacles of the operator, is developed mainly on the basis of the study of the peculiarities of the perception of information sensory signals by the operator and, usually, are visual and auditory signals. The likelihood of unmistakable performance of psychomotor actions in the processing of visual and auditory signals is determined by the nature of existing obstacles that accompany the professional activity of the operator. The high obstacle resistance of the operator's memory to the effects of passive external obstacles indicates its adaptive capabilities, provided there are foreign sensory stimuli; Attention to the main stages of processing of text information in the system "operator-display" in the context of the implementation of psychomotor actions of the operator, namely: sensory memory, decoding of information signals in the neocortex, formation on the basis of

analytical and synthetic activity of the brain of psychomotor action, psychomotor, psychomotor, psychomotor. acceptor the result of conscious actions, forecasting opportunities to improve the efficiency of professional activity; It is shown that taking into account the modern realities of uncertainty and turbulence of particular importance "human factor" in providing optimal operator activity, which involves the formation in the person-operator of stress resistance and adaptability to work in conditions of increased danger.

Key words: operator activity, man-machine system, system "operator-display", reliability, obstruction in operator activity.

Надійшла до редакції / Received: 12.05.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 612.821:599.323.4:616.89-008.441.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-37-46

Ольга Анатоліївна Коваленко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Olga_Kovalenko1@knu.uaORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2044-4660>

Микола Юхимович Макаrchук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

makarchuk_mykola@knu.uaORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0982-3463>

НАБУТА ПОВЕДІНКА ЩУРІВ З РІЗНОЮ АЛКОГОЛЬНОЮ МОТИВАЦІЄЮ ПРИ ПОЄДНАННІ ПРОЦЕСІВ АЛКОГОЛІЗАЦІЇ Й НАВЧАННЯ

Анотація. Постійними та закономірними корелятами розвитку алкогольної залежності є поведінкові зміни, які спричинені впливом етанолу на нервову тканину. **Метою** даної роботи було дослідити зв'язок між когнітивними процесами та формуванням і розвитком алкогольної залежності у молодих щурів-самців. Здатність щурів до навчання оцінювали методом радіального лабіринту, рівень алкогольної мотивації щурів визначали за наданням переваги етанолу у двопляшковому тесті. **Результати.** Показано, що хронічна алкоголізація щурів знижує швидкість і якість навчання, що проявляється в порушенні стану довготривалої й особливо робочої пам'яті і, як наслідок, в збільшенні кількості помилок. Проте попри загальний негативний вплив алкоголю, навчання після алкоголізації спричиняє більш виражене порушення пам'яті. Когнітивні тренування сприяли функціональним змінам у мозку підвищуючи його стійкість до стресорів. Щури, які не надавали перевагу алкоголю, мали вищу швидкість навчання та менший рівень помилок, що може бути пов'язано з меншою активністю систем позитивного підкріплення. **Висновки.** Більш виражений вплив етанолу на набуту поведінку щурів, які не надають перевагу алкоголю, можна пояснити їх меншою ферментативною адаптованістю до метаболізму етанолу, слабшими нейроадаптивними процесами й більшим дисбалансом між гальмівною і збудливими системами мозку.

Ключові слова: алкогольна залежність; навчання; когнітивні функції; нейроадаптація; щури.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. Алкоголь є широко вживаною психоактивною речовиною, яка впливає на роботу нервової системи [1]. Відомо, що хронічне вживання етанолу може впливати на виконання когнітивних завдань, зокрема робочу пам'ять, але дані літератури щодо тривалості, механізмів і напрямку змін не є однозначними [2-5]. Когнітивні порушення в осіб, які страждають на хронічний алкоголізм, виявляються у 50-70% випадків, а в 10% випадків вони мають виражений характер, що досягає ступеня деменції [6]. Вважається, що деменція, пов'язана з алкоголізмом, становить від 5 до 10% всіх випадків деменції, особливо в осіб молодого віку [7].

Хронічне або епізодичне надмірне вживання алкоголю може викликати порушення пам'яті, уваги, виконавчих функцій та нейропластичності. Алкоголь впливає на центральну нервову систему (ЦНС) через модифікацію нейромедіаторної активності, зокрема шляхом пригнічення функції глутаматергічних NMDA-рецепторів та підвищення активності ГАМК-рецепторів [8]. Спричиняє зниження рівня нейротрофного фактора мозку (BDNF) та нейротрофіну 3 (NT-3), які мають важливе значення для нейропластичності та функції пам'яті [9]. Це призводить до короткотривалих змін у когнітивних процесах, таких як порушення робочої пам'яті та зниження швидкості обробки інформації.

Довготривале зловживання алкоголем порушує функціональну взаємодію між префронтальною корою та гіпокампом, необхідну для протікання процесів робочої пам'яті та реалізації виконавчих функцій [10]. Алкоголь спричиняє структурні зміни в мозку, включаючи атрофію кори великих півкуль, гіпокампа та порушення синаптичної пластичності [6]. Окрім того, у наших попередніх дослідженнях виявлено, що схильні до вживання алкоголю щури демонструють вищу емоційність та тривожність, що негативно впливає на їхню здатність до навчання та дослідницьку активність [11].

Попри це, низка досліджень демонструє, що навчання та когнітивна стимуляція можуть компенсувати деякі негативні наслідки алкоголю. Тренування робочої пам'яті значно покращує вербальну робочу пам'ять в осіб із розладом вживання алкоголю, що свідчить про те, що когнітивні тренування можуть бути можливими модуляторами негативних наслідків дії алкоголю на нервову систему [12].

У схильних до алкоголізму щурів алкоголь може виступати в якості адаптогену, який компенсує поведінкові дефіцити, викликані дисбалансом в системах мозкової регуляції, та мати виражений анксиолітичний ефект [13-14].

Сам процес навчання викликає нейропластичні зміни в клітинах мозку, включаючи ріст дендритів, зміцнення та утворення нових синапсів, генерацію нових нейронів, особливо в гіпокампі, що має вирішальне значення для навчання та пам'яті, забезпечуючи субстрат для когнітивної стійкості [15-16]. Навчання може модулювати вивільнення нейромедiatorів, чутливість рецепторів і синаптичну пластичність, відновлюючи баланс у нейротрансмісії, який був порушений впливом етанолу [17]. Ці адаптації підвищують стійкість нейронів і компенсують спричинені етанолом можливі пошкодження. Окрім того, навчання та когнітивні процеси можуть посилити антиоксидантний захист, сприяти мітохондріальному біогенезу та оптимізувати енергетичний метаболізм, зменшуючи викликане етанолом пошкодження та покращуючи виживання нейронів [15]. Також навчання та когнітивна стимуляція можуть модулювати запальні механізми захищаючи від індукованого етанолом нейрозапалення [17]. В такому випадку навчання можна розглядати як один з методів, які використовуються в боротьбі з наслідками нейродегенеративних порушень у людини, зокрема таких як когнітивно-реабілітаційна терапія.

Для розробки підходів до корекції емоційних та когнітивних розладів при алкогольній залежності та профілактики рецидивів патологічного потягу до вживання етанолу потрібен аналіз розвитку алкогольної залежності з урахуванням індивідуальних особливостей алкогольної мотивації й врахуванням можливості корекції через методи, що використовуються для подолання наслідків нейродегенеративних порушень. **Метою даної роботи** було дослідити зв'язок між когнітивними процесами та формуванням і розвитком алкогольної залежності.

Матеріали та методи дослідження. Усі процедури з лабораторними тваринами було погоджено Комісією з біоетики ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол № 3 від 3 квітня 2023 року) і виконано відповідно до «Загальноетичних принципів експериментів на тваринах (Київ, 2011), «Порядку проведення науковими установами дослідів та експериментів на тваринах» (№ 249 від 01.03.2012), Закону України «Про захист тварин від жорсткого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006).

Дослідження були проведені в умовах хронічного експерименту на 254 білих нелінійних щурах-самцях віком від трьох до п'яти місяців з масою тіла на початку дослідження 180-220 г. Тварини утримувалися у віварії ННЦ «Інститут біології та медицини» за природного режиму освітлення та стандартного харчового раціону.

На початку експерименту для розподілу щурів на збалансовані групи оцінювали вроджену поведінку за допомогою тесту «відкрите поле» [18]. Критеріями поділу на групи обрано здатність до навчання в радіальному лабіринті (РЛ) та рівень алкогольної мотивації. Здатність до навчання оцінювали методом радіального лабіринту до або після алкоголізації. Дослідження проводилось в 2 етапи.

Етап дослідження I – умовний рефлекс в радіальному лабіринті виробляли у щурів до хронічної алкоголізації;

Етап дослідження II – умовний рефлекс у радіальному лабіринті виробляли у щурів після хронічної алкоголізації.

Хронічну алкоголізацію тварин проводили впродовж 48 днів в два етапи до (експеримент I) чи після (експеримент II) вироблення умовного рефлексу (УР) в РЛ. На I етапі визначали схильність щурів до етанолу за допомогою «двохпляшкового» методу. Тварин, які не мали до цього контакту з етанолом, саджали на 14 діб в індивідуальні клітки. Протягом цієї фази тварини впродовж 24 годин мали вільний вибір між 15 % розчином етанолу та водою. Величину індивідуального обсягу споживаного алкоголю за одиницю часу (г/кг/добу) та процентне співвідношення спожитого алкоголю до обсягу всієї рідини обчислювали один раз на день. Оскільки вроджена схильність до вживання алкоголю пов'язана з рівнем поведінкових реакцій [11], тому цей крок дозволив врівноважити щурів у IV, V та VI групах на основі поведінкових особливостей, а також врівноважити рівень спонтанного вживання алкоголю до початку 30-денної примусової алкоголізації. На II етапі проводили примусову алкоголізацію шляхом введення тваринам етанолу як єдиного джерела рідини впродовж місяця. Через 30 днів для оцінювання індивідуального рівня вживання алкоголю кожному тварину на 4 дні саджали в індивідуальну клітку з двома поїлками (одна з водою, інша з 15 % розчином етанолу). Про формування експериментального алкоголізму судили, враховуючи наступні показники: 1) індивідуальний об'єм випитого спирту за одиницю часу (не менш ніж 5 г/кг за добу); 2) відсоткове співвідношення випитого розчину спирту до об'єму всієї рідини (не менш ніж 60 %). Після встановлення вихідного рівня вживання води та розчину етанолу тварин поділили на щурів з високою алкогольною мотивацією «схильних» і щурів з низькою алкогольною мотивацією «несхильних» [19-20]. Протягом періоду алкоголізації проводили тестування в РЛ щурів з метою підтримання виробленої навички. Після завершення алкоголізації додатково проводили перевірку поведінки щурів в РЛ.

Після закінчення навчання в радіальному лабіринті та алкоголізації щури на етапах дослідження I та II були розділені на 6 груп (рис. 1).

Етап дослідження I:

I група – «ДН контрольна» - інтактні щури, що добре навчались в лабіринті (n=17);

II група – «ПН контрольна» - інтактні щури, що погано навчались в лабіринті (n=28);

III група – «ДН, схильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу етанолу і добре навчались в лабіринті (n=19);

IV група – «ПН, схильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу етанолу і погано навчались в лабіринті (n=21);

V група – «ДН, несхильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу воді і добре навчались в лабіринті (n=25);

VI група – «ПН, несхильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу воді і погано навчались в лабіринті (n=36).

Етап дослідження II:

I група – «ДН контрольна» - інтактні щури, що добре навчались в лабіринті (n=17);

II група – «ПН контрольна» - інтактні щури, що погано навчались в лабіринті (n=28);

III група – «ДН, схильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу етанолу і добре навчались в лабіринті (n=27);

IV група – «ПН, схильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу етанолу і погано навчались в лабіринті (n=29);

V група – «ДН, несхильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу воді і добре навчались в лабіринті (n=22);

VI група – «ПН, несхильні» - щури, що під час алкоголізації надавали перевагу воді і погано навчались в лабіринті (n=33).



Рис. 1.Схема розподілу тварин на експериментальні групи

РЛ в цьому дослідженні представляв платформу, від якої відходили 6 пронумерованих коридорів (рукавів). У кінці кожного рукава знаходилася пластикова шторка, за якою лежало підкріплення – шматочок твердого сиру. Перед початком тестувань протягом доби всі щури підлягали харчовій депривації при вільному доступі до води. В першу добу експерименту проводили процедуру ознайомлення тварини з РЛ та після попадання до нього давали можливість отримати підкріплення в усіх рукавах. Упродовж наступних 14 діб в трьох рукавах доступ до їжі залишався вільним, а в трьох був обмеженим – блокувалася можливість відкриття шторки в рукавах №1, 4 та 6. Оцінка здатності до навчання в РЛ тривала від моменту розміщення щура в його центрі до взяття останнього підкріплення, але не більше ніж 10 хв. Щури мали змогу здійснювати по одній пробіжці в день до годівничок. При аналізі тієї чи іншої пробіжки враховували латентний період взяття першого і останнього підкріплення (ЛП-1, ЛП-3) (с), кількість взятих підкріплень, а також загальну кількість і характер помилок (кількість повторних заходів в рукава з підкріпленням, кількість заходів у рукава без підкріплення) [21].

Статистичний аналіз проводили за допомогою програми Statistica 6.0 (StatSoft, USA). При ненормальному розподілі для порівняння незалежних вибірок кількісних даних (між групами в кожен із досліджуваних днів) використовували критерій Манна-Уїтні (показник U), для порівняння зв'язаних вибірок кількісних даних – тест Вілкоксона. Дані описової статистики в тексті та на рисунках представлені у вигляді Me [25 %; 75 %] (Me – медіана; 25 % та 75 % – інтерквартильний розмах) для кількісних даних або у відсотках (кількість активів однієї групи/загальної кількості активів за цим показником) для номінальних даних. Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався $\leq 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення. В даній експериментальній роботі аналіз змін поведінкової активності тварин в РЛ показав, що незалежно від схеми поєднання процесів навчання і вживання етанолу алкоголізація спричиняє достовірне погіршення результатів просторового навчання в лабіринті. На обох етапах дослідження алкоголізація збільшувала кількість помилок і зменшувала швидкість взяття харчового підкріплення, особливо у щурів, які не віддавали перевагу алкоголю. У контрольних щурів ці параметри змінювались незначно. В той самий час попри загальний негативний вплив алкоголю на поведінку тварин, у випадку навчання після алкоголізації наслідки дії етанолу на функції пам'яті та здатності до навчання є набагато більш вираженими, ніж у випадку навчання до початку алкоголізації.

Зміни когнітивної функції щурів полягали в порушенні в першу чергу короточасної пам'яті та появі стереотипної поведінки і таким чином зменшенні кількості тварин, що впоралися із завданням пошуку їжі в РЛ. У всіх груп алкоголізованих щурів спостерігалась достовірно більша кількість повторних заходів у рукави, де вже було взято підкріплення, що

вказує на більший вплив алкоголю на показники короткотривалої пам'яті, що було достовірно більш виражено на етапі дослідження II (рис. 2).

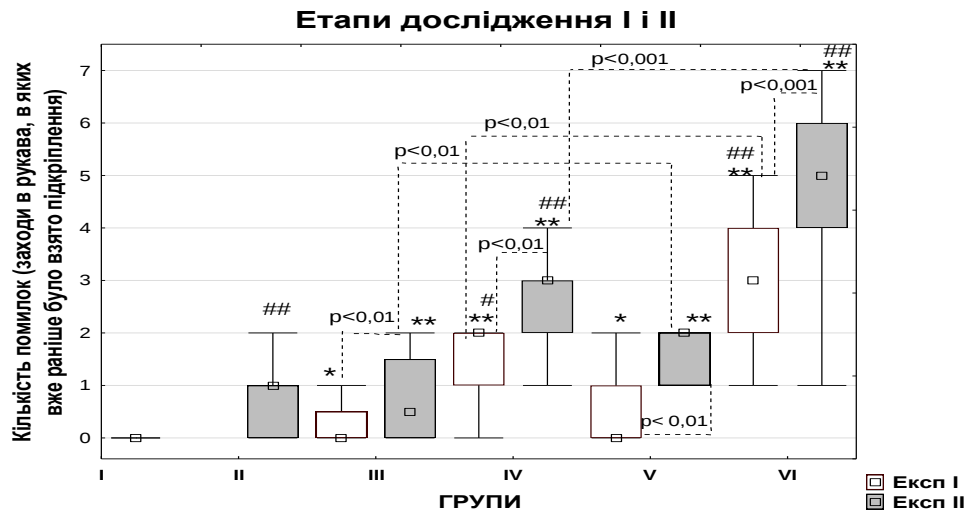


Рис. 2. Кількість помилок у радіальному лабіринті (повторних заходів в рукави з підкріпленням) у щурів на етапі дослідження I і II (Me [25 %; 75 %], n=254).

Примітки: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками контролю (гр. I і II); # $p \leq 0,05$; ## $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками щурів, що добре навчались (гр. I, III, V)

Так, у «ДН-несхильних» щурів групи V (I) таких реакцій було на 50 % менше, ніж у групі V (II) ($p \leq 0,01$), а у «ПН-несхильних» групи VI (I) було на 66,7 % менше ($p \leq 0,001$), ніж у групі VI (II) (рис. 2). «Несхильні» щури (групи V(I), VI (I), V(II), VI (II)) на обох етапах дослідження мали достовірно більшу кількість помилок в лабіринті, ніж щури інших груп (рис. 2, рис. 3). У алкоголізованих щурів також достовірно збільшувалась кількість помилок, пов'язаних з порушенням довготривалої пам'яті. Так, кількість заходів у рукави без підкріплення в групах IV (I), IV (II) «ПН-схильні», була на 50 % ($p \leq 0,01$) і 100 % ($p \leq 0,01$) більшою порівняно з відповідним контролем. Ця тенденція спостерігалась і серед алкоголізованих тварин, що добре навчались (група III (II) «ДН-схильні» ($p \leq 0,01$) та була достовірно більш вираженою у «несхильних» щурів (групи V, VI), особливо на етапі дослідження II (група V (II) мала на 100 % більше помилок, ніж група V (I) ($p \leq 0,01$)) (рис. 3).

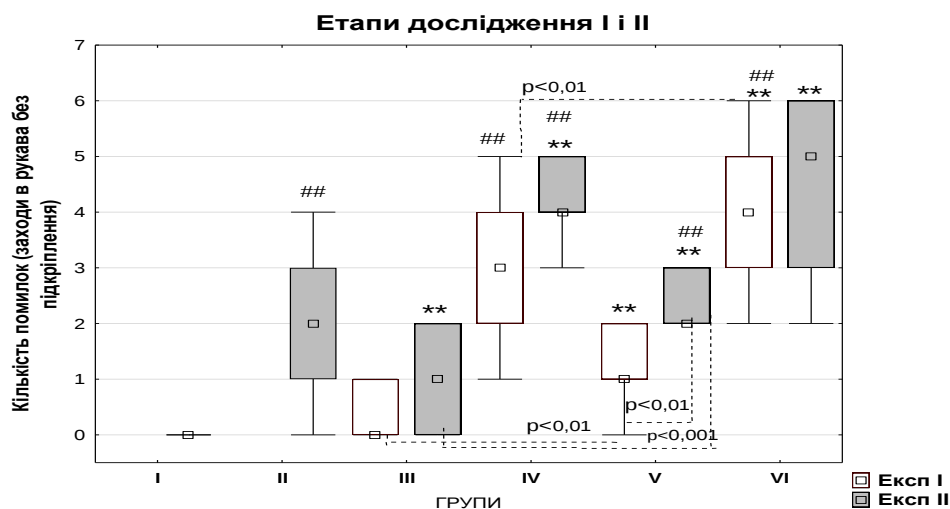


Рис. 3. Кількість помилок у радіальному лабіринті (заходів у рукави без підкріплення) у щурів на етапі дослідження I і II (Me [25 %; 75 %], n=254).

Примітки: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками контролю (гр. I і II); # $p \leq 0,05$; ## $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками щурів, що добре навчались (гр. I, III, V)

При аналізі результатів в РЛ важливо враховувати швидкість взяття підкріплення, зокрема латентний період взяття 1-го та 3-го підкріплення (ЛП1 і ЛП3). У алкоголізованих щурів спостерігалось достовірне збільшення тривалості ЛП1 порівняно з контрольними групами, навіть серед тих щурів, які успішно навчались в РЛ. Так, у групі III (I) «ДН схильних» ЛП1 був на 300 % більшим, ніж у групі контролю I ($p \leq 0,001$), і на 450 % більшим, ніж у групі III (II) ($p \leq 0,001$). Також у «ЛН схильних» щурів груп IV (I) і IV (II) достовірно більше ЛП1 на 280 % ($p \leq 0,01$) і 360 % ($p \leq 0,001$) відповідно порівняно з контрольною групою II. У «несхильних» щурів V (I), V (II), VI (I), VI (II) спостерігалась схожа тенденція (рис. 4).

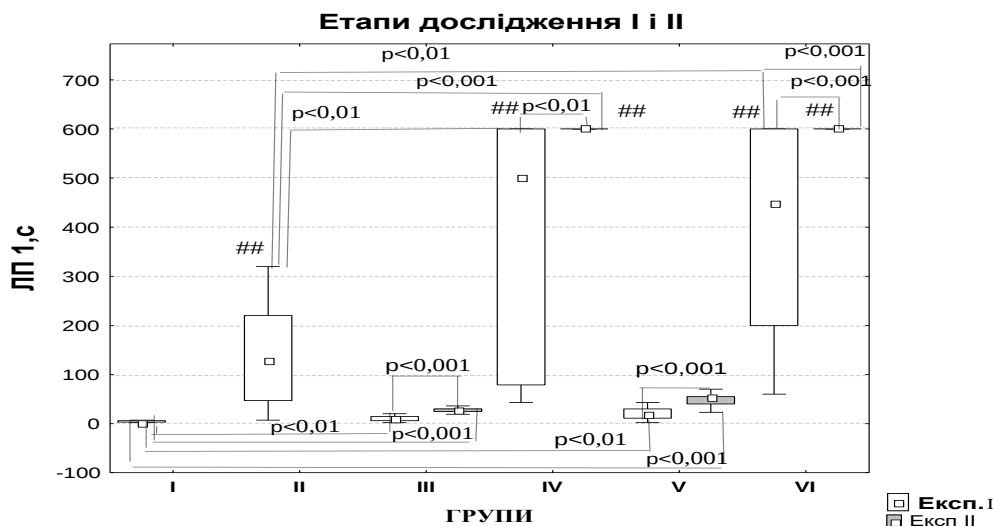


Рис. 4. Латентні періоди взяття першого (ЛП1) харчового підкріплення у радіальному лабіринті у щурів на етапах дослідження I і II (Me [25 %; 75 %], $n=254$)

Примітки: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками контролю (гр. I і II); # $p \leq 0,05$; ## $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками щурів, що добре навчались (гр. I, III, V)

Коли вироблення умовного рефлексу передувало алкоголізації, то тварини, які вживали алкоголь, справлялись із завданням пошуку їжі швидше, особливо ті, які успішно навчались в РЛ (групи III та V), а саме: у групі III (I) «ДН схильних» ЛП1 і ЛП3 достовірно менші на 100 % ($p \leq 0,001$) і на 60 % ($p \leq 0,001$) відповідно, ніж у групі III (II) «ДН схильних». Також у групі V (I) «ДН-несхильні» ЛП1 і ЛП3 були менші на 80 % ($p \leq 0,01$) і 200 % ($p \leq 0,001$) відповідно, ніж у групі V (II) «ДН-несхильні». Серед тварин, що погано навчалися, спостерігалась схожа тенденція (рис. 4, рис. 5).

Різниця у здатності до навчання між тваринами з різною алкогольною мотивацією може бути пов'язана з підвищенням чутливості систем позитивного підкріплення під впливом етанолу в мозку у тварин з високою алкогольною мотивацією. З іншого боку, тварини, які менше схильні до алкогольної залежності, є менш адаптованими до метаболізму етанолу, мають слабкі нейроадаптивні механізми та дисбаланс між гальмівними і збудливими системами мозку. Таким чином показано, що навчання щурів до початку алкоголізації певною мірою знижувало негативний ефект етанолу і сприяло зменшенню кількості тварин, що віддавали перевагу алкоголю. Можливий механізм такого впливу навчання на алкогольну мотивацію і на ступінь прояву негативного впливу етанолу на когнітивні процеси полягає в тому, що когнітивні тренування відіграють суттєву роль в індукуванні структурних змін як у сірій, так і у білій речовині головного мозку, підвищенні мієлінізації, нейрогенезу, генезу гліальних клітин та функціональних змін в мозку, що, своєю чергою пов'язано з більшою нейропластичністю і можливо більшою стійкістю тканин мозку до впливу стресорних факторів [15-17; 22]. Окрім того, певний позитивний вплив навчання на ступінь прояву алкогольної мотивації можна зіставити з даними досліджень [23-24], де показано, що когнітивне навантаження і збагачення середовища щурів, які мали пренатальний вплив етанолу, зменшує ризик виникнення алкогольної залежності.

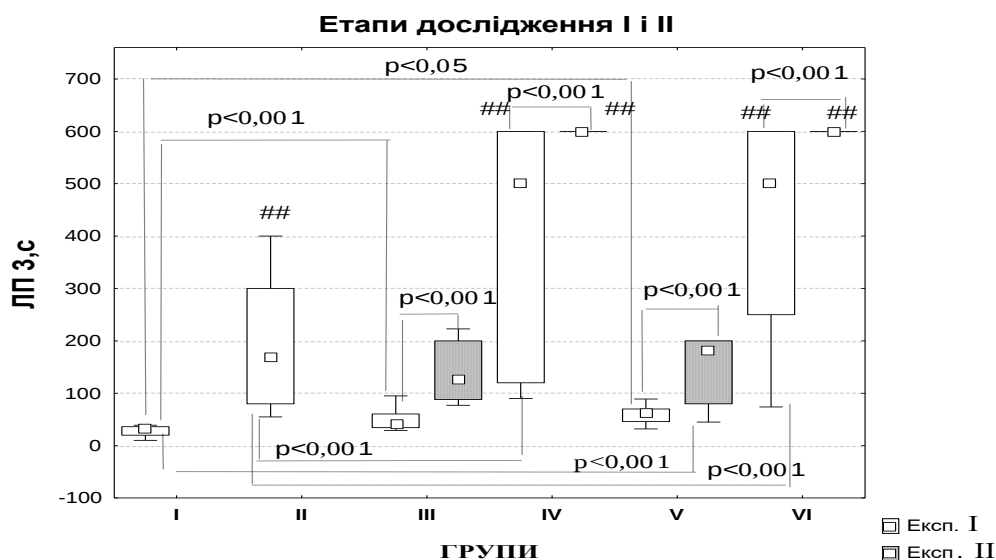


Рис. 5. Латентні періоди взяття останнього (ЛПЗ) харчового підкріплення у радіальному лабіринті у щурів на етапах дослідження I і II (Me [25 %; 75 %], n=254)

Примітки: # $p \leq 0,05$; ## $p \leq 0,01$ – в порівнянні з показниками щурів, що добре навчалися (гр. I, III, V)

Механізм такого впливу когнітивних процесів на алкогольну мотивацію також може бути пов'язаний з індукуванням структурних і нейрохімічних змін мозку, які можуть знижувати ризик розвитку потягу до алкоголю [15-17;25]. Це в свою чергу проявляється в зниженні негативного впливу алкоголю та продуктів його метаболізму на нейроанатомію і функції гіпокампа, що і може призводити до покращення результатів просторового навчання. Більш детальний можливий механізм зафіксованого в цьому дослідженні впливу навчання на алкогольну мотивацію, ступінь порушення когнітивних процесів під впливом етанолу потребує подальшого вивчення.

Висновки.

Хронічна алкоголізація щурів знижує швидкість навчання та збільшує кількість помилок, що особливо виражено у тварин з низкою алкогольною мотивацією. У всіх групах алкоголізованих тварин виявлено виражений негативний вплив етанолу на показники робочої пам'яті.

Навчання до початку алкоголізації зменшує негативний вплив етанолу та продуктів його метаболізму на процеси пам'яті, при цьому щури з високою алкогольною мотивацією мають вищу швидкість навчання та меншу кількість помилок.

Виявлені зміни когнітивних функцій підтверджують нейротоксичний ефект етанолу та необхідність подальших досліджень для розробки стратегій корекції алкоголь-індукованих порушень пам'яті та навчання.

Дослідження можливості нейрокогнітивного відновлення через навчання є актуальним напрямом для розробки нових підходів щодо попередження та зниження негативних ефектів тривалого вживання алкоголю на нервову систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Global status report on alcohol and health. World Health Organization [Electronic Resource] / World Health Organization. Geneva. 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240096745>
2. Egervari G., Siciliano C.A., Whiteley E.L., Ron D. Alcohol and the brain: from genes to circuits - Trends in Neurosciences, Volume 44, Issue 12, 2021, P. 1004-1015 doi.org/10.1016/j.tins.2021.09.006
3. Engleman E. A., Ingraham, C. M., Rodd, Z. A., Murphy, J. M., McBride, W. J., & Ding, Z. M. (2020). The reinforcing effects of ethanol within the prefrontal cortex and ethanol drinking: Involvement of local dopamine D2 receptor-mediated neurotransmission. Drug and Alcohol Dependence, 214, 108165. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2020.108165>

4. Harper C, Matsumoto I. Ethanol and brain damage. *Curr Opin Pharmacol*. 2005 Feb;5(1):73-8. doi: 10.1016/j.coph.2004.06.011.
5. Oscar-Berman M., Marinkovic K., Alcoholism and the brain: an overview, *Alcohol Research & Health: The Journal of the National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism* 27 (2003) 125–133.
6. Perry CJ. Cognitive Decline and Recovery in Alcohol Abuse. *J Mol Neurosci*. 2016 Nov;60(3):383-389. doi: 10.1007/s12031-016-0798-4.
7. Vazir, Sheila, Hannah Klein, and Kelly Kearns. "A-103 Exploring the Diagnostic Criteria for Alcohol-Related Dementia: a Case Study." *Archives of Clinical Neuropsychology* 39.7 (2024): 1044-1044.
8. Zhong X, Drgonova J, Li CY, Uhl GR. Human cell adhesion molecules: annotated functional subtypes and overrepresentation of addiction-associated genes. *Ann N Y Acad Sci*. 2015 Sep;1349(1):83-95. doi: 10.1111/nyas.12776
9. Silva-Peña, Daniel, et al. "Alcohol-induced cognitive deficits are associated with decreased circulating levels of the neurotrophin BDNF in humans and rats." *Addiction biology* 24.5 (2019): 1019-1033
10. Rosenblum, Hailey. Effects of Third Trimester Alcohol Exposure on Vicarious Trial and Error Behaviors and Medial Prefrontal Cortex-Hippocampus Oscillatory Synchrony During Spatial Working Memory in Adulthood. University of Delaware, 2024.
11. Kovalenko, Olga, et al. "Correlation between learning and alcoholization in rats." *Biologija* 65.2 (2019).
12. KHEMIRI, Lotfi, et al. Working memory training in alcohol use disorder: a randomized controlled trial. *Alcoholism: clinical and experimental research*, 2019, 43.1: 135-146
13. Parker, Clarissa C., Ryan Lusk, and Laura M. Saba. "Alcohol sensitivity as an endophenotype of alcohol use disorder: Exploring its translational utility between rodents and humans." *Brain Sciences* 10.10 (2020): 725.
14. Vena, Ashley A., et al. "Behavioral, neurobiological, and neurochemical mechanisms of ethanol self-administration: A translational review." *Pharmacology & therapeutics* 212 (2020): 107573.
15. Marzola, Patrícia, et al. "Exploring the role of neuroplasticity in development, aging, and neurodegeneration." *Brain sciences* 13.12 (2023): 1610.
16. Šimončičová, Eva, et al. "Adult neurogenesis, learning and memory." *Microglia: Physiology, Pathophysiology and Therapeutic Potential* (2024): 221-242.
17. Jia, Wenge, et al. "ISIB ameliorates spatial learning and memory impairment induced by adolescent intermittent ethanol exposure in adult male rats." *Neurochemistry International* 179 (2024): 105834.
18. Prut, Laetitia, and Catherine Belzung. "The open field as a paradigm to measure the effects of drugs on anxiety-like behaviors: a review." *European journal of pharmacology* 463.1-3 (2003): 3-33.
19. Huynh, Nhat, et al. "Murine drinking models in the development of pharmacotherapies for alcoholism: drinking in the dark and two-bottle choice." *Journal of visualized experiments: JoVE* 143 (2019): 10-3791.
20. Parkhomenko Yu M, Donchenko GV, Pylypchuk SYu, Stepanenko SP, Chekhovskaia LI, Klimenko EP. Characteristic metabolic disturbances in the rat tissues caused by long-term use of alcohol. *Ukr Biokhim Zh*. 2007; 79(3): 61–9.
21. Paul, Carrillo-Mora, Giordano Magda, and Santamaría Abel. "Spatial memory: Theoretical basis and comparative review on experimental methods in rodents." *Behavioural brain research* 203.2 (2009): 151-164.
22. Draganski B., May A., Training-induced structural changes in the adult human brain, *Behavioural Brain Research*, 2008, Volume 192, Issue 1, Pages 137-142.
23. Wang, Ruixiang, et al. "Prenatal ethanol exposure impairs sensory processing and habituation of visual stimuli, effects normalized by postnatal environmental enrichment." *Alcoholism: Clinical and Experimental Research* 46.5 (2022): 891-906.
24. Bahi, Amine. "Gestational environmental enrichment prevents chronic social stress induced anxiety-and ethanol-related behaviors in offspring." *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 234 (2024): 173679.
25. Engleman E. A., Ingraham, C. M., Rodd, Z. A., Murphy, J. M., McBride, W. J., & Ding, Z. M. (2020). The reinforcing effects of ethanol within the prelimbic cortex and ethanol drinking: Involvement of local dopamine D2 receptor-mediated neurotransmission. *Drug and Alcohol Dependence*, 214, 108165.

REFERENCES

1. Global status report on alcohol and health. World Health Organization [Electronic Resource] / World Health Organization. Geneva. 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240096745>
2. Egervari G., Siciliano C.A., Whiteley E.L., Ron D. Alcohol and the brain: from genes to circuits - Trends in Neurosciences, Volume 44, Issue 12, 2021, P. 1004-1015 doi.org/10.1016/j.tins.2021.09.006
3. Engleman E. A., Ingraham, C. M., Rodd, Z. A., Murphy, J. M., McBride, W. J., & Ding, Z. M. (2020). The reinforcing effects of ethanol within the prelimbic cortex and ethanol drinking: Involvement of local dopamine D2 receptor-mediated neurotransmission. *Drug and Alcohol Dependence*, 214, 108165. <https://doi.org/10.1016/j.druga.2020.108165>
4. Harper C, Matsumoto I. Ethanol and brain damage. *Curr Opin Pharmacol*. 2005 Feb;5(1):73-8. doi: 10.1016/j.coph.2004.06.011.

5. Oscar-Berman M., Marinkovic K., Alcoholism and the brain: an overview, *Alcohol Research & Health: The Journal of the National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism* 27 (2003) 125–133.
6. Perry CJ. Cognitive Decline and Recovery in Alcohol Abuse. *J Mol Neurosci.* 2016 Nov;60(3):383-389. doi: 10.1007/s12031-016-0798-4.
7. Vazir, Sheila, Hannah Klein, and Kelly Kearns. "A-103 Exploring the Diagnostic Criteria for Alcohol-Related Dementia: a Case Study." *Archives of Clinical Neuropsychology* 39.7 (2024): 1044-1044.
8. Zhong X, Drgonova J, Li CY, Uhl GR. Human cell adhesion molecules: annotated functional subtypes and overrepresentation of addiction-associated genes. *Ann N Y Acad Sci.* 2015 Sep;1349(1):83-95. doi: 10.1111/nyas.12776
9. Silva-Peña, Daniel, et al. "Alcohol-induced cognitive deficits are associated with decreased circulating levels of the neurotrophin BDNF in humans and rats." *Addiction biology* 24.5 (2019): 1019-1033
10. Rosenblum, Hailey. Effects of Third Trimester Alcohol Exposure on Vicarious Trial and Error Behaviors and Medial Prefrontal Cortex-Hippocampus Oscillatory Synchrony During Spatial Working Memory in Adulthood. University of Delaware, 2024.
11. Kovalenko, Olga, et al. "Correlation between learning and alcoholization in rats." *Biologija* 65.2 (2019).
12. KHEMIRI, Lotfi, et al. Working memory training in alcohol use disorder: a randomized controlled trial. *Alcoholism: clinical and experimental research*, 2019, 43.1: 135-146
13. Parker, Clarissa C., Ryan Lusk, and Laura M. Saba. "Alcohol sensitivity as an endophenotype of alcohol use disorder: Exploring its translational utility between rodents and humans." *Brain Sciences* 10.10 (2020): 725.
14. Vena, Ashley A., et al. "Behavioral, neurobiological, and neurochemical mechanisms of ethanol self-administration: A translational review." *Pharmacology & therapeutics* 212 (2020): 107573.
15. Marzola, Patrícia, et al. "Exploring the role of neuroplasticity in development, aging, and neurodegeneration." *Brain sciences* 13.12 (2023): 1610.
16. Šimončičová, Eva, et al. "Adult neurogenesis, learning and memory." *Microglia: Physiology, Pathophysiology and Therapeutic Potential* (2024): 221-242.
17. Jia, Wenge, et al. "ISRI ameliorates spatial learning and memory impairment induced by adolescent intermittent ethanol exposure in adult male rats." *Neurochemistry International* 179 (2024): 105834.
18. Prut, Laetitia, and Catherine Belzung. "The open field as a paradigm to measure the effects of drugs on anxiety-like behaviors: a review." *European journal of pharmacology* 463.1-3 (2003): 3-33.
19. Huynh, Nhat, et al. "Murine drinking models in the development of pharmacotherapies for alcoholism: drinking in the dark and two-bottle choice." *Journal of visualized experiments: JoVE* 143 (2019): 10-3791.
20. Parkhomenko Yu M, Donchenko GV, Pylypchuk SYu, Stepanenko SP, Chekhovskaia LI, Klimenko EP. Characteristic metabolic disturbances in the rat tissues caused by long-term use of alcohol. *Ukr Biokhim Zh.* 2007; 79(3): 61–9.
21. Paul, Carrillo-Mora, Giordano Magda, and Santamaría Abel. "Spatial memory: Theoretical basis and comparative review on experimental methods in rodents." *Behavioural brain research* 203.2 (2009): 151-164.
22. Draganski B., May A., Training-induced structural changes in the adult human brain, *Behavioural Brain Research*, 2008, Volume 192, Issue 1, Pages 137-142.
23. Wang, Ruixiang, et al. "Prenatal ethanol exposure impairs sensory processing and habituation of visual stimuli, effects normalized by postnatal environmental enrichment." *Alcoholism: Clinical and Experimental Research* 46.5 (2022): 891-906.
24. Bahi, Amine. "Gestational environmental enrichment prevents chronic social stress induced anxiety-and ethanol-related behaviors in offspring." *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 234 (2024): 173679.
25. Engleman E. A., Ingraham, C. M., Rodd, Z. A., Murphy, J. M., McBride, W. J., & Ding, Z. M. (2020). The reinforcing effects of ethanol within the prelimbic cortex and ethanol drinking: Involvement of local dopamine D2 receptor-mediated neurotransmission. *Drug and Alcohol Dependence*, 214, 108165.

Kovalenko O., Makarchuk M.

Acquired behavior of rats with different alcohol motivation under combined alcoholization and learning processes

The development of alcohol dependence is associated with long-term functional and structural changes in the central nervous system, which are reflected in altered behavior and impaired cognitive functions. One of the key mechanisms contributing to addictive behavior is the disruption of memory processes and the distortion of learning under the influence of chronic ethanol intake. Therefore, investigating the interplay between alcohol consumption and cognitive activity is critical for understanding the neurophysiological foundations of dependence. The purpose of this study was to investigate the relationship between cognitive processes and the formation and development of alcohol dependence.

Methods. *The study was conducted on 4-month-old male Wistar rats, divided into subgroups based on their level of ethanol motivation, as determined by a two-bottle choice test. Cognitive performance was assessed using the radial arm maze, with parameters such as the number of correct entries, the number of repeated errors, and task completion time. Alcohol was administered for 28 days, either in parallel with cognitive testing or separately. Behavioral changes were recorded daily, and the dynamics of spatial learning were analyzed across experimental groups.*

Results. *Chronic alcohol intake was found to significantly impair learning performance, primarily due to deficits in working memory, resulting in increased error rates. When cognitive tasks were performed concurrently with alcoholization, the negative effects on memory were more pronounced. Interestingly, rats with a low preference for alcohol demonstrated more rapid learning and better memory retention, which may be linked to decreased activity in reward-processing systems. However, these animals were also more behaviorally sensitive to ethanol's disruptive effects, possibly due to weaker neuroadaptive mechanisms and a reduced ability to metabolize alcohol effectively.*

Conclusions.

The findings confirm that both the level of alcohol motivation and the presence of cognitive load during ethanol exposure critically influence learning outcomes. While cognitive activity may promote compensatory brain adaptations, it also uncovers deeper individual vulnerabilities. This highlights the need for a personalized approach when modeling alcohol-related cognitive dysfunctions in experimental settings.

Keywords: *alcohol dependence; learning; cognitive functions; neuroadaptation; rats.*

Надійшла до редакції / Received: 02.05.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 612.8

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-47-54

Володимир Вікторович Козак

Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

neofeet996@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-1450-4284>

Лілія Іванівна Юхименко

Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

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

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ГЕМОДИНАМІКИ ПОРОЖНИСТИХ ВЕН ЛЮДИНИ В РІЗНИХ ФАЗАХ ДИХАЛЬНОГО ЦИКЛУ

Анотація. У статті представлено результати теоретичного аналізу наукової літератури відносно стану вивчення проблеми гемодинаміки порожнистих вен людини у різні фази дихального циклу з акцентом на ультразвуковий метод. **Метою** нашого дослідження було проведення аналізу та узагальнення відомостей сучасних наукових літературних джерел щодо особливостей методу ультразвукового дослідження порожнистих вен людини (нижньої та верхньої) для виявлення взаємозв'язку показників венозної гемодинаміки з фазами дихального циклу. **Матеріали та методи.** В ході дослідження було використано **методи** теоретичного аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової літератури. **Результати.** Ультразвукове дослідження порожнистих вен (УЗД) є високоефективним, неінвазивним та безпечним методом оцінки центральної гемодинаміки, що активно використовується як у сучасній медичній практиці, так і фізіологічних дослідженнях. Його переваги включають доступність, відсутність променевого навантаження, можливість застосування в екстрених ситуаціях та високу інформативність при оцінці об'ємного статусу пацієнтів. Аналіз літератури засвідчив нагальну потребу в розробці стандартизованого протоколу УЗ-дослідження порожнистих вен, який враховуватиме положення тіла, фазу дихання, тип доступу та точку вимірювання. Такий протокол значно покращить достовірність, відтворюваність та експериментальну і клінічну цінність отриманих результатів. **Висновок.** Подальші дослідження будуть спрямовані на уточнення механізмів взаємодії дихання та венозного повернення, порівняння показників верхньої та нижньої порожнистих вен у різних клініко-фізіологічних сценаріях, а також створення алгоритмів комплексної оцінки гемодинаміки для використання у щоденній практиці.

Ключові слова: порожністі вени; ультразвукова діагностика; гемодинаміка порожнистих вен; ультразвукове дослідження; індекс спадання / розтягнення; дихальний цикл; центральний венозний тиск.

Актуальність теми. Ультразвукова оцінка порожнистих вен, зокрема нижньої порожнистої вени (IVC), є важливим неінвазивним методом оцінки гемодинаміки, який широко застосовується в різних галузях фізіології та медицини: неврології, кардіології, нефрології, анестезіології, реаніматології і ін. Адже величина діаметра порожнистих вен та його зміни, що виникають у відповідь на дихальні рухи, слугують важливими індикаторами центрального венозного тиску і характеризують об'ємний статус певної людини [1, 2].

У сучасних умовах зростання потреби у швидкій і точній оцінці центральної та периферичної гемодинаміки, особливо в критичних невідкладних станах, показники, отримані методом ультразвукового дослідження порожнистих вен (УЗД) стають інформативним, доступним та практичним інструментом клінічної діагностики. Проте, існує низка дискусійних моментів щодо точності отриманих під час проведення УЗД показників,

уніфікації методів їх вимірювання, врахування впливу дихальних маневрів, положення тіла та пов'язаних з ними змін багатьох фізіологічних параметрів, а також оцінки їх впливу на кінцеві результати дослідження. У літературі спостерігається значна варіативність у підходах до інтерпретації отриманих даних щодо вивчення гемодинаміки порожнистих вен у різних фізіологічних та клінічних контекстах [3,4].

У зв'язку з цим виникає необхідність у систематизації наявних наукових джерел з проблеми, проведенні аналізу існуючих методик, порівнянні ефективності існуючих практик та визначенні наукових прогалин, які потребують подальшого вивчення.

Постановка проблеми та мета огляду. Незважаючи на широке впровадження ультразвукових методів дослідження у практику сучасної фізіології та медицини, досі залишається невирішеною низка питань, пов'язаних із стандартизацією оцінки морфології та гемодинаміки порожнистих вен. Зокрема, відсутність єдиного уніфікованого підходу до вимірювання діаметра нижньої порожнистої вени (VCI), інтерпретації її колапсувального індексу та впливу респіраторних змін значно обмежує точність діагностичних висновків [5]. Адже різні клініцисти або науковці-дослідники можуть вимірювати VCI у неоднакових точках (наприклад, на різній відстані від правого передсердя), в різних фазах дихального циклу, з використанням різних технік (М-режим, В-режим, доплер). Варто відмітити, що до цих пір, як серед фізіологічних стандартів, так і в клінічній практиці, не визначені чіткі, загальноприйняті порогові значення колапсувального індексу для визначення об'єму рідини в організмі або центрального венозного тиску, а без достатньої стандартизації інтерпретація стає суб'єктивною. Водночас, результати численних досліджень демонструють значну варіабельність у методиках дослідження, залежність параметрів венозного кровотоку від типу дихання, положення тіла людини, індивідуальних анатомо-фізіологічних особливостей, клінічного стану і ін. [1-7]. Таке становище знижує можливість порівняння даних, ускладнює фізіологічну інтерпретацію та інтеграцію результатів у клінічні протоколи, створює передумови для формування хибних висновків і прийняття помилкових лікувально-діагностичних рішень.

Таким чином, постає необхідність у проведенні теоретичного аналізу наявної наукової літератури, зіставленні вже існуючих підходів до ультразвукової оцінки порожнистих вен, виявленні їх особливостей, критичному огляді сильних і слабких сторін різних практичних досліджень, розгляду найбільш оптимальних авторських результатів та окресленні перспективних напрямів для майбутнього застосування.

Мета дослідження: проаналізувати результати робіт авторів, присвячених вивченню особливостей застосування методу ультразвукового дослідження для вивчення порожнистих вен людини (нижньої та верхньої) та виявити взаємозв'язок показників венозної гемодинаміки з фазами дихального циклу за даними літератури.

Матеріали і методи дослідження. В ході дослідження було використано методи теоретичного аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової та науково-методичної літератури.

Аналіз останніх публікацій. В наш час для вивчення морфології та функції судин існує ряд відомих інструментальних методів дослідження. Вони надають науковцям широкі можливості для досліджень, забезпечуючи високу діагностичну точність результатів та їх подальше використання у тлумаченні фізіологічних процесів. Використання таких знань у медичній практиці підвищує ефективність лікування та допомагає запобігати небезпечним ускладненням. Разом із тим, деякі з них поступово втрачають свою актуальність через недоліки в обстеженні, його складності, демонструють низьку інформативну цінність та не можуть конкурувати з новими, більш високотехнологічними методами. Наприклад: комп'ютерна томографічна ангіографія (КТА) має високу роздільну здатність тканин, але при цьому використовується іонізуюче випромінювання та контраст, що унеможливорює його використання у пацієнтів з алергією та нирковою недостатністю [8]. Радіаційне та контрастне навантаження також присутнє при флебографії, що обмежує її використання у клініці, не дивлячись на можливість отримання чітких морфологічних нюансів [9]. Магнітно-

резонансна ангіографія (МРА) є неінвазивним методом, прецизійним, але часто недоступним через значну вартість та довготривалість обстеження [10]. Електрокардіографія та кардіоритмографія оцінюють кардіальну активність, яка тісно пов'язана з гемодинамікою, але водночас не дають прямої інформації про самі судини. Відомо, що плетизмографія оцінює кровонаповнення судин, в цей же час вона втрачає свою точність при набряках, ожирінні та порушеннях периферичної перфузії [11]. За допомогою тетраполярної реографії грудної клітки можна визначити хвилинний об'єм, периферичний опір, тонус судин, але цей метод потребує спеціальних умов та обладнання, має складність в інтерпретації, чутливий до впливу зовнішніх факторів. На противагу цьому — метод УЗД серця та порожнистих вен фактично позбавлений недоліків, адже є неінвазивним та безпечним, не несе променевого навантаження, швидкий та доступний для застосування практично в будь-яких умовах, а також має надзвичайну високу точність та надійність [12].

Аналіз останніх публікацій свідчить, що УЗД порожнистих вен у наш час є рутинним елементом обстеження людини при проведенні планової ехокардіографії за певних обставин: професійний огляд, допуск до спортивних тренувань і змагань, проведення судинного скринінгу, оцінка балансу сегментів артеріального та венозного судинного русла, перед- і післяопераційний моніторинг тощо [1, 2, 13-17]. Найчастіше для візуалізації порожнистих вен використовують два типи ультразвукових датчиків: секторні фазовані (phased array) і криволінійні (convex). Перевагою секторних датчиків є те, що вони забезпечують глибоке проникнення ультразвукових хвиль у тканини тіла людини та дозволяють оцінювати VCI навіть при обмеженому акустичному вікні [6]. Вони широко застосовуються у фокусованому ультразвуковому дослідженні серця (FoCUS). Водночас, криволінійні датчики забезпечують ширше поле зору та можуть бути корисними при оцінці судинної анатомії та динаміки кровотоку [7].

Натепер у щоденній клінічній практиці, УЗД серця зазвичай проводиться в положенні людини на спині. VCI зазвичай візуалізується з субксіфоїдального (субкостального) доступу. У разі, коли даний доступ є ускладненим або недоступним, то як альтернатива використовується правобічний транспечінковий доступ. В обох випадках для правильної оцінки VCI повинна візуалізуватися у повздовжньому перерізі, з обов'язковою візуалізацією вено-атріального з'єднання та правого передсердя. Автори наголошують, що під час обстеження VCI здебільшого вимірюють діаметр вени як під час вдиху, так і під час видиху. Потім, на основі отриманих даних, вираховують індекс спадання VCI, що є важливим індивідуальним показником волемічного статусу людини, а також величини тиску у правому передсерді [1, 7, 13, 15-19]. А у пацієнтів, що знаходяться на штучній вентиляції легень, на основі даних діаметру VCI вираховують індекс розтягування VCI [20].

Слід зазначити, що точку, в якій слід вимірювати діаметр VCI, вважають критично важливою. Для прикладу, Wallace D.J., Allison M. із співавторами наголошують на тому, що у людини зі спонтанним диханням варіація діаметру VCI менша біля правого передсердя та більша на 2 см каудальніше від місця впадіння печінкової вени або на рівні лівої ниркової вени [4]. Вони підкреслюють, що навіть в однієї і тієї ж людини можна отримати різні значення діаметру VCI. Проте, попри важливість даного аспекту щодо вимірювання діаметру VCI, ця точка не є на сьогодні універсально-стандартизованою, що вказує на необхідність з'ясування цього питання. Більшість авторів все ж припускають, що вимірювання слід проводити в межах 1.5 -2 см від місця впадіння VCI до правого передсердя [7, 14, 16]. Дослідники також звертають увагу на те, що як на діаметр VCI, так і швидкість кровотоку по ній додатково впливає і положення пацієнта під час обстеження. Зокрема, декілька наукових досліджень показали, що у положенні на лівому боці діаметр VCI є суттєво меншим у порівнянні з вимірюванням у положенні людини на спині [21, 22].

З літератури відомо, що двомірне зображення VCS та дослідження кровотоку по ній, проведене за допомогою кольорового та спектрального доплера є достатньо інформативним та можливим з кількох вікон. Зазвичай, використовується надгрудинне вікно, з якого можна

візуалізувати верхній і середній сегменти VCS. Зазначається, що коли вікно доступне, високе ліве парастернальне вікно демонструє середній і нижній сегменти VCS. Субкостальне, верхівкове та ліве парастернальне вікна дозволяють візуалізувати нижній її сегмент у місці впадіння вени в праве передсердя. Проте, слід зазначити, що місце вимірювання діаметру VCS, а також інших показників теж не є універсально стандартизованим. Так, зазвичай за точку вимірювання беруть місце впадіння VCS у праве передсердя, а саме обстеження проводять у положенні лежачи на [2, 6].

Отже, під час огляду наукової літератури, присвяченої морфології та функціям порожнистих вен, стало очевидним, що вивченню особливостей гемодинаміки верхньої порожнистої вени (VCS) авторами приділяється значно менше уваги у порівнянні з дослідженням нижньої порожнистої вени. У відкритому доступі вдалось знайти лише кілька наукових праць по вивченню VCS [20, 23-25]. У зазначених наукових працях автори досліджували діагностичну цінність індексів спадіння та розтягування VCS (сVCS та dVCS) для вибору тактики лікування. Вказані індекси вираховуються на основі абсолютних показників діаметру VCS виміряних в різні фази дихального циклу, аналогічно до відповідних індексів VCI. Вони відображають тісний зв'язок гемодинаміки та дихання, а також дають цінну інформацію про волемічний статус пацієнтів. Так, у кількох дослідженнях виявляли кореляцію CI (кардіального індексу) зі значеннями колапсувального індексу VCS у пацієнтів на механічній вентиляції легень, що відображало позитивну відповідь пацієнтів на терапію рідиною [20,23].

Проте, отримані науковцями дані є доволі суперечливими. В одному з досліджень було встановлено, що сVCS тісно пов'язаний зі значеннями CI [24], а також, що у пацієнтів на механічній вентиляції легень колапсувальний індекс VCS мав кращу точність у передбаченні позитивної відповіді хворих на рідинну ресусcitaцію у порівнянні з індексом розтягнення VCI (80% до 43% відповідно) [23].

З іншого боку, автори дослідження, проведеного з метою прогнозування реакції на переднавантаження за допомогою одночасного вимірювання діаметрів нижньої та верхньої порожнистих вен стверджують, що отримані ними результати вказують на слабку кореляцію між CI та сVCS. Вони також висловили сумніви щодо надійності отриманих результатів у гетерогенних групах обстежуваних, оскільки їхні результати відрізнялися від описаних у літературі, а також мали меншу специфічність та чутливість. У зв'язку з цим вони рекомендують застосовувати комплексний підхід у оцінці волемічного статусу пацієнтів [25]. Ще одним цінним припущенням авторів згаданої наукової роботи є те, що вплив дихальної системи на гемодинаміку верхньої порожнистої вени може бути більшим у порівнянні з нижньою порожнистою веною, оскільки діагностична точність сVCS була вищою у порівнянні з dVCI. Точний механізм такої розбіжності потребує подальших досліджень.

Таким чином, проведений аналіз наукової літератури показав, що результати різних авторів мають помітну варіабельність, що відображається в отриманих ними показниках. Це наводить на думку про можливість розбіжності у початкових умовах вимірювання, пов'язаних з відсутністю стандартизованого універсального протоколу дослідження порожнистих вен, що актуалізувало наші подальші пошуки.

Результати дослідження та обговорення. Ми проаналізували доступні нам вітчизняні і іноземні літературні дані і можемо констатувати, що питання анатомії, фізіології та гемодинаміки порожнистих вен вивчалися дослідниками у багатьох аспектах [26-34]. Зокрема, достеменно встановлено, що венозна система людини є важливою складовою частиною кровообігу, яка забезпечує повернення венозної крові до серця. Центральне ж місце у цій системі займають верхня та нижня порожнисті вени, які виконують роль основних венозних колекторів великого кола кровообігу циклу [28, 29, 33, 34].

VCS, за даними науковців, є великою безклапанною судиною довжиною 6-8 см, а її діаметр є доволі динамічним та залежить від низки факторів, у тому числі від фази дихального циклу [28]. Функціональна роль VCS полягає у транспортуванні деоксигенованої

крові з верхньої половини тіла до правого передсердя, завершуючи тим самим циркуляцію крові у верхніх ділянках великого кола кровообігу. У свою чергу, VCI, без сумніву, є найбільшою веною людського організму. Її довжина складає приблизно 20-22 см, а діаметр перевищує такий у VCS. Функціонально VCI забезпечує повернення венозної крові до серця з нижньої частини тіла, завершуючи велике коло кровообігу в цій ділянці [29].

Безперечно, що як верхня, так і нижня порожнисті вени відіграють критичну роль у підтриманні безперервного кровотоку та забезпеченні належної циркуляції в організмі. Дані літератури свідчать, що вони характеризуються великою ємністю та відносно тонкими стінками, що дозволяє їм виконувати функцію резервуарів крові та забезпечувати її ефективне транспортування до серця при мінімальному опорі потоку [28]. Фізіологічно основною рушійною силою венозного потоку є градієнт тиску між периферією венозної системи та правим передсердям. Цей градієнт формується внаслідок безперервної роботи серцевого насоса, що створює силу присмоктування внаслідок підтримання сталого низького тиску у правому передсерді (в середньому +2-3 мм.рт.ст.) та збільшується впливом так званої «дихальної помпи» [33].

Наголошуючи на значенні фаз дихального циклу, слід відмітити, що саме під час інспірації виникає негативний тиск у грудній порожнині, який зменшує тиск у порожнистих венах і полегшує притік крові до серця. Одночасно підвищується тиск у черевній порожнині, що сприяє виштовхуванню крові по нижній порожнистій вені [29]. Вчені одноголосні щодо значення ще й інших факторів, які впливають на гемодинаміку порожнистих вен: венозного тонуусу та просвіту судин, дії скелетно-м'язової помпи, впливу положення тіла та гравітації, об'єму циркулюючої крові та її в'язкості [34].

В контексті нашого дослідження ми детально розглянули, як за допомогою методу УЗД вивчають і оцінюють гемодинаміку порожнистих вен та виявляють взаємозв'язок кровотоку в них із диханням, враховуючи механізми, фактори впливу та обмеження. Betts підкреслює, що дихальна діяльність суттєво впливає на гемодинаміку порожнистих вен, головним чином, через зміни внутрішньогрудного та внутрішньочеревного тиску протягом дихального циклу [33]. Під час спонтанного вдиху скорочення діафрагми та міжреберних м'язів призводять до розширення грудної порожнини та зниження внутрішньогрудного тиску, створюючи негативний його градієнт, який сприяє венозному поверненню до правого передсердя. Такий перепад тиску покращує пересування крові як з VCS, так і з VCI у праве передсердя.

У літературі наголошується, що зростання венозного повернення під час спонтанного вдиху часто супроводжується тимчасовим спаданням просвіту VCI та збільшенням лінійної швидкості потоку крові у просвіті вени, що легко візуалізується при УЗД. Це спадання можна виразити у вигляді індексу спадання VCI [32]. Воно обумовлене посиленням градієнта тиску між черевною та грудною порожнинами, що сприяє ефективнішому просуванню крові до серця [33]. Навпаки, під час видиху внутрішньогрудний тиск підвищується до базового рівня або стає дещо позитивним, що знижує градієнт тиску та, відповідно, послаблює венозне повернення (швидкість потоку крові у просвіті вени уповільнюється). Як наслідок, під час спонтанного дихання VCI зазвичай виглядає більш розширеною під час видиху через зменшення потоку крові до правого передсердя [1, 7, 13, 15-19]. В умовах штучної вентиляції легень картина зворотня: внаслідок зростання внутрішнього грудного тиску діаметри порожнистих вен зазвичай більші у фазі примусового вдиху, що ініціюється апаратом ШВЛ, а на видосі діаметри VCI та VCS зменшуються [20, 24, 25]. Автори констатують, що ці динамічні зміни діаметра VCI та VCS протягом дихального циклу є цінним неінвазивним маркером оцінки об'єму циркулюючої крові та відповіді на інфузійну терапію, зокрема у критично хворих пацієнтів [1, 2, 13, 17, 23, 24].

Разом із цим, у літературі на сьогодні недостатньо даних, які б демонстрували залежність діаметру порожнистих вен від положення людини у просторі. Ці варіації є важливими, оскільки лежать в основі декількох динамічних показників, таких як індекс розтяжності та спадіння VCI та VCS, що у комплексі з іншими показниками гемодинаміки

використовується для оцінки залежності від переднавантаження та прийняття рішень щодо інфузійної терапії у пацієнтів на вентиляції, а також можуть бути корисними у спортивній фізіології, реабілітаційній практиці, у підготовці водолазів, підводників, льотчиків тощо.

Отже, гемодинаміка порожнистих вен великою мірою залежить від механіки процесу дихання. Спонтанний вдих сприяє венозному поверненню та супроводжується спаданням VCI, тоді як під час видиху вона розширюється. За умов штучної вентиляції ці ефекти мають протилежний характер, що підкреслює важливість вивчення зв'язку між диханням та центральною венозною гемодинамікою для поглиблення понять фундаментальної фізіології, має практичний вихід у медицину в діагностичному та терапевтичному розумінні, а також є важливими для багатьох цивільних і військових професій.

Висновки.

1. Ультразвукове дослідження порожнистих вен (УЗД) є високоефективним, неінвазивним та безпечним методом оцінки центральної гемодинаміки, що активно використовується в сучасній медичній практиці. Його переваги включають доступність, відсутність променевого навантаження, можливість застосування в екстрених ситуаціях та високу інформативність при оцінці об'ємного статусу пацієнтів.

2. Відсутність уніфікованих підходів до методики дослідження (зокрема, вибору точки вимірювання діаметра вени, позиції тіла, фази дихального циклу, типу УЗ-датчика тощо) призводить до значної варіабельності результатів між різними дослідниками та клінічними групами. Це обмежує можливість порівняння даних та ускладнює створення єдиних клінічних протоколів.

3. У літературі велика увага приділяється нижній порожнистій вені (IVC), тоді як гемодинамічні характеристики верхньої порожнистої вени (SVC) залишаються менш вивченими. Водночас, наявні дослідження свідчать про потенційно вищу діагностичну цінність показників SVC, особливо у пацієнтів на механічній вентиляції легень.

4. Індeksi спадання та розтягнення порожнистих вен можуть бути корисними у визначенні волемічного статусу та прогнозуванні відповіді на інфузійну терапію, проте їх клінічна ефективність значною мірою залежить від умов вимірювання та гомогенності вибірки пацієнтів.

5. Аналіз літератури засвідчив нагальну потребу в розробці стандартизованого протоколу УЗ-дослідження порожнистих вен, який враховуватиме положення тіла, фазу дихання, тип доступу та точку вимірювання. Такий протокол значно покращить достовірність, відтворюваність та клінічну цінність отриманих результатів.

6. Подальші дослідження мають бути спрямовані на уточнення механізмів взаємодії дихання та венозного повернення, порівняння показників верхньої та нижньої порожнистих вен у різних експериментальних та клінічних сценаріях, а також створення алгоритмів комплексної оцінки гемодинаміки для використання у теорії та щоденній практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stefano Albani, Luca Mesin, Silvestro Roatta, Antonio De Lucac, Alberto Giannoni, Davide Stolfo, Lorenza Biava, Caterina Bonino, Laura Contu, Elisa Pelloni, Emilio Attent, Vincenzo Russo, Francesco Antonini-Canterin, Nicola Riccardo Pugliese, Guglielmo Gallone, Gaetano Maria De Ferrari, Gianfranco Sinagra and Paolo Scaciatella (2022). Inferior Vena Cava Edge Tracking Echocardiography: A Promising Tool with Applications in Multiple Clinical Settings. *Diagnostics* 2022, 12, 427. URL: <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020427>
2. Daniel Lichtenstein (2005). 'General ultrasound in the critically ill'. P. 82-86.
3. Blehar DJ, Resop D, Chin B, Dayno M, Gaspari R. Inferior vena cava displacement during respirophasic ultrasound imaging. *Crit Ultrasound J.* 2012 Aug 6;4(1):18. doi: 10.1186/2036-7902-4-18. PMID: 22866665; PMCID: PMC3463481.
4. Wallace, D.J.; Allison, M.; Stone, M.B. (2010). Inferior Vena Cava Percentage Collapse during Respiration Is Affected by the Sampling Location: An Ultrasound Study in Healthy Volunteers. *Acad. Emerg. Med.* 2010, 17, P. 96–99. doi: 10.1111/j.1553-2712.2009.00627.x. Epub 2009 Dec 9. PMID: 20003120.
5. Caplan M, Durand A, Bortolotti P, Colling D, Goutay J, Duburcq T, Drumez E, Rouze A, Nseir S, Howsam M, Onimus T, Favory R, Preau S. Measurement site of inferior vena cava diameter affects the accuracy with which fluid responsiveness can be predicted in spontaneously breathing patients: a post hoc analysis of two prospective

- cohorts. *Ann Intensive Care*. 2020 Dec 11;10(1):168. doi: 10.1186/s13613-020-00786-1. PMID: 33306164; PMCID: PMC7732956.
6. Denault, A.Y.; Langevin, S.; Lessard, M.R.; Courval, J.F.; Desjardins, G. (2018). Transthoracic Echocardiographic Evaluation of the Heart and Great Vessels. *Can. J. Anaesth*. 2018, 65, 449–472.
7. Основи ультразвукового дослідження за методикою POCUS. URL:<https://www.pocus101.com/ultrasound-machine-basics-knobology-probes-and-modes/>
8. Patel PR, De Jesus O. (2023). CT Scan. *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 33620865.
9. URL:<https://www.radiologyinfo.org/en/info/venography> 2025 Radiological Society of North America, Inc. (RSNA).
10. Shaikh Z, Torres A, Takeoka M. (2019). Neuroimaging in Pediatric Epilepsy. *Brain Sci*. 2019 Aug 7;9(8):190. doi: 10.3390/brainsci9080190. PMID: 31394851; PMCID: PMC6721420.
11. Koh WU, Lee DH, Ro YJ, Park HS. (2024). Validity of Pleth Variability Index to Predict Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Cervical Spine Surgery in the Modified Prone Position. *Medicina (Kaunas)*. 2024 Dec 7;60(12):2018. doi: 10.3390/medicina60122018. PMID: 39768898; PMCID: PMC11728039.
12. URL:<https://www.radiologyinfo.org/en/info/genus> 2025 Radiological Society of North America, Inc. (RSNA).
13. Furtado S, Reis L. (2019). Inferior vena cava evaluation in fluid therapy decision making in intensive care: practical implications. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2019 Jun 27;31(2):240-247. doi: 10.5935/0103-507X.20190039. PMID: 31271627; PMCID: PMC6649212.
14. Tucker WD, Shrestha R, Burns B. (2023). Anatomy, Abdomen and Pelvis: Inferior Vena Cava. *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 29493975.
15. Kaptein MJ, Kaptein EM. (2021). Inferior Vena Cava Collapsibility Index: Clinical Validation and Application for Assessment of Relative Intravascular Volume. *Adv Chronic Kidney Dis*. 2021 May;28(3):218-226. doi: 10.1053/j.ackd.2021.02.003. PMID: 34906306.
16. Ультразвукове дослідження нижньої порожнистої вени по методиці POCUS. URL:<https://www.pocus.org/inferior-vena-cava-ivc-assessment-for-volume-status-in-point-of-care-ultrasound-pocus-setting/>
17. Ismail MT, El-Iraky AA, Ibrahim EEA, El Kammash TH, Abou-Zied AE. (2022). Comparison of inferior vena cava collapsibility and central venous pressure in assessing volume status in shocked patients. *Afr J Emerg Med*. 2022 Sep;12(3):165-171. doi: 10.1016/j.ajem.2022.04.005. Epub 2022 May 17. PMID: 35599841; PMCID: PMC9120061.
18. Patil S, Jadhav S, Shetty N, Kharge J, Puttegowda B, Ramalingam R, Cholenahally MN. (2016). Assessment of inferior vena cava diameter by echocardiography in normal Indian population: A prospective observational study. *Indian Heart J*. 2016 Dec;68 Suppl 3(Suppl 3):S26-S30. doi: 10.1016/j.ihj.2016.06.009. Epub 2016 Jul 1. PMID: 28038721; PMCID: PMC5198879.
19. Fathy MM, Wahdan RA, Salah AAA, Elnakera AM. [2023] Inferior vena cava collapsibility index as a predictor of hypotension after induction of general anesthesia in hypertensive patients. *BMC Anesthesiol*. 2023 Dec 19;23(1):420. doi: 10.1186/s12871-023-02355-y. PMID: 38114949; PMCID: PMC10729554.
20. Upadhyay V, Malviya D, Nath SS, Tripathi M, Jha A. (2020). Comparison of Superior Vena Cava and Inferior Vena Cava Diameter Changes by Echocardiography in Predicting Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Patients. *Anesth Essays Res*. 2020 Jul-Sep;14(3):441-447. doi: 10.4103/aer.AER_1_21. Epub 2021 Mar 22. PMID: 34092856; PMCID: PMC8159031.
21. Farouk Mookadam 1, Tahlil A Warsame, Hyun Suk Yang, Usha R Emani, Christopher P Appleton, Serageldin F Raslan (2011). Effect of positional changes on inferior vena cava size. *Eur J Echocardiogr*. 2011Apr;12(4):322-5.
22. Shoichiro Nakao, Patricia C. Come, Raymond G. McKay, Bernard J. Ransil. (1987). Effects of positional changes on inferior vena caval size and dynamics and correlations with right-sided cardiac pressure. *The American Journal of Cardiology*, Volume 59, Issue 1, 1987, P. 125-132.
23. Charbonneau H, Riu B, Faron M, Mari A, Kurrek MM, Ruiz J, et al. Predicting preload responsiveness using simultaneous recordings of inferior and superior vena cavae diameters. *Crit Care* 2014;18(5):473
24. Vieillard-Baron A, Chergui K, Rabiller A, Peyrouset O, Page B, Beauchet A, et al. Superior vena caval collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med* 2004; 30(9):1734-9.
25. Vignon P, Repessé X, Bégot E, Léger J, Jacob C, Bouferrache K, et al. Comparison of Echocardiographic Indices Used to Predict Fluid Responsiveness in Ventilated Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 195(8): P.1022-1032.
26. Li SJ, Lee J, Hall J, Sutherland TR. (2021). The inferior vena cava: anatomical variants and acquired pathologies. *Insights Imaging*. 2021 Aug 30;12(1):123. doi: 10.1186/s13244-021-01066-7. PMID: 34460015; PMCID: PMC8405820.
27. Spentzouris G, Zandian A, Cesmebasi A, Kinsella CR, Muhleman M, Mirzayan N, Shirak M, Tubbs RS, Shaffer K, Loukas M. (2014). The clinical anatomy of the inferior vena cava: a review of common congenital anomalies and considerations for clinicians. *Clin Anat*. 2014 Nov;27(8):1234-43. doi: 10.1002/ca.22445. Epub 2014 Jul 17. PMID: 25042045.

28. Неттер Ф. (2004). Атлас анатомії людини [Цегельський А.А.]. Львів: Наутилус. с. 592. ISBN 966-95745-8-7.
29. Benjamin Cummings. 2006. Human Anatomy & Physiology (Edt. 7th). P. 744-750, 758-764.
30. Hashizume, H.; Ushiki, T.; Abe, K. (1995). A histological study of the cardiac muscle of the human superior and inferior venae cavae. *Archives of Histology and Cytology*. 58 (4):P. 457–464.
31. Sonavane SK, Milner DM, Singh SP, Abdel Aal AK, Shahir KS, Chaturvedi A. (2015). Comprehensive Imaging Review of the Superior Vena Cava. *Radiographics*. 2015 Nov-Dec;35(7):1873-92. doi: 10.1148/rq.2015150056. Epub 2015 Oct 9. PMID: 26452112.
32. Policastro P, Mesin L. (2023) Processing Ultrasound Scans of the Inferior Vena Cava: Techniques and Applications. *Bioengineering (Basel)*. 2023 Sep 12;10(9):1076. doi: 10.3390/bioengineering10091076. PMID: 37760178; PMCID: PMC10525913.
33. Betts, J Gordon; Desaix, Peter; Johnson, Eddie; Johnson, Jody E; Korol, Oksana; Kruse, Dean; Poe, Brandon; Wise, James; Womble, Mark D; Young, Kelly (2023). *Anatomy & Physiology*. P. 809-893.
34. Шевчук В.Г. (2002). Фізіологія. 2-ге видання. Ст. 304-306, 312-318.

Kozak V., Yukhymenko L.

The Current State of Studying Hemodynamics of Human Cavernous Veins in Different Phases of the Respiratory Cycle

Introduction and Objective. This article presents the results of a theoretical analysis of scientific literature concerning the hemodynamics of the human vena cava during different phases of the respiratory cycle, with a particular focus on the ultrasound method. Since the formulation of the Frank-Starling law and the recognition of the central role of venous return in cardiovascular physiology, researchers in various fields—including biology, physiology, and medicine—have sought effective methods to study central venous hemodynamics and the factors influencing it. Over time, and with the development of new technologies, several diagnostic tools have been introduced, including tetrapolar thoracic rheography, phlebography, plethysmography, computed tomography, magnetic resonance imaging, and pulmonary artery catheterization. Each has contributed significantly to the field, although many are limited by their invasiveness, cost, or complexity.

In contrast, ultrasound imaging of the heart and great vessels has emerged as a non-invasive, safe, rapid, relatively accurate, and cost-effective method for evaluating cardiovascular status. Due to these advantages, the aim of this study was to analyze and summarize the current scientific knowledge on the use of ultrasound for assessing the inferior and superior vena cava, and to investigate the relationship between venous hemodynamic parameters and phases of the respiratory cycle.

Materials and Methods. This study employed theoretical analysis, systematization, and generalization of modern scientific and methodological literature.

Key Findings. Ultrasound evaluation of the vena cava is a highly effective, non-invasive, and safe method for assessing central hemodynamics. It is increasingly used in clinical practice due to its availability, lack of radiation exposure, applicability in emergency settings, and high diagnostic value for evaluating a patient's fluid status. The review of literature highlights an urgent need for the development of a standardized ultrasound protocol for vena cava assessment, taking into account body position, respiratory phase, imaging window, and measurement site. A unified approach would significantly enhance the reliability, reproducibility, and clinical relevance of results. Future studies should aim to further clarify the physiological mechanisms linking respiration and venous return, compare the diagnostic potential of superior and inferior vena cava parameters in various clinical scenarios, and develop integrated assessment algorithms for routine use.

Keywords. vena cava; ultrasound diagnostics; venous hemodynamics; ultrasound examination; collapsibility/distensibility index; respiratory cycle; central venous pressure.

Надійшла до редакції / Received: 8.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 796.011.3

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-55-63

Вікторія Анатоліївна Пастухова

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Pastuhova_V@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X>**Тетяна Валеріївна Ширай**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Tanisiraj.ukr.net@ukr.netORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8452-9767>

ДИНАМІКА ЗМІН ВЕГЕТАТИВНОГО ІНДЕКСУ У СПОРТСМЕНІВ ПРИ ВЕСТИБУЛЯРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Анотація. Метою даного дослідження було вивчення змін вегетативного індексу у спортсменів різного віку у відповідь на вестибулярне навантаження створене різноспрямованими лінійними прискореннями. **Результати.** Проведені дослідження виявили значні відмінності у вихідних показниках вегетативного індексу – по мірі зростання віку спортсменів роль симпатичної складової вегетативної регуляції знижується, а у осіб першого зрілого віку провідну роль починає відігравати симпатична регуляція (вегетативний індекс у підлітків дорівнює 52,3 ум.од., у юнаків – 13,7 ум.од., у спортсменів першого зрілого віку – переходить до негативних величин і становить – 1,6 ум.од.). Доведено, що під впливом активного вестибулярного навантаження у підлітків величина вегетативного індексу майже вдвічі знижувалася (на 46,2%), у юнаків – не супроводжувалося достовірними змінами вегетативного індексу, у осіб першого зрілого віку спостерігалось переключення вегетативних впливів з переважно парасимпатичних на симпатичні (вегетативний індекс зростає практично у 10 разів). Така динаміка змін протилежна до існуючої вегетативної регуляції в стані спокою організму. **Висновки.** Проведений аналіз та висунуті припущення свідчать про те, що вегетативний індекс може застосовуватися при плануванні тренувального процесу.

Ключові слова: індекс Кердо; вегетативний індекс; вестибулярне навантаження; вегетативна регуляція; гемодинаміка; спортсмени.

Постановка проблеми. Спорт представляє собою специфічний вид діяльності, спрямований на виявлення резервних та адаптивних можливостей людини. Систематичні фізичні навантаження викликають перебудову у функціонуванні, зокрема, внутрішніх систем організму, що сприймається як частина фізіологічної адаптації до фізичного навантаження. Для оцінки стану вегетативної нервової системи у спортсменів різних видів спорту при вестибулярному навантаженні застосовують індекс Кердо (ІК).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В ході численних досліджень показано, що кількісний вираз діастолічного тиску у мм рт. ст. (d) і число ударів пульсу за хвилину (p) у стані вегетативної рівноваги приблизно рівні, тобто співвідношення d/p можна прийняти за 1. На основі цієї закономірності і використовують індекс Кердо для визначення стану вегетативної нервової системи [1, 2].

ІК розраховують за формулою: $IK = (AD - d) / P$,

де: ІК – індекс Кердо; AD – показник систолічного артеріального тиску; d – показник діастолічного артеріального тиску; P – частота серцевих скорочень.

При зсуві вегетативного тону у бік симпатикотонії співвідношення d/p стає меншим 1. При парасимпатикотонії співвідношення d/p стає більшим 1. Отже, позитивні значення індексу вказують на перевагу симпатичної регуляції тону судин; від'ємні – вплив вегетативної нервової системи на тонус судин. Якщо відхилення від середнього значення величини d/p

(визначають у кожному конкретному випадку до другого знаку) помножити на 100, отримаємо позитивне чи негативне ціле число – «вегетативний індекс» (V.I.). Тобто якщо $d/p = 1$, тобто співпадає з середнім значенням, то $V.I. = 0$. Якщо $d/p < 1$, то V.I. позитивний, якщо $d/p > 1$, V.I. негативний. Позитивні значення (або зростання V.I.) означають зсув вегетативного тону у бік симпатичного переважання, негативні (або зменшення V.I.) – в сторону парасимпатичного [3, 4].

Вегетативний індекс вираховується на основі окремо взятих показників, що інтегрують практично всі життєві функції організму, в тому числі кровообігу.

Треба вказати, що для дослідження вегетативних функцій розроблено багато методів, спрямованих на прояснення механізмів вегетативної регуляції різних життєвих процесів та фізіологічних параметрів, котрі піддаються впливу з боку нервової системи.

Визначення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вегетативна нервова система відіграє суттєву роль у процесах адаптації організму, внаслідок чого її функціональний стан є досить мінливим. Слід зазначити, що про особливості її функціонування можна скласти достовірну уяву тільки тоді, коли дослідження проводяться багаторазово, протягом тривалого часу з частими повторними спостереженнями. Для вирішення цих завдань необхідним є такий метод, який дозволяв би реєструвати навіть відносно малі зміни вегетативної активності за допомогою простого, швидкого підходу, не впливаючи при цьому будь-яким чином на саму діяльність організму. Розповсюджені методи дослідження для таких випадків не підходять, оскільки ці методи або самі впливають на вегетативний тонус, або складні для обстежуваних. Вивчення співвідношення ДТ та ЧСС, а отже індекс Кердо та вегетативний індекс, найбільше підходять для досягнення мети [5-8].

Метою дослідження було вивчення змін вегетативного індексу у спортсменів різного віку у відповідь на вестибулярне навантаження, створене різноспрямованими лінійними прискореннями.

Методи та об'єкт дослідження.

Дослідження проводилися на базі кафедри медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України. В дослідженнях прийняли участь 34 легкоатлети (стрибуни у довжину) чоловічої статі, що мали спортивні розряди від I дорослого до МСУ. Обстежувані були розподілені на 3 вікові групи (по 10 осіб у групі) згідно із загально прийнятими ВООЗ етапами онтогенезу людини: I – підлітки 14-16 років; II – юнаки 17-20 років; III – особи першого зрілого віку 22-27 років. Всі учасники досліджень були практично здоровими, віднесені до основної медичної групи згідно висновків експертів. Усі дослідники проводили у відповідності до Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і людської гідності в зв'язку з застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину (ETS № 164)» від 04.04.1997 р і Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008 г.). Кожна особа підписувала інформовану згоду на участь у обстеженні.

Обстеження проводилися протягом змагального періоду підготовки спортсменів. Під час дослідження спортсмени отримували навантаження методом створення вестибулярного навантаження різноспрямованими лінійними прискореннями. Заміри результатів дії вестибулярного навантаження на спортсменів проводилися двічі: до навантаження (у стані спокою), після завершення дії активного (під час виконання звичних тренувальних рухів) лінійного прискорення та після сумісної дії активного і пасивного вестибулярного навантаження (за допомогою платформи – спеціальна платформа, яка дозволяла піддавати учасників лінійним прискоренням і швидко змінювати напрямок руху [9]). Останнє виконувало роль короткочасного прекодиціонування міокарду [10].

Платформа рухалася протягом 20 секунд зі швидкістю 3 м за секунду, змінюючи напрям на протилежний кожні 2 секунди. Тривалість проведення проби була обрана не випадково, а з урахуванням тренувальних навантажень спортсменів.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням програмного забезпечення "Microsoft Excel 2003", а також «Origin 8.0». Розраховували середні значення показників (M) та похибку середнього (m), коефіцієнт кореляції Пірсона (r). Дані представлені як середнє

значення+похибка середнього ($M \pm m$), оскільки у відповідності до критерію Шапіро-Уїлка отримані результати вкладалися в нормальний закон розподілу [11]. Міжгрупові різниці оцінювали за критерієм t Стюдента. Результати вважалися статистично значимими при $P < 0,05$.

Статистична значимість коефіцієнта кореляції r за вибіркою з n елементів визначали шляхом порівняння емпіричного та критичного значень критерію Стюдента.

Критичне значення критерію Стюдента t^* визначали за допомогою MS Excel: функція СТЮДРАСПОБР (α ; df), де α – рівень значимості, df – число ступенів свободи ($df = n - 2$). Формула для визначення емпіричного значення критерію Стюдента t :

$$t^* = r \cdot \sqrt{\frac{(n - 2)}{(1 - r^2)}}$$

При $t > t^*$ r визнається статистично значимим. Отже, оцінювали силу зв'язку між показниками, вважаючи значення коефіцієнтів $\leq 0,3$, показниками слабого зв'язку, або його відсутності; значення $> 0,4$, проте $< 0,7$ – показниками помірного зв'язку, а значення $\geq 0,7$ – показниками високого ступеня зв'язку [11,12].

Результати дослідження та обговорення. Отримані нами результати з оцінки функції вегетативної нервової системи виявили наступне. Як вказувалося вище, зростання V.I. означає зсув вегетативного тону у бік симпатичного переважання, зменшення V.I. – в сторону парасимпатичного.

З отриманих результатів видно, що вплив різноспрямованих вестибулярних навантажень в активному та сумісному активному та пасивному режимах справляє на вегетативний тонус (а отже, на вегетативні функції) різний вплив, в залежності від віку спортсменів (Рис. 1).

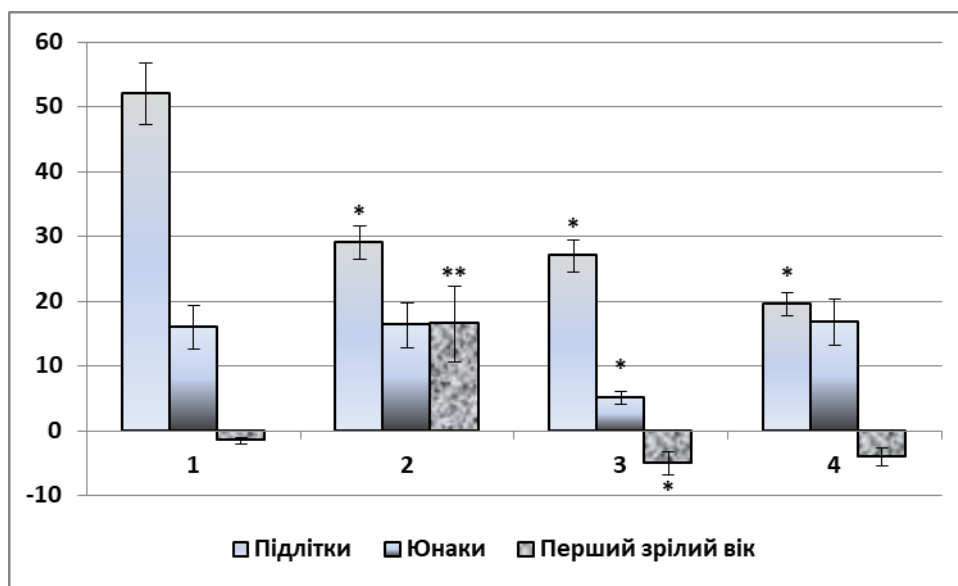


Рисунок 1 - Зміни «вегетативного індексу» при вестибулярних навантаженнях та у ближньому відновлювальному періоді. 1 – стан спокою, 2 – активне вестибулярне навантаження, 3 – додаткове пасивне вестибулярне навантаження, 4 – відновлення, * - $p < 0,05$ порівняно з контролем; ** - $p < 0,01$ порівняно з контролем.

Слід відмітити, що встановлено значні відмінності у вихідних показниках V.I. По мірі зростання віку спортсменів роль симпатичної складової вегетативної регуляції знижується, а у осіб першого зрілого віку провідну роль починає відігравати симпатична регуляція (V.I. у підлітків дорівнює 52,3 ум.од., у юнаків – 13,7 ум.од., у спортсменів першого зрілого віку – переходить до негативних величин і становить -1,6 ум.од.).

При активному різноспрямованому вестибулярному навантаженні, тобто практично в умовах традиційного тренування, відбувалися такі зміни V.I., котрі свідчили про перерозподіл

вегетативних впливів на організм, які також суттєво залежали від віку спортсменів. У підлітків величина V.I. майже вдвічі знижувалася (на 46,2%), у юнаків активне вестибулярне навантаження не супроводжувалося достовірними змінами V.I., у осіб першого зрілого віку при даному впливі спостерігалася переключення вегетативних впливів з переважно парасимпатичних на симпатичні (V.I. зростав практично у 10 разів). Така динаміка змін виявилася протилежною до існуючої вегетативної регуляції в стані спокою організму.

Поєднаний вплив активного і пасивного вестибулярних навантажень змінює V.I. також по-різному у відповідності до віку спортсменів. У підлітків не відбувалося достовірних змін V.I. відносно визначених при попередньому впливі. У юнаків V.I. достовірно (у 2,4 рази) знижувався відносно контрольних значень. У осіб першого зрілого віку V.I. знижувався до величин, навіть нижчих, ніж у стані спокою (у 2,8 рази).

У близькому відновлювальному періоді у юнаків та осіб першого зрілого віку величина V.I. поверталася до притаманних стану спокою. В молодшій віковій групі спортсменів V.I. достовірно не змінювався відносно визначеного при обох типах вестибулярних навантажень. Тобто у молодому віці пасивне вестибулярне навантаження проявляється найбільше, зберігається довше і створює умови для підвищення ефективності тренувального процесу за рахунок зростання парасимпатичної регуляції, на нашу думку, завдяки посиленню енергетичного метаболізму.

Якщо згадати, що індекс Кердо та, відповідно, «вегетативний індекс» визначаються та пов'язані з діяльністю серцево-судинної системи (ССС), має сенс оцінити, наскільки V.I. корелював з основними, дослідженими нами, показниками гемодинаміки і стану судинного русла, тобто з'ясувати наскільки вегетативна регуляція у різному віці справляє на них вплив як така та при вестибулярних навантаженнях, що може мати значення у плануванні та проведенні тренувального процесу спортсменів-легкоатлетів різного віку та ступеня тренуваності (Рис. 2а-в).

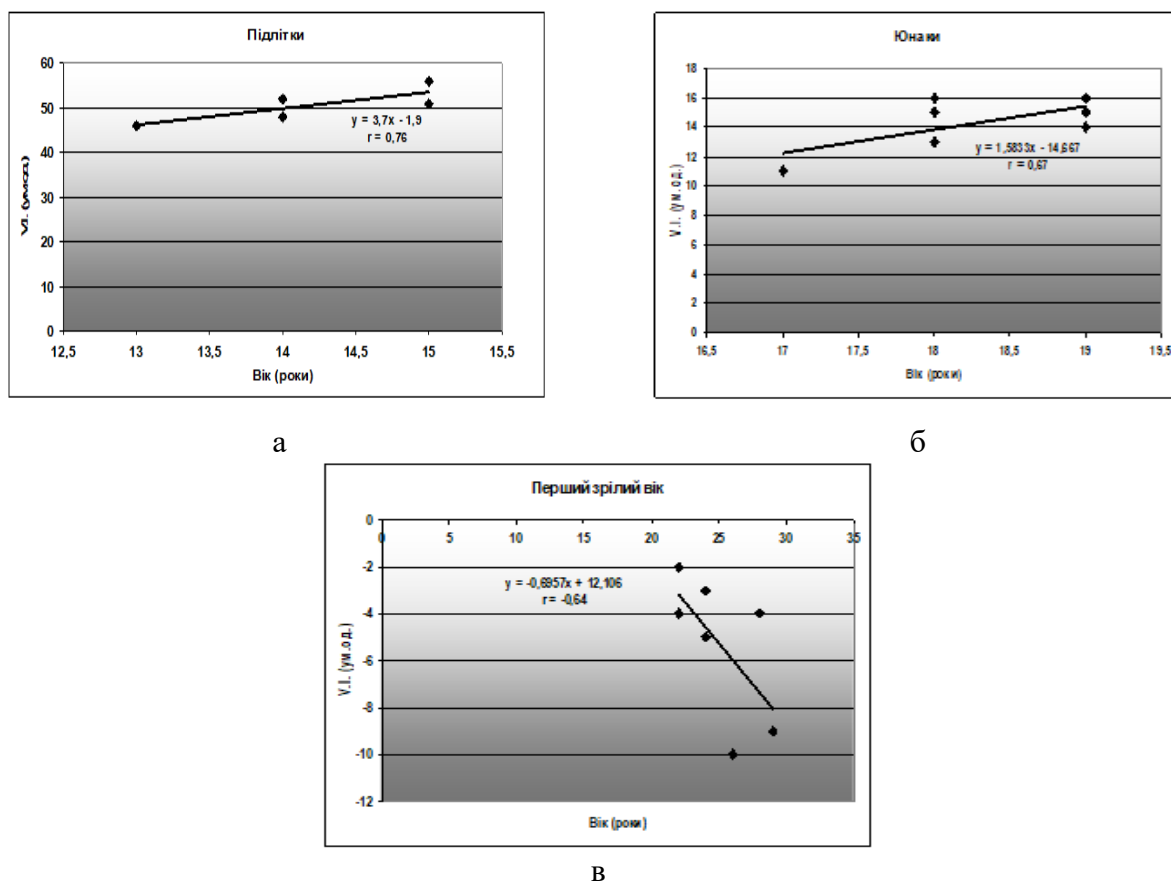


Рисунок 3.9. Зв'язок «вегетативного індексу» з віком спортсменів-легкоатлетів у стані спокою (r – коефіцієнт кореляції Пірсона).

Отримані результати вказують на високий ступінь зв'язку «вегетативного індексу» з віком спортсменів-легкоатлетів у стані спокою (для підлітків – $r = 0,76$; для юнаків – $r = 0,67$; для осіб першого зрілого віку – $r = -0,64$). Слід нагадати, що значення коефіцієнтів кореляції (r) $\leq 0,3$ є показниками слабого зв'язку, або його відсутності; значення $> 0,4$, проте $< 0,7$ – показниками помірного зв'язку, а значення $\geq 0,7$ – показниками високого ступеня зв'язку.

Згідно з отриманими нами даними, найбільш тісні кореляційні зв'язки V.I. з параметрами, що характеризують функцію ССС (наприклад, частота серцевих скорочень, артеріальні тиски, хвилинний об'єм крові, периферичний опір судин тощо) у стані спокою спостерігаються у підлітків, і кількість r , які вказують саме на тісний зв'язок (та суми коефіцієнтів, що відповідають тісному та середньому ступеню зв'язку), зменшується з віком. Така динаміка цілком зрозуміла, оскільки в молодшому віці, відповідно до формування гормонального дзеркала, гуморальна регуляція є недосконалою.

При активному вестибулярному навантаженні ступінь тісного зв'язку V.I. з параметрами функції ССС зростає у підлітків та юнаків, проте повністю зникає у старшій віковій групі. Проте, якщо поєднати коефіцієнти тісного та середнього ступеня зв'язку, то кількість вегетативних ефектів значно збільшувалася в усіх вікових групах.

При сумісному впливі активного та пасивного вестибулярного навантаження подібна динаміка кореляційних зв'язків зберігалася за винятком того, що потужність кореляції за показником тісного ступеня зв'язку у спортсменів першого зрілого віку суттєво зростала. Відновний період характеризувався тим, що підвищений рівень кореляційних зв'язків відносно вихідного стану спокою зберігався.

Можна проаналізувати отримані результати. Активізація симпатичної нервової системи вказує на високу активність в організмі процесів з витрачанням енергії – проявляється її ерготропна дія [13,14]. Симпатична регуляція призводить до загального підвищення активності організму і сприяє формуванню стану готовності до активних дій, у тому числі й до активної м'язової роботи [15]. Така вікова динаміка зміни V.I. цілком зрозуміла, оскільки у організмі, що розвивається, перебіг енергоємних процесів є більш інтенсивним і необхідним для формування адаптивних реакцій будь-якої спрямованості [16,17]. Парасимпатична регуляція в основному забезпечує зниження енергетичного обміну, відновлення «запасів енергії», гальмування, сповільнення і нормалізацію функціонування систем організму [18,19]. Цілком зрозуміло, що з віком функції саме цієї ланки регуляції набувають більшого значення.

Ряд дослідників вважає [20,21], що V.I. > 10 відповідає нормальному стану адаптації, V.I. від 0 до 9 – відповідає напруженню адаптації, V.I. < 0 є свідченням дезадаптації. Можна припустити, що від'ємні значення V.I. у високотренованих спортсменів вказують на певну виснаженість адаптації ССС і необхідність підвищення потужності адаптивних процесів.

Поряд з цим існує і протилежна думка [22-24], згідно з якою зростання «вегетативного індексу» Кердо вказує на ослаблення резервних функцій регулювання кровообігу, а це веде до зниження аеробних можливостей організму, а його додатне значення означає - посилення симпатичного тону. Від'ємне значення ІК вказує на перевагу у досліджуваних групах парасимпатичних впливів. Достовірне його зростання у негативну сторону свідчить про посилення резервів функції регулювання кровообігу і веде до зростання аеробних можливостей організму. Ми схильні підтримувати останню думку, оскільки отримані свідчать про адекватний механізм пристосування організму до навантаження і у осіб першого зрілого віку.

Вплив вестибулярних навантажень в активному та сумісному активному та пасивному режимах справляє на вегетативний тонус (а отже, на вегетативні функції) різний вплив, залежний від віку спортсменів. Можна вважати, що у високотренованого організму при звичному тренувальному процесі (а отже, звичному для спортсменів-легкоатлетів, стрибунів у довжину, вестибулярному навантаженні) відбувається нагальне включення сформованих

адаптивних механізмів, спрямованих на підвищення активності організму і мобілізації стану готовності до активних дій, у тому числі й до м'язової роботи [25-27].

У молодому віці пасивне вестибулярне навантаження справляє найвиразніший вплив, зберігається довше і створює умови для підвищення ефективності тренувального процесу за рахунок зростання парасимпатичної регуляції, на нашу думку, спрямованої, у першу чергу, на посилення енергетичного метаболізму. Подібні зміни можна розглядати у наступному сенсі. Для підлітків вестибулярні навантаження є адекватним та ефективним подразником, спрямованим на посилення та оптимізацію енергетичного метаболізму, необхідного на виконання м'язової роботи та підвищення працездатності. У юнаків додаткове пасивне вестибулярне навантаження і у даному випадку відіграло роль прекодируючого фактору, додаючи до існуючої тренуваності фактори необхідності та можливості посилення енергетичного метаболізму (що може сприяти зростанню працездатності організму при м'язовій діяльності) і, можливо, зменшення збудливості та перенапруження нервової системи в тренувальному періоді. У осіб найстаршої вікової групи спрямованість зміни V.I. є аналогічною, тільки зменшення індексу було значно більшим. Отже, для високотренованих спортсменів, для яких різноспрямовані вестибулярні навантаження є частиною тренувального процесу, додаткове пасивне навантаження також має ознаки тренувального ефекту, здатного повернути вегетативні впливи до переважання парасимпатичної регуляції.

При сумісному аналізі отриманих нами та наявних в літературі [28,29] даних можна з фізіологічної точки зору пояснити механізм та причини змін V.I., розглядаючи його з точки зору енергетичних процесів в організмі, що є важливим при фізичному навантаженні в плануванні тренувального процесу. З огляду на такий підхід, симпатикотонія може розглядатися як ерготропія – спосіб роботи організму, спрямований на затрати енергії, на збільшення обміну, а парасимпатикотонія – як трофотрофія, тобто накопичення енергії, активність, спрямована на зменшення окислювальних процесів.

ЧСС та ДТ змінюються не завжди одночасно. В ході формування адаптивних реакцій факторів циркуляції у відповідності до збільшенням чи зменшенням ХОК можливість адаптації полягає у тому, що спочатку змінюється лише ЧСС. Далі ЧСС досить тривалий час залишається незмінною, проте в цей період ДТ вже починає змінюватися. Далі обидва показники будуть змінюватися одночасно у відповідний бік. Проте V.I., котрий розраховується на їх основі, виявляє помітні і постійні зміни. Зростання ХОК не завжди викликається підвищенням ЧСС (це менш економічний тип змін). У цьому випадку зростає УО (при цьому ЧСС може навіть дещо знизитися, просто зросте пульсова амплітуда). Виключаючи екстремальні випадки, приріст пульсової амплітуди обумовлюється у першу чергу зниженням ДТ, і меншою мірою зростанням систолічного тиску. Оскільки ДТ є головним фактором V.I., то він буде відображати виражені відхилення у вигляді приросту ХОК.

Подібний аналіз та висунуті припущення свідчать про те, що V.I. є достатньо достовірним показником стану вегетативної регуляції геодинаміки, і оскільки він є доступним і достатньо простим для визначення, може застосовуватися при плануванні тренувального процесу.

Висновки.

В ході дослідження виявлено значні відмінності у вихідних показниках вегетативного індексу – по мірі зростання віку спортсменів роль симпатичної складової вегетативної регуляції знижується, а у осіб першого зрілого віку провідну роль починає відігравати симпатична регуляція (вегетативний індекс у підлітків дорівнює 52,3 ум.од., у юнаків – 13,7 ум.од., у спортсменів першого зрілого віку – переходить до негативних величин і становить -1,6 ум.од.).

Доведено, що під впливом активного вестибулярного навантаження у підлітків величина вегетативного індексу майже вдвічі знижувалася (на 46,2%), у юнаків – не супроводжувалося достовірними змінами вегетативного індексу, у осіб першого зрілого віку спостерігалось переключення вегетативних впливів з переважно парасимпатичних на

симпатичні (вегетативний індекс зростає практично у 10 разів). Така динаміка змін протилежна до існуючої вегетативної регуляції в стані спокою організму.

Проведений аналіз та висунуті припущення свідчать про те, що V.I. є достатньо достовірним показником стану вегетативної регуляції геодинаміки, і оскільки він є доступним і достатньо простим для визначення, може застосовуватися при плануванні тренувального процесу.

Перспективи подальших розвідок. Подальше вивчення особливостей показників вегетативної регуляції спортсменів різних видів спорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fisher T.A, Kolyvanova S.S, Pushnikov A.A. The dynamics of hemodynamic, psychophysiological parameters and adaptive potential of men of working age engaged in water-cold hardening. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult.* 2020. V. 97(6). P. 40-49. doi: 10.17116/kurort20209706140
2. Пастухова В. А., Ширай Т. В. Вплив вестибулярно-сенсорного навантаження на вегетативні реакції // *Вісник проблем біології та медицини.* 2024. Вип.4(175). С. 91-102. doi: 10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102
3. A crosscorrelation analysis of fluctuations in heart rate and breathing when diagnosing the autonomic disorders in patients with hypotonic type of functional dysphonia / Jurkov A.Y., Bahilin V.M., Shustova T.I., Alekseeva N.S. // *Zh Nevrol Psikhiatr.* 2020. 120(5). P. 60-66. doi: 10.17116/jnevro202012005160
4. Molina GE, Fontana KE, Porto LG, Junqueira LF. Post-exercise heart-rate recovery correlates to resting heart-rate variability in healthy men // *Clin Auton Res.* 2016. V.26 (6). P. 415-421.
5. Марценюк В.П., Вакулєнко Д.В., Вакулєнко Л.О. Інформативне значення індексу Кердо для визначення рівня порушень вегетативної регуляції при остеохондрозі шийного відділу хребта // *Медична інформатика та інженерія.* 2013. №1. С. 42-47.
6. Clinical efficacy of vibration stimulation therapy to relieve acute exercise fatigue / Xie J et al. // *Technol Health Care.* 2023. V.31(1). P. 235-246. doi: 10.3233/THC-236020
7. Heart Rate Variability Measurement through a Smart Wearable Device: Another Breakthrough for Personal Health Monitoring? / Li K et al. // *Int J. Environ Res Public Health.* 2023. V. 20(24). P. 7146. doi: 10.3390/ijerph20247146
8. Frohlich J., Toker D., Monti M.M. Consciousness among delta waves: a paradox? // *Brain.* 2021. V.144 (8). P. 2257-2277. doi: 10.1093/brain/awab095
9. Андреюк Н. Метод створення вестибулярного навантаження та його вплив на серцево-судинну систему фехтувальників // *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки.* 2018. №4. С. 133-139.
10. Мохорт М.А., Кутувий Ю.М. Препаративне лікування міокарда (огляд літератури) // *Журн. НАМН України.* 2014. Вип. 20(2). С. 160-171.
11. Осипов В.П., Лукьянова Е.М., Антипкин Ю.Г. Методика статистической обработки медицинской информации в научных исследованиях. К.: Планета людей, 2002. 200 с.
12. Хоперія В.Г., Харченко О.І., Синельник Т.Б. Клінічна лабораторна діагностика. Клінічна біохімія. К. : ВПЦ "Київський університет", 2022. 600 с.
13. Полстяной А.О., Федорченко М.О., Романюк М.Г. Сучасний науковий погляд на склад симпатичної та парасимпатичної частини вегетативної нервової системи: літературний огляд // *Молодий вчений.* 2017. №11. С. 96-99.
14. Espinosa-Medina I., Saha O., Boismoreau F. The sacral autonomic outflow is sympathetic // *Science.* 2016. V. 354(6314). P. 893-897.
15. Sympathetic regulation of coronary circulation during handgrip exercise and isolated muscle metaboreflex activation in men / Prodel E. et.al. // *Exp Physiol.* 2021. V.106 (12). P. 2400-2411. doi: 10.1113/EP089954
16. Age-dependent energy metabolism and transcriptome changes in urine-derived stem cells / Ferreira E. et al. // *Mech Ageing Dev.* 2024. №218. P. 111912. doi: 10.1016/j.mad.2024.111912
17. Ritterhoff J., Tian R. Metabolic mechanisms in physiological and pathological cardiac hypertrophy: new paradigms and challenges // *Nat Rev Cardiol.* 2023. V.20(12). P. 812-829. doi: 10.1038/s41569-023-00887-x
18. Шевчук Т.Я, Романюк А.П. Особливості вегетативної регуляції серця в спортсменів ігрових видів спорту та легкоатлетів // *Вісник Харківського нац. ун-ту імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія.* 2016. Вип. 26. С. 187-193.
19. Da Silva V.P., de Oliveira N.A., Silveira H. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review // *Annals of Noninvasive Electrocardiology.* 2015. V.20 (2). P. 108-118.
20. Experience in application of the complex organism assessment in children with chronic gastroduodenal pathology / Smiyani O.I. et al. // *EUMJ.* 2020. №8. С. 52-71.
21. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise / Laveneziana P. et al. // *Eur Respir J.* 2019. V.53(6). P. 1801214. doi: 10.1183/13993003.01214-2018
22. Воропаєв Д.С., Єжова О.О. Основи фізичної реабілітації (загальна характеристика засобів фізичної реабілітації). Суми, 2019. 72 с.

23. Lambiase M.J., Dom J., Roemmich J.M. Systolic Blood Pressure Reactivity During Submaximal Exercise and Acute Psychological Stress in Youth // *Am J Hyper-tens.* 2013. V.26 (3). P. 409-415.
24. Standardized Outcomes Measures in Physical Therapy Practice for Treatment and Rehabilitation of Cerebral PALSY: A Systematic Review. / Apolo-Arenas M.D. et al. // *J Pers Med.* 2021. V.11(7). P. 604. doi: 10.3390/jpm11070604
25. Chen C., Nakagawa S. Physical activity for cognitive health promotion: An overview of the underlying neurobiological mechanisms // *Ageing Res Rev.* 2023. №86. P. 101868. doi: 10.1016/j.arr.2023.101868
26. Heat exposure intervention, anxiety level, and multi-omic profiles: A randomized crossover study / Fang W. et al. // *Environ Int.* 2023. 181. P. 108247. doi: 10.1016/j.envint.2023.108247
27. Skeletal muscle fitness and physiology as determinants of firefighter performance and safety: a narrative review / Gordon R.A. et al. // *Ergonomics.* 2024. V.67(12). P. 1782-1792. doi: 10.1080/00140139.2024.2352719
28. Коровіна Л.Д., Запорожець Т.М., Козакевич В.К. Вплив екзогенних чинників на соматичне здоров'я та автономну нервову регуляцію у дітей та молоді. Полтава: «Інфо-освіта», 2019. 188 с.
29. Effectiveness of spinal manipulation in influencing the autonomic nervous system - a systematic review and meta-analysis / Kovanur S.K. et al. // *J Man Manip Ther.* 2024. V.32 (1). P. 10-27. doi: 10.1080/10669817.2023.2285196

REFERENCES

1. Fisher T.A, Kolyvanova S.S, Pushnikov A.A. The dynamics of hemodynamic, psychophysiological parameters and adaptive potential of men of working age engaged in water-cold hardening. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult.* 2020. V. 97(6). P. 40-49. doi: 10.17116/kurort20209706140
2. Pastukhova V. A., Shirai T. V. The influence of vestibular-sensory load on autonomic reactions // *Visnyk problem biolohiyi ta medytsyny. [Bulletin of Problems of Biology and Medicine].* 2024. V.4(175). P. 91-102. doi: 10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102 (in Ukr)
3. A crosscorrelation analysis of fluctuations in heart rate and breathing when diagnosing the autonomic disorders in patients with hypotonic type of functional dysphonia / Jurkov A.Y., Bahilin V.M., Shustova T.I., Alekseeva N.S. // *Zh Nevrol Psikhiatr.* 2020. 120(5). C. 60-66. doi: 10.17116/jnevro202012005160
4. Molina GE, Fontana KE, Porto LG, Junqueira LF. Post-exercise heart-rate recovery correlates to resting heart-rate variability in healthy men // *Clin Auton Res.* 2016. V.26 (6). P. 415-421.
5. Martsenyuk V.P., Vakulenko D.V., Vakulenko L.O. Informative value of the Kerdo index for determining the level of disorders of autonomic regulation in osteochondrosis of the cervical spine // *Medychna informatyka ta inzheneriya. [Medical Informatics and Engineering].* 2013. №1. P. 42-47. (in Ukr)
6. Clinical efficacy of vibration stimulation therapy to relieve acute exercise fatigue / Xie J et al. // *Technol Health Care.* 2023. V.31(1). C. 235-246. doi: 10.3233/THC-236020
7. Heart Rate Variability Measurement through a Smart Wearable Device: Another Breakthrough for Personal Health Monitoring? / Li K et al. // *Int J. Environ Res Public Health.* 2023. V. 20(24). P. 7146. doi: 10.3390/ijerph20247146
8. Frohlich J., Toker D., Monti M.M. Consciousness among delta waves: a paradox? // *Brain.* 2021. V.144 (8). C. 2257-2277. doi: 10.1093/brain/awab095
9. Andreyuk N. Method of creating vestibular load and its effect on the cardiovascular system of fencers // *Naukovyy visnyk Skhidnoyeuropeys'koho natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrayinky [Scientific Bulletin of the Lesya Ukrainka Eastern European National University].* 2018. №4. P. 133-139. (in Ukr)
10. Mohort M.A., Kutovyi Y.M. Myocardial preconditioning (literature review) // *Zhurnal NAMN Ukrayiny [Journal of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine].* 2014. V. 20(2). P. 160-171. (in Ukr)
11. Osypov V.P., Lukyanova E.M., Antipkin Y.G. Methods of statistical processing of medical information in scientific research. K.: Planet of people, 2002. 200 c. (in Ukr)
12. Khoperiya V.G., Kharcheko O.I., Synelnyk T.B. Clinical laboratory diagnostics. Clinical biochemistry. Kyiv: Kyiv University., 2022. 600 p. (in Ukr)
13. Polstyanoi A.O., Fedorchenko M.O., Romanyuk M.G. Modern scientific view on the composition of the sympathetic and parasympathetic parts of the autonomic nervous system: a literature review // *Molodyy vchenyy [Young Scientist].* 2017. №11. P. 96-99. (in Ukr)
14. Espinosa-Medina I., Saha O., Boismoreau F. The sacral autonomic outflow is sympathetic // *Science.* 2016. V. 354(6314). C. 893-897.
15. Sympathetic regulation of coronary circulation during handgrip exercise and isolated muscle metaboreflex activation in men / Prodel E. et.al. // *Exp Physiol.* 2021. V.106 (12). C. 2400-2411. doi: 10.1113/EP089954
16. Age-dependent energy metabolism and transcriptome changes in urine-derived stem cells / Ferreira E. et al. // *Mech Ageing Dev.* 2024. №218. C. 111912. doi: 10.1016/j.mad.2024.111912
17. Ritterhoff J., Tian R. Metabolic mechanisms in physiological and pathological cardiac hypertrophy: new paradigms and challenges // *Nat Rev Cardiol.* 2023. V.20(12). C. 812-829. doi: 10.1038/s41569-023-00887-x
18. Shevchuk T.Ya., Romanyuk A.P. Peculiarities of autonomic regulation of the heart in athletes of sports and track and field athletes // *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho univesytetu imeni V.N. Karazina [Bulletin of the V.N. Karazin Kharkiv National University].* 2016. V. 26. P. 187-193. (in Ukr)

19. Da Silva V.P., de Oliveira N.A., Silveira H. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2015. V.20 (2). C. 108-118.
20. Experience in application of the complex organism assessment in children with chronic gastroduodenal pathology / Smiyan O.I. et al. // *EUMJ*, 2020. №8. C. 52-71.
21. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise / Laveneziana P. et al. // *Eur Respir J*. 2019. V.53(6). C. 1801214. doi: 10.1183/13993003.01214-2018
22. Voropayev D.S., Yezhova O.O. Fundamentals of physical rehabilitation (general characteristics of physical rehabilitation tools). Sumy, 2019. 72 p. (in Ukr)
23. Lambiase M.J., Dom J., Roemmich J.M. Systolic Blood Pressure Reactivity During Submaximal Exercise and Acute Psychological Stress in Youth // *Am J Hyper-tens*. 2013. V.26 (3). C. 409-415.
24. Standardized Outcomes Measures in Physical Therapy Practice for Treatment and Rehabilitation of Cerebral PALSY: A Systematic Review. / Apolo-Arenas M.D. et al. // *J Pers Med*. 2021. V.11(7). C. 604. doi: 10.3390/jpm11070604
25. Chen C., Nakagawa S. Physical activity for cognitive health promotion: An overview of the underlying neurobiological mechanisms // *Ageing Res Rev*. 2023. №86. C. 101868. doi: 10.1016/j.arr.2023.101868
26. Heat exposure intervention, anxiety level, and multi-omic profiles: A randomized crossover study / Fang W. et al. // *Environ Int*. 2023. 181. C. 108247. doi: 10.1016/j.envint.2023.108247
27. Skeletal muscle fitness and physiology as determinants of firefighter performance and safety: a narrative review / Gordon R.A. et al. // *Ergonomics*. 2024. V.67(12). C. 1782-1792. doi: 10.1080/00140139.2024.2352719
28. Korovina L.D., Zaporozhets T.M., Kozakevich V.K. The influence of exogenous factors on somatic health and autonomic nervous regulation in children and youth. Poltava: "Info-Education", 2019. 188 p. (in Ukr)
29. Effectiveness of spinal manipulation in influencing the autonomic nervous system - a systematic review and meta-analysis / Kovanur S.K. et al. // *J Man Manip Ther*. 2024. V.32 (1). C. 10-27. doi: 10.1080/10669817.2023.2285196

Pastukhova V.A., Shiray T.V.

Dynamics of changes in the vegetative index in athletes during vestibular load

Summary. The autonomic nervous system plays a significant role in the body's adaptation processes. To assess its function, in particular, athletes often use the Kerdo index, which is calculated on the basis of separately taken indicators that integrate almost all vital functions of the organism. To solve this problem, such a method is necessary, which would allow registering even relatively small changes in vegetative activity with the help of a simple, quick approach, without affecting in any way the activity of the organism itself. The Kerdo index and the vegetative index are most suitable for achieving this purpose. Therefore, the purpose of this study was to study the changes in the autonomic index in athletes of different ages in response to the vestibular load created by multidirectional linear accelerations.

The conducted studies revealed significant differences in the initial indicators of the autonomic index – as the age of athletes increases, the role of the sympathetic component of autonomic regulation decreases, and in people of the first mature age, sympathetic regulation begins to play a leading role (the vegetative index in teenagers is equal to 52.3 um.units, in young men – 13.7 um.units, in athletes of the first mature age – it turns to negative values and is –1.6 um.units). It was proved that under the influence of active vestibular load, the value of the autonomic index in adolescents almost halved (by 46.2%), in young men it was not accompanied by reliable changes in the autonomic index, in persons of the first mature age there was a switching of autonomic influences from mainly parasympathetic to sympathetic (autonomic the index grew almost 10 times). Such dynamics of changes are opposite to the existing vegetative regulation in a state of rest of the organism. The conducted analysis and proposed assumptions indicate that the autonomic index is a reliable indicator of the state of autonomic regulation of hemodynamics, is available and simple enough to determine, and can be used in planning the training process.

Key words: Kerdo index; autonomic index; vestibular load; autonomic regulation; hemodynamics; athletes.

Надійшла до редакції / Received: 22.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 612.82/83

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-64-75

Ольга Ігорівна Подковка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

ol.podkovka@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-3606-5098>

Микола Юхимович Макарчук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Навчально науковий центр «Інститут біології та медицини»

makarchuk_mykola@knu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0982-3463>

Наталія Борисівна Філімонова

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

filimonova@knu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-3003>

Ігор Володимирович Пампуха

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

pamp@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4807-3984>

Микола Миколайович Нікіфоров

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

nik.nikif@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2849-5688>

Віталій Миколайович Лоза

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

lozich@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3614>

Катерина Олексіївна Кравченко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

kravchenkoea250388@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8140-1759>

ОСОБЛИВОСТІ ВІКОВИХ ЗМІН ОРГАНІЗАЦІЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

Мета. У статті представлено результати когерентного аналізу електроенцефалограми представників різних військових професій, яких було розділено на три вікові групи (I група – 18-23 роки, $n=16$; II група – 24-34 роки, $n=19$; III група – 35-54 роки, $n=12$), під час проходження тестів на визначення працездатності головного мозку.

Результати. Найменшу кількість помилок було виявлено у учасників II групи. Цей результат було досягнуто за рахунок оптимальної нейромережі та вищої зв'язаності мозку у θ - та α -діапазонах, і нейромережі у $\beta 2$ -діапазоні, яка окрім центральних та тім'яних ділянок (як в I і III групах) в більшій мірі залучала зорові ділянки (когерентні зв'язки O1 – Pz та O2 – P4).

Найбільш сформована та розгалужена мережа в δ -, θ - та α -діапазонах була у представників III групи, що може бути пов'язано з необхідністю залучення ділянок пов'язаних з контролем моторики та увагою задля функціональної компенсації зниженням когнітивних функцій і швидкості моторного планування та підтримання належної продуктивності виконання завдання з віком. **Висновки.** Результати даної роботи можуть бути використані для розроблення процедур контролю профпридатності з віком та ефективного профвідбору.

Ключові слова: працездатність головного мозку, електроенцефалограма, когерентність, профвідбір.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. Будь-який вид діяльності вимагає високих швидкісних показників, що відображаються в реакції, швидкості мислення тощо. Працездатність головного мозку (ПГМ) характеризує здатність безпомилково виконувати роботу впродовж тривалого часу, здатність до кропіткої, можливо, одноманітної роботи, посидючисть. ПГМ за А.Є. Хільченко визначається за показниками кількості помилок шляхом реєстрації реакцій обстежуваного на пред'явлення умовних подразників у швидкому темпі протягом декількох хвилин [1]. За І.П. Павловим ПГМ є критерієм сили нервової системи, який виражається у здатності витримувати довготривале та концентроване збудження, або дію сильного подразника, не переходячи в стан запорогового гальмування [2]. Добре відомо, що старіння впливає на когнітивні функції, що відображається на часу реакції та кількості помилок. За допомогою електроенцефалографічних (ЕЕГ) досліджень було показано, що старіння супроводжується зменшенням зв'язаності головного мозку, знижується активність в α - та β -діапазонах при закритих та відкритих очах, топологія мереж стає більш стохастичною [3]. Marciani зі співавт. [4] у своїх дослідженнях показали, що під час виконання ментальних завдань у старшій віковій групі порівняно з молодшою повільно-хвильова активність була дещо знижена, або не змінювалась суттєво, тоді як α -активність прогресивно знижувалася, демонструючи негативну кореляцію з віком у старшій групі. Активність у β 2-діапазоні, навпаки, значно збільшувався у літніх осіб, але така зміна менше корелювала з віком.

Мета дослідження. Ми припустили, що тест на визначення ПГМ та особливості ЕЕГ когерентностей під час його виконання можуть бути корисними інструментами для виявлення вікових змін у діяльності мозку. Тому метою нашої роботи було дослідження вікових відмінностей у функціонуванні нейромереж мозку під час виконання тесту на визначення ПГМ у представників різних військових професій для подальшого введення процедур контролю профпридатності з віком та ефективного провідбору.

Матеріали та методи дослідження. В обстеженні взяло участь 47 добровольців (з них 9 жінок), віком 18-54 роки, без скарг на здоров'я – представники різних військових професій (механіки, стрільці, водії, оператори радіолокаційної станції, службовці зенітно-ракетних військ, зв'язківці, планшетисти, льотчики та призовники військкомату), яких було розділено на три вікові групи (I група – 18-23 роки, $n=16$ (з них 3 жінки); II група – 24-34 роки, $n=19$ (з них 3 жінки); III група – 35-54 роки, $n=12$ (з них 3 жінки)).

"Тест на визначення працездатності головного мозку" (ПГМ) було здійснено за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми [1]. Обстежуваному пред'являлись у випадковій послідовності 3 види зображень – коло, квадрат та трикутник. При появі квадрата на екрані потрібно якомога швидше натиснути клавішу "l", трикутника – "z" у латинському регістрі, кола – нічого не натискати. але у темпі, який був індивідуально зафіксований на основі "Тесту на визначення функціональної рухливості нервових процесів" (ФРНП), який обстежувані проходили безпосередньо перед тестом «ПГМ». При цьому реєструвалась тільки кількість помилок. Показник ПГМ обчислювався як відносна кількість помилок для 1-200 стимулів. Критичним рівнем значущості при тестуванні статистичних гіпотез вважали 0,05.

Статистичний аналіз був здійснений за допомогою пакету програм Statistica 8.0 («StatSoft», USA). Оскільки розподіл ПГМ за критерієм Шапіро-Вілка відрізнявся від

нормального ($p < 0,05$), то для оцінки центральної тенденції використовували медіану (Me), а розкиду – міжквартильний розмах [25%; 75%]. Подальший аналіз впливу фактору віку та попарних відмінностей був здійснений за допомогою критерія Крускала-Волліса та Манна-Вітні.

Для реєстрації та аналізу ЕЕГ був використаний комплекс Нейрон-Спектр-4/VP («NeuroSoft»). Запис проводився у звукоізолюванні кімнаті, монополярно, з частотою квантування 500 Гц, референтні електроди були розташовані на мочках вух. У дослідженні були використані мостикові посріблені електроди, які накладали відповідно до міжнародної системи 10-20, формуючи 19 відведень: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, Pz, O1, O2. За допомогою програми Нейрон-Спектр у кожному відведенні для діапазонів частот ЕЕГ: δ (0,5-3,9 Гц), θ (4,0-7,9 Гц), α (8,0-13,9 Гц), β_1 (14,0-19,9 Гц) і β_2 (20,0-35,0 Гц), були розраховані когерентності для кожної пари електродів.

Дистантну синхронізацію зон мозку при виконанні тестових завдань визначали за допомогою когерентного аналізу. Середнє значення функції когерентності залежить від наявності шуму в сигналах. Так, якщо він становить більше як 30-40%, стає проблематичним виділення сигналу на фоні шуму і, як наслідок, твердження про високу синхронізацію в різних відведеннях. Крім того, для кожної гармоніки на межі двох сусідніх епох, що аналізуються, внаслідок ефекту витікання спектру виникають додаткові бічні піки, які можуть становити більше 40% амплітуди центрального піку. Ефект впливає на значення фазової когерентності, а отже, і на значення когерентності. Тим самим коефіцієнт когерентності дає завищену оцінку щодо ступеня синхронізації процесів, тому достовірною когерентність можна вважати тільки якщо вона $\geq 0,7$ [5]. Саме тому в ПГМ визначалася достовірна синхронізація тільки для тих пар відведень, для яких медіана $\geq 0,7$.

Результати та їх обговорення. Аналіз впливу фактору віку на здійснення ПГМ у трьох групах за критерієм Крускала-Волліса виявив значущі відмінності (Kruskal-Wallis test: $H(2, N=49) = 6,952$; $p=0,0309$). Аналіз попарних відмінностей за критерієм Манна-Уїтні виявив, що відносна кількість помилок була значуще меншою у II групі, ніж у I ($p<0,01$) (Рис.1) та не відрізнялася для I і III та II і III груп ($p=0,39$ та $p=0,52$ відповідно). Цікаво, що найменшу кількість помилок у тесті на ПГМ допускала саме II група, а розкид значень по цьому показнику був найбільший у III групі (Рис 1).

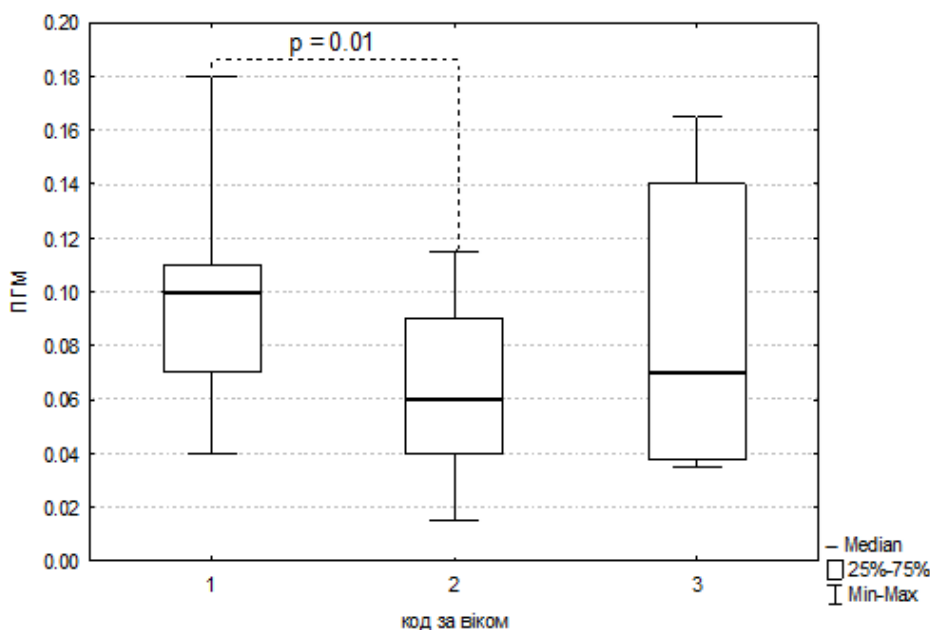


Рис. 1. Відносна кількість помилок при здійсненні тесту на визначення працездатності головного мозку в трьох вікових групах: I група – 18-23 роки ($n=16$); II група – 24-34 років ($n=19$) та III група – 35-54 роки ($n=12$).

У І групі кількість помилок при проходженні тесту на ПГМ була найбільшою (Рис.1). Отримані результати можуть бути пов'язані з тим, що військовослужбовці II та III вікових груп пройшли природний відбір впродовж служби, а ті з них, хто мав недостатні рівні ПГМ при цьому відсіялись. Також наше попереднє дослідження виявило, що представники I групи мають найнижчий рівень функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП) порівняно з II та III групами, тоді як у III групі - найвищий [6]. Це вказує на те, що значення ПГМ, як і ФРНП є показником, який в більшій мірі залежить від індивідуальних особливостей ЦНС, ніж від віку. Дані тестів на ФРНП та ПГМ у II і III групах підтверджують, що чим вище ФРНП, тим нижче ПГМ, оскільки вимагає посидючості та здатності тривало концентруватись на монотонній роботі. В той час як ФРНП – навпаки, вказує на здатність швидко переключатись між різними стимулами, між збудженням і гальмуванням [6]. Крім того, в попередніх дослідженнях ми встановили, ці показники мають коефіцієнт кореляції Спірмена $r_s = -0,2$ ($p=0,00001$; $N=732$). Також у попередній роботі ми показали, що індекс напруги (ІН) регуляторних систем організму при виконанні тесту на визначення ПГМ не відрізнявся у трьох групах, а під час проходження тесту на ФРНП мав значуще вищий рівень для III групи в порівнянні з I ($p<0,01$) [7], тому можна припустити, що представники III групи вичерпали свої ресурси при виконанні тесту на ФРНП, що призвело до гіршої ПГМ.

Хоча нейронні схеми у деяких регіонах мозку, які пов'язані із переробкою зорово-моторної інформації у різних людей однакові, патерни зв'язків з іншими областями мозку, наприклад, з лобною корою, можуть варіюватись [8]. Тому так важливо дослідити характер формування нейромереж у осіб з відмінною ПГМ.

Для дослідження вікових відмінностей у формуванні нейромереж головного мозку у діапазоні кожної з частот був здійснений аналіз когерентностей між всіма відведеннями ЕЕГ у трьох групах. Оскільки показник ПГМ був найкращим у представників II групи, варто звернути особливу увагу на відмінності у формуванні їхніх нейромереж під час виконання завдання для виявлення ознак, які в подальшому можуть бути використані в якості прогностичних маркерів у процесі профвідбору та моніторингу вікових змін для визначення профпридатності військових.

Когерентний аналіз ЕЕГ показав, що у всіх трьох групах була спеціалізована лівопівкульна нейромережа, сформована здебільшого у діапазонах θ - та α -частот (Рис.2). У I та III групах вона виявилась надлишковою, до того ж, у I групі мала не достатню зв'язаність, і лише в II групі була оптимальною для досягнення найменшої кількості помилок. Зокрема, ізольовані фронтальні зв'язки правої півкулі ($F4 - Fp2$ та $F4 - F8$) в I групі у θ - і α -діапазонах свідчать про надлишкову обробку зображень, на що витрачався додатковий час при виконанні тестів на визначення ПГМ. У II групі зображення виявляються здебільшого на вербальному рівні (відведення $T3 - C3$, $T4 - C4$).

Серед когерентних зв'язків із достовірною синхронізацією у δ -діапазоні вплив віку був виявлений для пар відведень $O2 - P4$ ($H(2, N=30)=7,356$, $p=0,0253$) та $O2 - T6$ ($H(2, N=30)=7,364$, $p=0,0252$), що були наявні лише у представників III групи (Рис.2). Хоча для когерентності між парю відведень $O1 - P3$ впливу віку виявлено не було, вона існувала лише в III групі та вірогідно відрізнялась від I групи ($p=0,0307$). Когерентні зв'язки між відведеннями $T6 - Cz$, $T6 - C4$ та $T6 - P4$ також були наявні лише в III групі та достовірно відрізнялися від II групи ($p=0,0537$, $p=0,0201$ та $p=0,0141$ відповідно).

Коливання δ -діапазону (1–4 Гц), частіше за все пов'язують зі станами глибокого сну та порушенням функції нейронів [9]. Останні висновки сприяють переконанню, що низькочастотні коливання можуть справді заважати активній обробці. У відповідності з цією точкою зору, Фріс і його колеги показали, що поряд із посиленням γ -синхронізації уваги спостерігається очевидне зниження низькочастотної (δ і θ) активності. Проте інші вчені повідомляють, що низькочастотна осциляційна синхронія може бути посилена увагою [9]. У будь-якому випадку, останні відкриття показують, що коливання δ -діапазону можуть функціонувати як інструмент вибіркової уваги [9]. Коливання у δ -діапазоні відповідає за

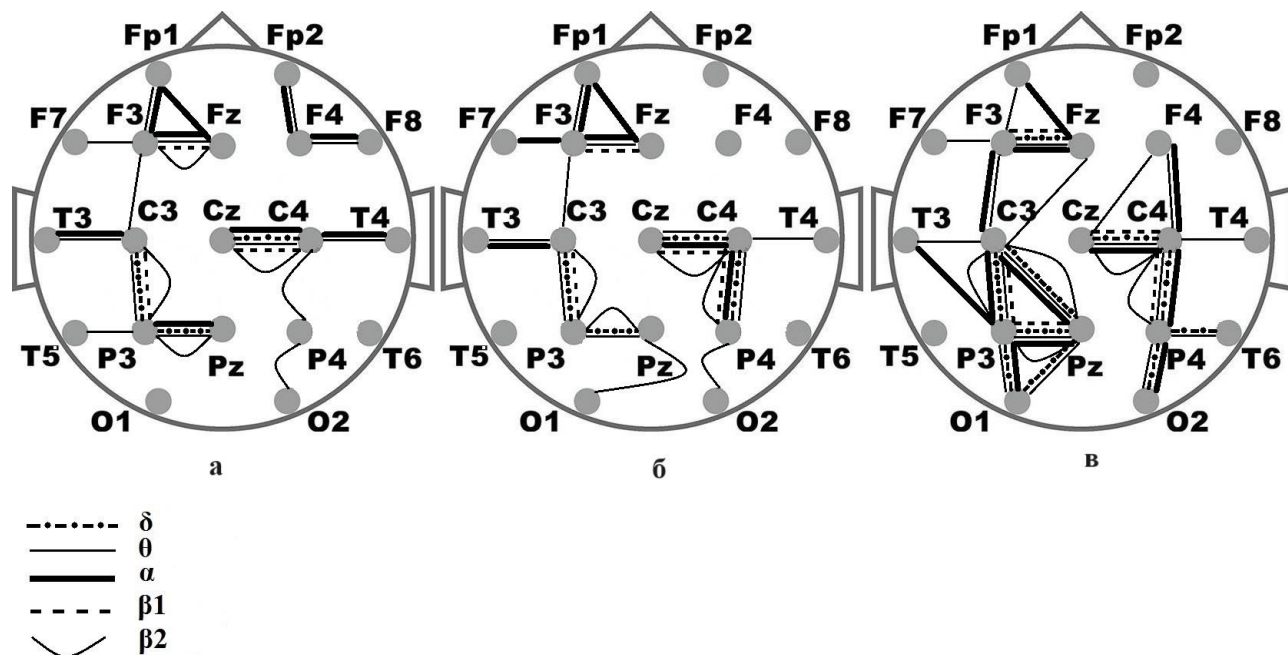


Рис.2. Когерентний аналіз ЕЕГ в трьох вікових групах під час здійснення тесту на визначення працездатності головного мозку: а) I група – 18-23 роки (n=11); б) II група – 24-34 років (n=13); в) III група – 35-54 роки (n=6).

роботу уваги в ритмічному режимі, підсилюючи відповідні входи та відсіюючи нерелевантні. Таким чином відбувається економія ресурсу, коли режим безперервної уваги до стимулів не є необхідним [10]. Оскільки у нашому дослідженні потік стимулів був неоднорідним і вимагав сталої концентрації уваги, збільшена δ -синхронізація у III групі могла негативно вплинути на якість виконання завдання.

У δ -діапазоні основними відмінностями між II і III групами була наявність центрально-скроневої та парієтально-скроневої зв'язків у правій півкулі. Зона Т6 відповідає 37-й зоні Бродмана правої півкулі (задня нижня скронева звивина, середня скронева звивина і веретеноподібна звивина) [11], асоціюється з мовленнєвими функціями, пам'яттю (розпізнавання справжніх та помилкових спогадів, кодування епізодичної пам'яті), візуальними функціями (розпізнавання обличч, візуальна обробка руху, візуальна фіксація, структурні оцінки знайомих об'єктів, постійна увага до кольору та форми) та деякими іншими функціями [12]. Cz відповідає 5-й зоні Бродмана лівої півкулі (вторинна сенсомоторна кора; вторинна асоціативна сенсомоторна кора; верхня тім'яна частка) [11], її функції пов'язані з обробкою хаотичних патернів, просторовою уявою та дедуктивними судженнями, сприйняттям особистого простору, обробкою жестів при використанні інструментів, руховою уявою, виконанням рухів, дзеркальними нейронами та деякими іншими функціями [12]. Наявність зв'язку Т6 – Cz у представників III групи може вказувати на посилену просторову увагу при виконанні завдання та промовляння назв фігур «про себе» перед тим, як натиснути відповідну клавішу. Зв'язок Т6 – С4 – це активація первинної соматосенсорної кори (постцентральної звивини, 1, 2, 3 зони Бродмана, що відповідають відведенням С4, С3 [11]), яка є частина глобальної рухової нейромережі та відповідає за пропріорецептивну чутливість пальців, довільні рухи руки та моторні навички [12]. Відведення Р4 відповідає 39 зоні Бродмана (частина нижньої тім'яної частки, каудальний край внутрішньотім'яної борозни, кутова звивина, частина області Верніке) [11], яка в даному випадку може бути залучена до просторової концентрації уваги, зорово-просторової обробки, виконавчого контролю поведінки, перехресній модальній асоціації між соматосенсорною, аудіальною та візуальною інформацією [12]. Відведення О1 та О2

відповідає 18 зоні Бродмана (вторинна зорова кора, середня потилична звивина [11] та окрім візуальної обробки залучена у виявлення закономірностей, розпізнавання жестів пальців рук (O2), підтримання постійної уваги до кольору та форми [12]. Згідно з функціональними дослідженнями, вона також бере участь в інших функціях, пов'язаних із зором, таких як візуальний праймінг [12]. Зв'язки O2 – P4, O2 – T6, O1 – P3, що були лише в III групі у даному випадку могли виявитись надлишковими та підвищити час загальної реакції.

Серед пар відведень, для яких вплив віку був статистично значущим, достовірні когерентності у θ -діапазоні були відзначені для відведень C3 – Fz, ((H (2, N=30)=8,432, $p=0,0148$), P3 – Fz (H (2, N=30)=7,883, $p=0,0194$), Pz – Fz (H (2, N=30)=7,369, $p=0,0251$), Pz – C3 (H (2, N=30)=9,780, $p=0,0075$), Pz – P3 (H (2, N=30)=10,425, $p=0,0054$), в усіх трьох групах, а для O1 – P3 (H (2, N=30)=6,581, $p=0,0372$), O2 – T6 (H (2, N=30)=7,310, $p=0,0259$) лише в III групі (Рис.2), що підтверджує дані про збільшення структурної зв'язності потиличної частки в задніх відділах мозку з віком [13]. Крім того, синхронізація достовірно відрізнялася між I і III групою ($p=0,0120$) та II і III групою ($p=0,0437$), при чому в I і II групі цей зв'язок був сформований довшим шляхом (C3 – F3 – Fz), а в III групі як довгим, так і коротшим прямим шляхом (C3 – Fz), що вказує на надлишковість нейромережі та може свідчити про те, що підвищена зв'язність сенсомоторної мережі пов'язана з надмірною залежністю від сенсомоторного зворотного зв'язку під час виконання рухів, що компенсує недостатню когнітивну регуляцію моторних областей під час сенсомоторних реакцій у старшій віковій групі [14].

Когерентності між відведеннями P3 – Fz, Pz – Fz, Pz – C3, Pz – P3 також вірогідно відрізнялись між I і III ($p=0,0138$, $p=0,0348$, $p=0,0307$ і $p=0,0049$ відповідно) та II і III групами ($p=0,0110$, $p=0,0159$, $p=0,0007$ і $p=0,0029$ відповідно). Так само, як і для C3 – Fz, зв'язок Pz – C3 у III групі був представлений двома варіантами – довшим, як у I і II групах (Pz – P3 – C3) і прямим коротшим шляхом (Pz – C3). Тобто, в θ -діапазоні у представників III групи проявлявся додатковий фронтальний контроль первинної соматосенсорної кори, що є характерним для літніх людей [15] з підвищеним рівнем уваги у зв'язку з активаціями парієтальної кори. Ці дані також узгоджуються із дослідженнями Кабеза зі співавторами [16], які виявили збільшення префронтальної та тім'яної активності у людей старшого віку під час виконання завдань на оперативну пам'ять, зорову увагу та епізодичне відтворення. Збільшення префронтальної активності пояснюється необхідністю функціональної компенсації потиличного скорочення, що призводить до зниження сенсорної обробки – загальної причини когнітивного старіння [16]. Крім того, відомо, що фронтальної обробки вимагають складні когнітивні процеси [17]. Наприклад, було показано, що бімодальна сенсорна стимуляція індукувала значне збільшення θ -відповіді фронтальній ділянці [17]. Тому можна зробити висновок, що у даному завданні така активація була надлишковою.

Хоча для зв'язку Pz – Fp1 впливу віку виявлено не було, він був наявний у всіх групах, але достовірно відрізнявся між I і III групою ($p=0,0500$). Когерентності Pz – T3, P3 – C3 також були виявлені в усіх групах, та істотно відрізнялися між II і III групами ($p=0,0393$, $p=0,0253$). Зв'язки T6 – F4, O2 – P4 були наявні лише в III групі та достовірно відрізнялися для I і III ($p=0,0394$, $p=0,0500$) та II і III групи ($p=0,0317$, $p=0,0253$ відповідно). Лі зі співавторами у своєму дослідженні також відмічають особливості префронтально-скроневої зв'язків у людей похилого віку [13], а саме, що структурний зв'язок префронтальної кори зі скроневою часткою повністю опосередкований товщиною скроневої кори, що свідчить про те, що морфологія мозку відіграє важливу роль у функціональній та структурній реорганізації при старінні. Когерентність Pz – F7 була в I і III групах, та достовірно відрізнялась між II і III групами ($p=0,0537$). P3 – F3, Pz – F3 були наявні у всіх групах, але також істотно відрізнялись для II і III груп ($p=0,0179$, $p=0,0226$ відповідно). O1 – F3, O1 – Fz, Cz – F4, C4 – F4, O2 – F4, O1 – T3, O1 – C3, O1 – P3, O2 – T6 були лише в III групі та достовірно відрізнялись між II і III групами ($p=0,0317$, $p=0,0437$, $p=0,0283$, $p=0,0485$, $p=0,0353$, $p=0,0353$, $p=0,0393$, $p=0,0097$, $p=0,0075$ відповідно).

Загалом, θ -мережа формується під конкретне завдання, реагує на помилки та відповідає за цілеспрямовану увагу, зростає в умовах, коли частота виникнення стимулу не є регулярною, в той час як δ – навпаки – відповідає за роботу уваги в ритмічному режимі, підсилюючи відповідні входи та відсіюючи нерелевантні. Таким чином відбувається економія ресурсу, коли режим безперервної уваги до стимулів не є необхідним [10]. Коли ж відповідні стимул не мають ритму, увага працює у безперервному режимі, максимізуючи чутливість системи пригнічуючи коливання нижчої частоти та використовуючи переваги розширених безперервних коливань γ -діапазону. [10].

Серед пар відведень, для яких був показаний вплив віку достовірна синхронізація в α -діапазоні була виявлена для Pz – Fp1, P3 – Fp1 Pz – F3, P3 – Fz, P3 – F3, Pz – Fz, O1 – Fz, Pz – C3, P3 – C3 лише у III групі та Pz – P3 у I і III групах (Рис. 2а,в). Серед них зв'язки, що мали вірогідні відмінності між I і III групою включали Pz – Fp1 ($p=0,0307$), Pz – F3 ($p=0,0394$), P3 – Fz ($p=0,0090$) Pz – Fz ($p=0,0138$), Pz – C3 ($p=0,0348$), Pz – P3 ($p=0,0077$) та між II і III групами – P3 – Fp1 ($p=0,0201$), Pz – Fp1 ($p=0,0038$), P3 – F3 ($p=0,0097$), Pz – F3 ($p=0,0050$), P3 – Fz ($p=0,0018$), Pz – Fz ($p=0,0021$), O1 – Fz ($p=0,0110$), P3 – C3 ($p=0,0075$); Pz – C3 ($p=0,0226$). Хоча для відведень C3 – F3, O1 – F3, C3 – Fz, C4 – F4, P4 – F4, O2 – F4, O2 – P4 впливу віку виявлено не було, вони істотно відрізнялись між II і III групами ($p=0,0485$ $p=0,0226$ $p=0,0437$ $p=0,0437$ $p=0,0437$ $p=0,0317$ та $p=0,0537$ відповідно) із достовірною синхронізацією у представників III групи (Рис.2в).

Не зважаючи на те, що історично, α -ритм вважається ритмом «холостого ходу», оскільки блокується при відкритті очей («пов'язана з подіями десинхронізація»), був зафіксований і зворотний ефект (посилення μ -ритмів під час обробки візуальної інформації, «пов'язана з подіями синхронізація») [10]. Гіпокампульні і ретикулярні α -ритми з частотою коливань 10 Гц є відносно незалежними від модальності, отже, можуть мати надмодальні функції [10]. Є дані, які демонструють, що α -активність сильно корелює з робочою пам'яттю і, ймовірно, з довготривалою пам'яттю [10]. Ці результати вказують на існування вибірково розподіленої α -системою, подібної до системи у γ -діапазоні. Пов'язані з подіями α -коливання можуть виконувати роль асоціативних механізмів наступним чином: коли сенсорний або когнітивний вхід викликає «ланцюги хвиль 10 Гц» у кількох структурах головного мозку, це може служити резонуючим сигналом. Співіснування викликаних α -коливань з α -блокуванням і пов'язаною з подіями десинхронізацією дозволяють інтерпретувати α -активність як функціональний та комунікативний сигнал з багатьма функціями [10].

Представники I та III групи відрізнялися від II надлишковою синхронізацією в α - і θ -діапазоні, що могло вплинути на час реакції та кількість помилкових відповідей. Найбільш сформована та розгалужена мережа в δ -, θ - та α -діапазонах була у представників III групи, що може бути пов'язано як із функціональною компенсацією, пов'язаною зі старінням, а також з тим, що після виконання тестів на ФРНП у III групі нейромережі не встигли перелаштуватись та виявились неадекватними у випадку ПГМ. Ці дані підтверджують загальні відомості про пов'язане з віком збільшення зв'язаності між нейромережами мозку та зниженням гнучкості нейромереж при переході від спокою до рухових завдань у зв'язку з нездатністю зупинити роботу нерелевантних нейромереж [18]. Крім того, гнучкість нейромереж у префронтальній корі асоційована з нижчою кількістю помилок при здійсненні моторних завдань, особливо у учасників старшої вікової групи [18]. Таке зниження гнучкості могло бути причиною того, що нейромережі учасників III групи не встигли перелаштуватись із виконання тестів на визначення ФРНП до тестів на ПГМ.

Оскільки серед пар відведень у $\beta 1$ діапазоні не було виявлено тих, що б мали медіану $\geq 0,7$ і могли б вважатись достовірно синхронізованими, ми не будемо розглядати описані відмінності. Можливим поясненням відсутності достовірних відмінностей у цьому діапазоні є те, що вищі частоти коливань потребують меншої площі кори високої когерентності, що ускладнює їх виявлення наявними методами дослідження. Наприклад, у дослідженні впливу

віку на синхронізацію ЕЕГ найбільші зміни були відмічені для α -діапазону частот (8–12.5 Гц), в той час як когерентність у β -смузі (13–29.5 Гц) показала граничні статистичні значення, а у σ -смузі (30–60 Гц) істотних відмінностей виявлено взагалі не було [19].

Серед відведень, для яких був показаний вплив віку достовірна когерентність у β 2-діапазоні була виявлена для відведення O1 – Pz у учасників II групи. Зв'язок O1 – Pz також мав достовірні відмінності між I і II групами ($p=0,0190$).

Активність у β -діапазоні у потилично-парієтальних ділянках, швидше за все, пов'язана із поведінкою, яка вимагає посиленої візуальної уваги [20]. Існує гіпотеза, що α -активність характеризує холосте збудження системи, в той час як β -сплески переводять мозок в стан уваги, який, забезпечує γ -синхронізацію та сприйняття [20]. Можливо, вищий показник ПГМ у представників II групи забезпечувався саме за рахунок наявності когерентного зв'язку O1 – Pz у β 2-діапазоні, який сприяв підвищенню візуальної уваги в умовах монотонного завдання.

Отже, виконання завдання з найменшою кількістю помилок учасниками II групи було досягнуто за рахунок оптимальної нейромережі та вищої зв'язаності мозку у θ - та α -діапазонах, що дало змогу підтримувати стабільну концентрацію уваги на монотонному завданні (θ -ритм), відсіюючи нерелевантні стимули (α -ритм) і спеціалізованої локальної нейромережі у β 2-діапазоні, яка окрім центральних та тим'яних ділянок (як в I і III групах) в більшій мірі залучала зорові ділянки (O1 – Pz, O2 – P4).

Порівняльний аналіз зв'язності мозку в групах II та III при виконанні тесту ФРНП та ПГМ дозволив пояснити наявність негативного кореляційного зв'язку між цими показниками. Нейромережі, які є оптимальними для безпомилкового виконання монотонного однотипного завдання (ПГМ) та для швидкої адаптації до нових умов (ФРНП) [6] мають значущі відмінності. Так, в групі II при виконанні тесту ФРНП порівняно з ПГМ було виявлено додатковий зв'язок Fp2 та F4. Як уже зазначалось вище, кожену локалізацію відповідного відведення можна асоціювати з певною зоною Бродмана [11].

Кореляційний зв'язок вказує на наявність локальної мережі між зонами Бродмана 10 та 9, що свідчить про те, що у учасників II групи при виконанні завдання ФРНП підвищення уваги було пов'язано з посиленням здатності до саморегуляції та схильності до ризику [21]. Тобто вони сприймали завдання ідентифікації стимулів у темпі, який прискорювався як задачу в умовах підвищеного ризику. В той же час, у учасників III групи при виконанні тесту ФРНП сформувалась нейромережа F4 – C4 – P4 – O2, що відповідає зонам Бродмана 9, 6, 39 та 18, яка і зберігалась при виконанні тесту ПГМ. Як виявилось, ця мережа сприяє наявності більш високих показників ФРНП, але нижчих ПГМ. В цій нейромережі зона Бродмана 9 була пов'язана з зонами мозку, які залучаються до просторового пізнання, когнітивних процесів вищого порядку, інтерпретації сенсорних відчуттів [12]. Нейромережа Cz – C4 – T4 – P4 (відповідає зонам Бродмана 4, 7, 43 та 39), яка пов'язана з моторним контролем, тактильною інформацією від пальців рук та інтеграцією сенсорної інформації [12], була загальною для II і III груп обстежуваних. Відмінність між групами полягала в наявності в III групі зв'язків F4 – C4 та P4 – T6, тобто між зонами Бродмана 9 і 6 та 39 і 37. Когерентний зв'язок F4 – C4 пов'язаний з процесами планування послідовності рухів, навчання руховим діям, уявлення та підготовки рухів, формування рухових образів та ініціювання руху [12]. Регіони цієї нейромережі служать для сприйняття просторової інформації, просторової орієнтації та виявлення найбільш релевантних (внутрішніх або зовнішніх) стимулів для того, щоб визначати подальшу поведінку [22]. Нейромережу, яку було виявлено в III групі можна представити згідно з моделлю формування моторної відповіді, яка представлена в роботі Кона зі співавторами [22]. А саме, що після фази кодування сигналу, коли було виявлено стимул, який є поведінково релевантним, відбувається орієнтація уваги на відповідну репрезентацію стимулу. Ця операція опосередкована дорсальною лобово-тім'яною мережею. На другому етапі серед ідентифікованих стимулів визначаються пріоритети із залученням передньої інсули, лобової звивини і вентролатеральної префронтальної кори, а також,

можливо, пре-моторної кори або передньої сигнулярної кори. На третьому кроці обрана репрезентація стимулу переформатовується в образ моторної відповіді, який орієнтований на дію. Така складна нейромережа виявилась оптимальною при ідентифікації стимулів, які подаються в максимально динамічному темпі, але надмірною при монотонній роботі у визначеному темпі. Різниця в організації нейромереж між групами II та III в лівій півкулі полягала в відмінностях взаємозв'язків між відведеннями F3 – Fz – C3 – Pz (відповідають зонам Бродмана 38, 9, 6, 7). В III групі при проходженні обох тестів в більшій мірі активувались процеси внутрішньої мови, розуміння та осмислення її, а також процеси обробки абстрактної інформації [12]. Зазначимо, що 38-а зона Бродмана пов'язана з контролем та гальмуванням поведінкових реакцій [12], що узгоджується з нашими попередніми висновками [6], стосовно того, що учасники III групи мали кращі показники ФРНП за рахунок більш високої активності в α -діапазоні, яка пов'язана з пригніченням нерелевантної інформації. Зона Бродмана 9 відноситься до дорсолатеральної префронтальної кори та відповідає за увагу, самоконтроль та оперативну пам'ять [12]. Вона відіграє важливу роль у різних виконавчих функціях і фактично, є організуючою зоною мозку [12]. Результати аналізу моделей активації головного мозку на основі двох різних типів рухових зображень вказують на активацію скроневої та тім'яної частки лівої півкулі при пред'явленні кінестетичних рухових образів, а під час процесу візуально-рухових зображень була задіяна права півкуля мозку [23]. Виявлені нейромережі у учасників III групи свідчать про залучення складних процесів ідентифікації стимулів як статичних образів в їх лівій півкулі. Ці процеси були надмірними для вирішення задач тесту ПГМ. Вони призводили до більшої кількості помилкових реакцій порівняно з учасниками II групи, які сформували локальні, специфічні нейромережі уваги, розпізнавання стимулу та формування моторної відповіді.

Оскільки успіх у різних військових професіях залежить від різних властивостей нервової системи (наприклад, для стрільців важлива висока швидкість реакції та здатність до тривалої концентрації, для операторів – здатність витримувати інформаційне перенавантаження без позамежного гальмування, для планшетистів – здатність до кропіткої, можливо, одноманітної роботи, посидючисті і т.д.), то в майбутньому показники індивідуально-типологічних характеристик нервової системи, особливості формування нейромереж та механізмів регуляції системи кровообігу мають бути вивчені для кожної спеціальності окремо з метою створення універсального профілю професій.

Висновки. При проходженні тесту на визначення ПГМ найкращі результати показали учасники II групи. Це вказує на те, що значення ПГМ є показником, який в більшій мірі залежить від індивідуальних особливостей ЦНС, ніж від віку. Когерентний аналіз ЕЕГ показав, що у представників II групи сформувалась оптимальна лівопівкульна мережа під задачу здебільшого у θ - та α -діапазонах, а зв'язки між тім'яними та потиличними ділянками були сформовані лише у діапазоні β 2-частот на відміну від III групи, де синхронізація відбувалась у діапазонах δ , θ та α -частот та I групи, в якій зв'язаність була недостатньою. Крім того, відмінності за фактором віку були показані для зв'язку між відведеннями O1 – Pz, який був наявний лише у учасників II групи, що могло сприяти підтриманню стабільної концентрації уваги на завданні. Таким чином, можемо припустити, що основну роль для досягнення найкращого результату у тесті на працездатність головного мозку грає нейромережа у β 2-діапазоні (особливо у потилично-тім'яній ділянці), в той час як надлишкові зв'язки у низькочастотних діапазонах (δ , θ та α) навпаки – призводять до більшої кількості помилок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Філімонова Н.Б. Комп'ютерна експрес-методика для визначення психофізіологічного стану людини. Культура здоров'я як предмет освіти: матер. II Міжнар. наук.-метод. конф., Херсонський держ. пед. ун-т., 2000. С. 204-209.
2. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд: К.: Наук. думка, 1991. 216 с.
3. Javaid H., Kumarnsit E., Chatpun S. Age-Related Alterations in EEG Network Connectivity in Healthy Aging. *Brain Sciences*. 2022. Vol. 12(2). P. 218. <https://doi.org/10.3390/brainsci12020218>

4. Marciani M. G., Maschio M., Spanedda F., Caltagirone C., Gigli G. L., & Bernardi G. Quantitative EEG Evaluation in Normal Elderly Subjects During Mental Processes: Age-Related Changes. *International Journal of Neuroscience*. 1994. Vol. 76(1–2). P. 131–140. <https://doi.org/10.3109/00207459408985998>
5. Kulaichev A. P. The informativeness of coherence analysis in EEG studies. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2011. Vol. 41(3). P. 321.
6. Подковка О. І., Макарьчук М. Ю., Філімонова Н. Б., Пампуха І. В., Нікіфоров М. М., Лоза В. М., Кравченко К. О. Особливості вікових змін організації активності головного мозку людини під час тестування функціональної рухливості нервових процесів. *Фізіологічний журнал*. 2024. Т. 70(5). С. 11-19. <https://doi.org/10.15407/fz70.05.011>.
7. Подковка О. І., Макарьчук М. Ю., Філімонова Н. Б., Пампуха І. В., Нікіфоров М. М. Стан основних психофізіологічних функцій у військовослужбовців різного віку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2022. Т. 89(2). С. 23-27. DOI 10.17721/1728.2748.2022.89.23-27.
8. Черненко-Курагіна Н. П. Фізіологічні характеристики розумової діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності при низькому темпі переробки інформації. *Вісник Черкаського університету*. 2016. Т. 1. С. 120-125.
9. Schroeder C. E., Lakatos P. Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*. 2009. Vol. 32(1). P. 9-18.
10. Basar E., Basar-Erog'lu, C., Karakas, S., Schürmann M. Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters*. 1999. Vol. 259. P. 165–168.
11. Rojas G. M., Alvarez C., Montoya C.E., de la Iglesia-Vayá M., Cisternas J.E., & Gálvez M. Study of resting-state functional connectivity networks using EEG electrodes position as seed. *Frontiers in Neuroscience*. 2018. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>
12. [Електронний ресурс] URL: <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>
13. Lee A., Ratnarajah N., Tuan T.A., Chen S.H., Qiu A. Adaptation of brain functional and structural networks in aging. *PLoS One*. 2015. Vol. 10(4): e0123462. doi: 10.1371/journal.pone.0123462.
14. Yordanova J., Falkenstein M., & Kolev V. Aging alters functional connectivity of motor theta networks during sensorimotor reactions. *Clinical Neurophysiology*. 2024. Vol. 159. P. 97-109.
15. Seidler R.D., Bernard J.A., Burutolu T.B., et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev*. 2010. Vol. 34(5). P. 721-733. doi:10.1016/j.neubiorev.2009.10.005.
16. Cabeza R., Daselaar S.M., Dolcos F., Prince S.E., Budde M., Nyberg L. Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb Cortex*. 2004. Vol. 14(4). P. 364-375. doi:10.1093/cercor/bhg133.
17. Basar, E. (1998). *Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes*. Berlin: Springer.
18. Monteiro T.S., King B.R., Zivari Adab H., Mantini D., Swinnen S.P. Age-related differences in network flexibility and segregation at rest and during motor performance. *NeuroImage*. 2019. Vol. 194. P. 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.015>.
19. Vysata O., Kukal J., Prochazka A., Pazdera L., Simko J., Valis M. Age-related changes in EEG coherence. *Neurol Neurochir Pol*. 2014. Vol. 48(1). P. 35-38. DOI: 10.1016/j.pjnns.2013.09.001.
20. Wróbel A. Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiol. Exp*. 2000. Vol. 60. P. 247-260.
21. Studler M., Gianotti L.R.R., Koch K., et al. Local slow-wave activity over the right prefrontal cortex reveals individual risk preferences. *Neuroimage*. 2022. Vol. 253: 119086. doi:10.1016/j.neuroimage.2022.119086.
22. Cona G., Scarpazza C. Where is the "where" in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Hum Brain Mapp*. 2019. Vol. 40(6). P. 1867-1886. doi: 10.1002/hbm.24496. PMID: 30600568; PMCID: PMC6865398.
23. Kwon S., Kim J., & Kim T. Neuropsychological activations and networks while performing visual and kinesthetic motor imagery. *Brain Sciences*. 2023. Vol 13(7). P. 983. <https://doi.org/10.3390/brainsci13070983>.

REFERENCES

1. Filimonova N. B. (2000). The Computer's Express Method for the Designation of a Psychophysiological Status of People. In: The 2nd International Sci-Methods Conference Health Culture as an Object of Education. Kyiv, Ukraine. P. 204-209. [in Ukrainian].
2. Makarenko N. V. (1991). Psychophysiological functions of a person and operator work. *Naukova dumka [Scientific opinion]*. [in Russian].
3. Javaid H., Kumarnsit E., & Chatpun S. (2022). Age-Related Alterations in EEG Network Connectivity in Healthy Aging. *Brain Sciences*. 2022. Vol. 12(2). P. 218. <https://doi.org/10.3390/brainsci12020218>
4. Marciani M. G., Maschio M., Spanedda F., Caltagirone C., Gigli G. L., & Bernardi, G. (1994). Quantitative EEG Evaluation in Normal Elderly Subjects During Mental Processes: Age-Related Changes. *International Journal of Neuroscience*. Vol. 76(1–2). P. 131–140. <https://doi.org/10.3109/00207459408985998>
5. Kulaichev, A. P. (2011). The informativeness of coherence analysis in EEG studies. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. Vol. 41(3). P. 321.

6. Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M., Loza V. M., Kravchenko K. O. (2024). Peculiarities of the Age-Related Changes in the Organization of Brain Activity of Servicemen, Which Determine the Functional Motility of Nervous Processes. *Fiziologichnyi zhurnal [Physiological Journal]*. Vol. 70(5). P. 11–19. <https://doi.org/10.15407/fz70.05.011>
7. Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M. (2022). State of the main psychophysiological functions in military servants of different age groups. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. Vol. 89(2). P. 23–27. <https://doi.org/10.17721/1728.2748.2022.89.23-27> [in Ukrainian].
8. Chernenko-Kurahina N. P. (2016). Physiological characteristics of mental activity of people with different individual typological properties of higher nervous activity at a low rate of information processing. *Visnyk Cherkaskoho universytetu [Bulletin of Cherkasy University]*. Vol. 1. P. 120–125. [in Ukrainian].
9. Schroeder C. E., & Lakatos P. (2009). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*. Vol. 32(1). P. 9–18.
10. Basar E., Basar-Erog'lu C., Karakas, S., & Schürmann M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters*. Vol. 259. P. 165–168.
11. Rojas G. M., Alvarez C., Montoya C. E., de la Iglesia-Vayá M., Cisternas J. E., & Gálvez M. (2018). Study of resting-state functional connectivity networks using EEG electrodes position as seed. *Frontiers in Neuroscience*. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>
12. [Electronic resource]. URL: <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>
13. Lee A., Ratnarajah N., Tuan T. A., Chen S. H., & Qiu A. (2015). Adaptation of brain functional and structural networks in aging. *PLoS One*. Vol. 10(4), e0123462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123462>
14. Yordanova J., Falkenstein M., & Kolev V. (2024). Aging alters functional connectivity of motor theta networks during sensorimotor reactions. *Clinical Neurophysiology*. Vol. 159. P. 97–109.
15. Seidler R. D., Bernard J. A., Burutolu T. B., et al. (2010). Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Vol. 34(5). P. 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005>
16. Cabeza R., Daselaar S. M., Dolcos F., Prince S. E., Budde M., & Nyberg L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention, and episodic retrieval. *Cerebral Cortex*. Vol. 14(4). P. 364–375. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhg133>
17. Basar E. (1998). Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. *Neurophysiology and Cognitive Processes*. Berlin: Springer.
18. Monteiro T. S., King B. R., Zivari Adab H., Mantini D., & Swinnen S. P. (2019). Age-related differences in network flexibility and segregation at rest and during motor performance. *NeuroImage*. Vol. 194. P. 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.015>
19. Vysata O., Kukal J., Prochazka A., Pazdera L., Simko J., Valis M. (2014). Age-related changes in EEG coherence. *Neurology and Neurochirurgia Polska*. Vol. 48(1). P. 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.pjnns.2013.09.001>
20. Wróbel A. (2000). Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. Vol. 60. P. 247–260.
21. Studler M., Gianotti L. R. R., Koch K., et al. (2022). Local slow-wave activity over the right prefrontal cortex reveals individual risk preferences. *NeuroImage*. Vol. 253, 119086. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119086>
22. Cona G., & Scarpazza, C. (2019). Where is the "where" in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Human Brain Mapping*. Vol. 40(6). P. 1867–1886. <https://doi.org/10.1002/hbm.24496>
23. Kwon S., Kim J., & Kim T. (2023). Neuropsychological activations and networks while performing visual and kinesthetic motor imagery. *Brain Sciences*. Vol. 13(7). P. 983. <https://doi.org/10.3390/brainsci13070983>

Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M., Loza V. M., Kravchenko K. O.

Features of Age-Related Changes in the Organization of Human Brain Activity During Cognitive Performance Testing.

Introduction. Any type of activity requires high-speed indicators, which are reflected in reaction time, thinking speed, etc. Cognitive performance characterizes the ability to perform tasks flawlessly over an extended period, the ability for painstaking, possibly monotonous work, and perseverance. Thus, this indicator together with peculiarities of the neuron networks formation are useful markers for assessment of individual suitability for certain work and monitoring professional skills.

Purpose. To investigate age-related differences in the functioning of brain neural networks during a test assessing cognitive performance in representatives of various military professions, with the aim of implementing age-based professional suitability control procedures and effective personnel selection.

Methods. Forty-seven healthy volunteers, representing various military professions, aged 18-54 years, were divided into three groups (Group I – 18-23 years, $n=16$; Group II – 24-34 years, $n=19$; Group III – 35-54 years, $n=12$). They underwent a test to determine cognitive performance using an authorial computer-based methodology. Simultaneously, electroencephalogram (EEG) recordings were made, followed by coherence analysis.

Result. Comparative analysis using the Mann-Whitney test revealed that the relative number of errors was significantly lower in Group II compared to Group I ($p<0.01$), with no differences observed between Groups I and III or II and III ($p=0.39$ and $p=0.52$, respectively). The Kruskal-Wallis test revealed differences across the three groups in connections with significant synchronization in the δ -range for O2 – P4 and O2 – T6 (only present in Group III), in the θ -range for C3 – Fz, P3 – Fz, Pz – Fz, Pz – C3, Pz – P3 (present in all three groups) and for O1 – P3, O2 – T6 (only in Group III); in the α -range for Pz – Fp1, P3 – Fp1, Pz – F3, P3 – Fz, P3 – F3, Pz – Fz, O1 – Fz, Pz – C3, P3 – C3 (only in Group III) and Pz – P3 (in Groups I and III), and in the β_2 -range for the O1 – Pz connection (only present in Group II). Such increased connectivity in Group III in the θ - and α -ranges in the frontal, parietal and occipital regions could be due to functional compensation of reduced sensory processing, which is the common reason of cognitive aging.

Originality. Age-related adaptive changes of the neural during testing of the brain performance are revealed. In context of our previous work on functional motility of nervous processes, the current study shows the difference between neuron network performance in people with an individual predisposition to error-free performance of a monotonous, repetitive task (brain performance test) and for rapid adaptation to new conditions (test on the functional motility of nervous processes).

Conclusion. The performance of the task with the fewest errors in Group II was achieved due to an optimal neural network and higher brain connectivity in the θ - and α -ranges, as well as in the β_2 -range, which, in addition to central and parietal regions (as in Groups I and III), more actively involved visual regions (O1Pz, O2P4).

Key words: cognitive performance,, electroencephalogram, coherence, professional selection.

Надійшла до редакції / Received: 21.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

Владислав Михайлович Северинчук

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

vladyslav.severynchuk@gmail.com

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

Юрій Олексійович Петренко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

petrenko62@gmail.com

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

Ольга Олександрівна Скиба

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка

skybaolha@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1512-9355>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНКИ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЗИЧНОГО ЗДОРОВ'Я

Актуальність. У статті розглянуто наукові підходи до визначення інтегрального показника фізичного здоров'я та актуальність його використання для моніторингу стану організму. Сучасні дослідження свідчать про необхідність розробки комплексних методів оцінки фізичного здоров'я, що враховують як традиційні антропометричні параметри, так і новітні психофізіологічні маркери. **Мета.** Розробити концептуальну основу інформаційно-технологічної платформи для автоматизованого визначення стану фізичного здоров'я людини з використанням сучасних методів аналізу та моніторингу. **Методи дослідження.** Застосовано бібліосемантичний метод для визначення проблемного поля дослідження та оцінки ступеня вивченості теми. Проведено аналіз монографій, дисертацій, статей у спеціалізованих наукових журналах, збірниках наукових праць та матеріалів конференцій, а також електронних ресурсів. Аналіз ключових слів та цитування здійснено на основі баз даних Web of Science Core Collection, Scopus та PubMed. **Результати дослідження.** Проведено аналіз наукових публікацій щодо психофізіологічних маркерів фізичного здоров'я та традиційних методів оцінки. Розроблено концепцію інтегрального показника фізичного здоров'я, який включає ключові психофізіологічні параметри (антропометричні, фізіологічні, адаптаційні). Запропоновано математичну модель для розрахунку інтегрального показника здоров'я, що дозволяє здійснювати динамічний моніторинг стану організму. Оцінено перспективи використання цього підходу в персоналізованій медицині, профілактиці захворювань, спортивній науці, фітнес-індустрії та мобільних додатках для моніторингу здоров'я. **Висновки.** Проведений аналіз наукових підходів до оцінки фізичного здоров'я засвідчив його важливість для психофізіології, медицини, спорту та реабілітації. Визначено ключові переваги й недоліки існуючих методів та обґрунтовано необхідність розробки комплексної системи моніторингу фізичного стану, яка поєднуватиме функціональні, психологічні та фізіологічні параметри. Незважаючи на значний розвиток методів оцінки фізичного здоров'я, науковий супровід цього процесу залишається відкритим питанням. Запропоновано перспективні напрями застосування інтегрального показника здоров'я у різних сферах.

Ключові слова: фізичне здоров'я, інформаційні технології, морфо-функціональні показники, бібліосемантичний моніторинг, цифрові платформи.

Постановка проблеми. Увесь світ, охоплений безпрецедентною військовою атакою Росії на Україну. Це знищило всі стереотипи міжнародних організацій, щодо ефективної боротьби за мир, залишивши людству слабкі надії на порятунок. Рациональні можливості сучасної науки та спадщину нашого співвітчизника, засновника Української Академії наук

В.І.Вернадського, про роль Ноосфери у боротьбі за виживання встановлюють справжню гармонію у раціональному розвитку людської цивілізації [1]. Фундаментом побудови сучасного підходу до розвитку вчення про здоров'я є трансдисциплінарна концепція, яка дозволяє врахувати усе різноманіття факторів. Тому ця стаття присвячена аналізу та розробці підходів до визначення і оцінки стану фізичного здоров'я населення. Ми використали трансдисциплінарний інформаційно-аналітичний підхід, що супроводжує процеси лікування та реабілітації в умовах воєнного стану. Його мета – використання сучасних методів штучного інтелекту та інформаційних технологій для підтримки профілактичної та реабілітаційної медицини в Україні. Стаття має дві складові: наукову, сфокусовану на аналізі наявних і створенні нових методів та засобів системи моніторингу та оцінювання фізичного здоров'я для супроводження лікувального та реабілітаційних процесів, оцінки їх ефективності, а також практичну – на рівні відносин пацієнт – лікар, пацієнт-реабілітолог, пацієнт-тренер.

Актуальність. У статті висвітлено проблему формування та розвитку наукових підходів до визначення фізичного здоров'я та проведено оцінку бібліографічних джерел що формують морфофункціональний стан організму людини. Кількість наукових досліджень щодо проблеми фізичного здоров'я стрімко зростає від 1-10 досліджень за рік у 1967 – 1977 роках до 3500 публікацій у 2021 році та 4404 за 2024 р., що свідчить про актуальність питань його діагностики та корекції. Таким чином, при дослідженні фізичного здоров'я необхідно акцентувати увагу на аналізі наукової літератури щодо визначення специфічних маркерів фізичного здоров'я, програм, які проводяться з використанням телекомунікаційних комп'ютерних технологій на різних етапах життєдіяльності. Така робота повинна супроводжуватися відповідними знаннями, програмним забезпеченням та моніторингом. Однак психофізіологічні механізми цих процесів потребують наукового обґрунтування [2, 3].

Фізичне здоров'я – це стан комплексу морфо-функціональних та психофізіологічних показників, що характеризують повне фізичне, психічне та духовне благополуччя, а не тільки відсутність хвороби та фізичних вад. Існують загальновизнані методи оцінки стану фізичного здоров'я за прямими показниками антропометрії, які трактують: 1. як комплекс показників, що свідчать про запас фізичних сил [3] і 2. – що відображають морфо-функціональні характеристики обстежуваного у порівнянні зі статистично усередненими нормативами відповідно до статі та віку [4].

Не зважаючи на високу поширеність та популярність визначення та оцінки стану фізичного здоров'я, проблема його наукового супроводу не може вважатися остаточно розв'язаною. Актуальність представленої наукової проблеми, її значущість для теорії і практики психофізіології визначили вибір теми статті та дозволили сформулювати мету та завдання роботи.

Мета. Сформулювати уяву про інформаційно-технологічне забезпечення та показати підходи до визначення психофізіологічних характеристик стану фізичного здоров'я людини.

Методи дослідження. Для реалізації мети використовували наступні методи: бібліосемантичний – для визначення проблемного поля дослідження та отримання загального уявлення про ступінь розробленості досліджуваної проблеми. Розглянуто монографії, дисертації, статті у спеціалізованих журналах, збірники наукових праць та матеріали конференцій, а також інформаційні ресурси мережі «Інтернет»; для визначення перспективних напрямів досліджень у сфері фізичного здоров'я з реалізацією методу аналізу ключових слів та аналіз прямого цитування за матеріалами баз Web of Science Core Collection (WoS), Scopus а Pubmed.

Результати дослідження. Виявлено відсутність інформаційно-технологічного забезпечення та застосування психофізіологічних характеристик для визначення стану фізичного здоров'я, методів моніторингу морфо-функціональних показників, придатних для використання під час лікування, реабілітації та тренування. У ряді робіт запропонована технологія об'єктивної оцінки стану фізичного здоров'я пацієнта [2]. Вона заснована на інформаційно-технологічному процесі, що забезпечує визначення параметрів, що використовують декілька портативних приладів та інноваційних систем. Технологія апробована в процесі реабілітації хворих, як засіб контролю в процесі психодіагностики та психотерапії [5, 6].

Головною метою цієї роботи був аналіз існуючих методів оцінки фізичного здоров'я та розробка концепції інтегрального показника здоров'я, який би враховував множинні параметри організму та забезпечував більш точне їх визначення. Цей показник має поєднувати антропометричні, психологічні, фізіологічні та адаптаційні фактори, що дозволить підвищити точність прогнозування ризиків хронічних захворювань та індивідуалізувати підходи до здорового способу життя.

Сучасна медицина та фізіологія активно розвивають методи оцінки фізичного здоров'я, оскільки наявність точних і надійних показників є ключовою умовою для профілактики захворювань, розробки персоналізованих програм фізичної активності та оцінки ризиків хронічної хвороби [2].

Традиційні методи оцінки здоров'я, такі як індекс маси тіла (BMI), співвідношення талії до стегон (WHR) та відношення талії до росту (WHtR), широко використовуються у медичній практиці для оцінки стану фізичного здоров'я, але мають низку недоліків:

- Не враховують розподіл жирової та м'язової маси (наприклад, високий BMI може мати як людина з ожирінням, так і атлет з розвиненою мускулатурою).
- Не оцінюють адаптаційний потенціал організму, тобто здатність до саморегуляції та пристосування до навантажень.
- Не беруть до уваги комплексний стан здоров'я, включаючи соціальні, психофізіологічні та функціональні параметри [2].

Тому з огляду на ці недоліки, розробка інтегрального показника здоров'я є необхідною для забезпечення більш точного аналізу функціонального стану організму. Новітні підходи, такі як A Body Shape Index (ABSI) та Body Roundness Index (BRI), є більш чутливими до локалізації жиру та метаболічних ризиків, однак все ще не є універсальними. Окрім цього, сучасні дослідження пропонують багатофакторні математичні моделі, які враховують адаптаційний потенціал організму та систему моніторингу на основі міжнародних стандартів (ICF).

Таким чином, вивчення та порівняння різних методів оцінки здоров'я, а також розробка інтегрального показника, що об'єднує фізіологічні, біомеханічні та соціальні фактори, є актуальним науковим завданням, яке може суттєво покращити підходи до моніторингу та профілактики захворювань.

Традиційні підходи оцінки фізичного здоров'я засновані на визначенні Індексу маси тіла (BMI – Body Mass Index) [3]. Представлена формулою та методика розрахунку:

$$BMI = \frac{\text{Маса (кг)}}{\text{Зріст (м)}^2} ;$$

Цей показник широко використовується для визначення ступеня ожиріння або дефіциту маси тіла (табл.1).

Таблиця 1.

Класифікація індексу маси тіла згідно з ВООЗ

Категорія	Діапазон BMI (кг/м²)
Дефіцит маси тіла	< 18.5
Норма	18.5 – 24.9
Надмірна маса тіла	25.0 – 29.9
Ожиріння I ступеня	30.0 – 34.9
Ожиріння II ступеня	35.0 – 39.9
Ожиріння III ступеня	≥ 40.0

Переваги ВМІ: простота та швидкість розрахунку, використовується у всьому світі, що дозволяє порівнювати дані між країнами, корелює з ризиком серцево-судинних захворювань та метаболічних порушень.

До недоліків ВМІ можна віднести: не враховує склад тіла, високий ВМІ може мати як людина з ожирінням, так і атлет із розвинутою мускулатурою, не оцінює розподіл жирової тканини, що є важливим для прогнозування кардіометаболічних ризиків, не враховує вікові, статеві та етнічні особливості.

Співвідношення талії до стегон (WHR – Waist-to-Hip Ratio) [4]. Формула та методика розрахунку:
$$WHR = \frac{\text{Окружність талії (см)}}{\text{Окружність стегон (см)}};$$

WHR використовується для визначення розподілу жирової тканини: "яблукоподібний" тип (абдомінальне ожиріння) – жир відкладається переважно в області живота, що підвищує ризик серцево-судинних захворювань, діабету 2 типу та інсультів; "грушоподібний" тип (жир накопичується у нижній частині тіла) – має менший зв'язок із кардіометаболічними ризиками (табл. 2).

Таблиця 2.

Референтні значення WHR згідно з ВООЗ

Стать	Низький ризик	Середній ризик	Високий ризик
Чоловіки	< 0.90	0.90 – 0.99	≥ 1.00
Жінки	< 0.80	0.80 – 0.84	≥ 0.85

Переваги WHR: краще корелює з ризиком серцево-судинних захворювань, ніж ВМІ; враховує розподіл жирової тканини, що є критично важливим для оцінки метаболічного ризику. До недоліків WHR можна віднести: не враховує загальну масу тіла. Людина може мати низький WHR, але при цьому мати надлишкову вагу, менш точний у низькому та середньому діапазонах ожиріння.

Співвідношення талії до зросту (WHtR – Waist-to-Height Ratio) [5]. Показник представлений у вигляді формули та методика розрахунку:
$$WHtR = \frac{\text{Окружність талії (см)}}{\text{Зріст (см)}};$$

Цей показник вважається більш інформативним, ніж ВМІ та WHR, оскільки враховує як розподіл жирової тканини, так і загальні розміри тіла (табл. 3).

Таблиця 3.

Референтні значення WHtR згідно з ВООЗ

WHtR	Інтерпретація
< 0.40	Дефіцит маси тіла
0.40 – 0.49	Норма
0.50 – 0.59	Надмірна маса тіла
≥ 0.60	Високий ризик захворювань

Переваги WHtR. Краще передбачає серцево-судинні захворювання, ніж ВМІ та WHR, підходить для всіх вікових груп, включаючи дітей та літніх людей, простий у розрахунку – "талія має бути меншою за половину росту". До недоліків WHtR можна віднести відсутність єдиної міжнародної порогової шкали та не враховує статевих та етнічних відмінностей.

Ми провели порівняння традиційних методів оцінки рівня фізичного здоров'я для традиційних методів (табл. 4).

Таблиця 4.

Порівняння традиційних методів оцінки рівня фізичного здоров'я

Індекс	Основні параметри	Переваги	Недоліки
BMI	Вага, зріст	Простий, доступний	Не враховує склад тіла
WHR	Талія, стегна	Враховує розподіл жиру	Не враховує загальну масу тіла
WHtR	Талія, зріст	Найкраща прогностична точність	Відсутність єдиної порогової шкали

З таблиці 4 видно, що традиційні індекси здоров'я є корисними для попередньої оцінки фізичного стану, але вони не є достатньо точними, оскільки не враховують склад тіла, рівень фізичної активності та адаптаційний потенціал.

Для більш точного оцінювання фізичного здоров'я необхідно використовувати комплексні показники, які враховують не лише масу тіла, а й метаболічні, фізіологічні та функціональні характеристики організму. Це мотивує до аналізу сучасних інтегральних індексів, які будуть розглянуті нижче.

Сучасні комплексні індекси оцінки фізичного здоров'я [6]. Традиційні антропометричні показники, такі як BMI, WHR та WHtR, мають значні обмеження, оскільки не враховують внутрішню структуру тіла та розподіл жирової та м'язової маси. Це спонукало дослідників розробити більш комплексні індекси, які можуть точніше оцінювати фізичний стан людини, включаючи її форму тіла, рівень жирових відкладень та адаптаційні можливості.

У цій статті розглянуто два новітні індекси оцінки фізичного здоров'я: A Body Shape Index (ABSI) та Body Roundness Index (BRI), які враховують не лише загальну масу тіла, а й особливості її розподілу, що дозволяє ефективніше прогнозувати ризики захворювань.

A Body Shape Index (ABSI) [7]. Формула та методика розрахунку ABSI був запропонований для кращого розуміння впливу абдомінального ожиріння на здоров'я. ABSI враховує окружність талії, оскільки саме цей показник є сильним предиктором серцево-судинних захворювань та смертності. Формула ABSI виглядає так:

$$ABSI = \frac{\text{Окружність талії}}{BMI^{\frac{2}{3}} \times \text{Зріст}^{\frac{1}{2}}};$$

де: Окружність талії вимірюється в метрах, зріст – у метрах, та BMI – індекс маси тіла.

Переваги ABSI у тому, що він враховує не тільки масу тіла, але й форму тіла, висока прогностична цінність щодо серцево-судинних захворювань та загальної смертності, може застосовуватися у клінічній практиці для ранньої діагностики ризиків. До недоліків ABSI слід віднести Формула досить складна для ручного розрахунку. Відсутність загальноприйнятих референтних значень, що ускладнює інтерпретацію результатів. Потребує верифікації у різних етнічних групах та популяціях.

Body Roundness Index (BRI) [8]. Формула та методика розрахунку. Body Roundness Index (BRI) використовується для оцінки форми тіла та розподілу жирової тканини. Він дозволяє оцінити ризик захворювань, пов'язаних із абдомінальним ожирінням, та корелює з метаболічними показниками. Формула BRI визначається наступним чином:

$$BRI = 364.2 - 365.5 \times \sqrt{1 - \left(\frac{\text{Окружність талії}}{\pi \times \text{Зріст}}\right)^2}$$

де: Окружність талії та зріст – у метрах.

Переваги BRI у тому, що він більш точний, ніж BMI та WHR, у прогнозуванні ризику кардіометаболічних захворювань. Враховує форму тіла, а не лише співвідношення окремих параметрів та має чіткі градації для оцінки стану здоров'я. Недоліки BRI у тому, що він потребує додаткових досліджень для верифікації у різних вікових групах та популяцій. Відсутність широкого впровадження у медичну практику. Потребує додаткових клінічних даних для повноцінної оцінки ризиків.

Нами проведений порівняльний аналіз ABSI та BRI методів оцінки рівня фізичного здоров'я (табл. 5).

Таблиця 5.

Порівняльний аналіз ABSI та BRI

Параметр	A Body Shape Index (ABSI)	Body Roundness Index (BRI)
Основна ідея	Оцінка форми тіла через окружність талії відносно BMI та зросту	Врахування форми тіла та розподілу жиру
Головні переваги	Краще оцінює абдомінальне ожиріння та його ризики	Враховує форму тіла, а не лише масу
Головні недоліки	Відсутність стандартних референтних значень	Не впроваджений у масову клінічну практику
Прогностична точність	Висока для кардіо-метаболічних ризиків	Вища, ніж у BMI та WHR

З таблиці 5 видно, що сучасні методи дослідження та індекси, такі як ABSI та BRI, є значним кроком вперед у порівнянні з традиційними методами, оскільки вони дозволяють оцінювати не лише загальну масу тіла, а й її розподіл. ABSI є кращим у прогнозуванні кардіометаболічних ризиків, оскільки враховує окружність талії відносно росту та BMI. Водночас, BRI є більш інтуїтивним, оскільки дозволяє оцінити загальну округлість тіла та локалізацію жирових відкладень. Обидва індекси все ще потребують додаткових досліджень та широкого клінічного впровадження, проте їх використання дозволяє підвищити точність оцінки здоров'я у порівнянні з традиційними методами.

У подальшому ми будемо розглядати комплексні підходи до оцінки фізичного здоров'я, які базуються на багатофакторному аналізі фізіологічних, біохімічних та адаптаційних параметрів.

Оцінка здоров'я за фізіологічними параметрами [9]. Стан фізичного здоров'я студентів є важливим показником якості життя та майбутньої працездатності молодого покоління. У зв'язку з цим у сучасних дослідженнях використовуються комплексні методи оцінки фізичного стану, що дозволяють виявити ранні відхилення від норми та запропонувати ефективні заходи для їх корекції.

Одним із таких досліджень є робота [10]. В ній пропонується методика оцінювання фізичного стану студентів на основі фізіологічних тестів та аналізу змін у їх показниках протягом навчального року. Оцінка фізичного стану студентів здійснювалася за допомогою серії тестів та фізіологічних вимірювань, які дозволяють кількісно оцінити рівень фізичної підготовки та загального стану здоров'я. Основні показники, що аналізувалися: Серцево-судинна система: частота серцевих скорочень (ЧСС) у стані спокою, артеріальний тиск (сistolічний та

діастолічний), тест Руф'є для оцінки функціонального стану серцево-судинної системи за допомогою вимірювання ЧСС після навантаження. Дихальна система: життєва ємність легень (ЖЄЛ) – визначає ефективність дихальної системи; тест Штанге – вимірювання часу затримки дихання на вдиху; тест Генчі для вимірювання часу затримки дихання на видиху; М'язова система досліджувалася: динамометрія кисті – оцінка сили м'язів кистей рук і загальна фізична працездатність – визначається за результатами фізичних тестів, індекс маси тіла (ВМІ). Розрахунок ВМІ для оцінки відповідності маси тіла студентів до нормативних значень.

Критерії оцінки фізичного стану. На основі отриманих даних студенти були поділені на три групи за рівнем фізичного стану:

Високий рівень фізичного здоров'я – студенти з нормальними показниками всіх тестів, хорошою адаптацією серцево-судинної системи та високими фізіологічними резервами.

Середній рівень фізичного здоров'я – студенти з незначними відхиленнями у функціональних показниках (наприклад, підвищений пульс у стані спокою або зниження працездатності за тестом Руф'є).

Низький рівень фізичного здоров'я – студенти, у яких виявлено серйозні відхилення у серцево-судинній або дихальній системі, недостатню фізичну підготовку або високий ВМІ.

Порівняння результатів тестування на початку та наприкінці навчального року дозволило виявити динаміку змін у фізичному стані студентів:

Показники серцево-судинної системи: Середній тест Руф'є покращився з 8.21 до 8.24, що свідчить про незначне покращення адаптації до фізичних навантажень. У студентів з низьким рівнем фізичного здоров'я зафіксовано підвищений артеріальний тиск та повільніше відновлення ЧСС після навантаження.

Дихальна система: Час затримки дихання за тестом Штанге зріс з 20 до 22 секунд, що вказує на покращення адаптації дихальної системи. Покращення за тестом Генчі також спостерігалось у групі студентів із середнім та високим рівнем фізичного здоров'я.

М'язова сила та фізична працездатність: Динамометричні показники у студентів зросли на 5-7%. Фізична працездатність у групи з низьким рівнем здоров'я залишалася незмінною, що свідчить про необхідність коригування фізичних навантажень.

Індекс маси тіла: середній ВМІ змінився незначно, але у 12% студентів з початковим надлишковим ВМІ спостерігалось зниження ваги, що свідчить про покращення харчових звичок та фізичної активності.

Ми провели порівняльний аналіз традиційних методів дослідження та оцінки стану фізичного здоров'я з оцінкою фізичного здоров'я студентів, що були проведені з допомогою ВМІ, WHR, WHtR. В результаті аналізу можна констатувати, що показники здоров'я які були отримані за допомогою методик ВМІ, WHR, WHtR не враховують функціональні особливості організму та адаптаційні можливості. Наприклад: ВМІ не дає інформації про фізичну витривалість, тоді як тест Руф'є дозволяє визначити ефективність роботи серцево-судинної системи. WHR та WHtR оцінюють лише розподіл жирової тканини, тоді як ЖЄЛ та тести затримки дихання дозволяють визначити рівень функціонального стану дихальної системи. Тести динамометрія та витривалість дозволяють оцінити рівень м'язової підготовки, що не відображається у жодному з традиційних антропометричних індексів здоров'я.

Таким чином, використання комплексного тестування є більш інформативним для оцінки фізичного здоров'я, ніж застосування лише розрахункових індексів маси тіла. Фізіологічні тести та вимірювання ЧСС, АТ, ЖЄЛ, тест Руф'є, динамометрія є більш точними методами оцінки фізичного здоров'я, ніж традиційні антропометричні показники. Систематичне тестування дозволяє відстежувати зміни у фізичному стані обстежуваних та ефективність профілактичних заходів. Для комплексної оцінки здоров'я необхідно поєднувати дослідження морфофункціональних показників з фізіологічними тестами, що дає змогу отримати більш детальну картину функціонального стану та фізичного здоров'я організму.

Результати, що отримані нами підтверджують необхідність розробки інтегрального показника здоров'я, який би включав не тільки показники маси тіла, але й фізіологічні параметри, адаптаційні можливості та функціональний стан організму.

У цій статті ми намагалися розглянути математичні моделі та міжнародні підходи до інтегральної оцінки здоров'я. Серед пропонованих методів дослідження та оцінки фізичного здоров'я чільне місце займає методика логіко-математичної моделі оцінки здоров'я. Одним із перспективних підходів до оцінки фізичного здоров'я є використання математичного моделювання, що дозволяє кількісно оцінити стан організму на основі його адаптаційних можливостей.

В дослідженні [11] запропоновано логіко-математичну модель визначення рівня фізичного здоров'я, яка ґрунтується на захисно-адаптаційних та компенсаторних реакціях організму. Згідно з цією моделлю, фізичне здоров'я визначається не просто як відсутність хвороби, а як функціональний стан організму, що характеризується здатністю адаптуватися до зовнішніх умов. Основними індикаторами стану здоров'я є: захисно-адаптаційні реакції організму, які забезпечують гомеостаз та компенсаторні механізми, що активуються при порушеннях функцій (наприклад, у випадку патологічних станів). Ці процеси дозволяють розглядати здоров'я як динамічну рівновагу між адаптаційними можливостями та впливом середовища.

Методика математичного моделювання та оцінка фізичного здоров'я в цій моделі базується на інтегральному рівні адаптаційного потенціалу. Для цього використовується математична формула:

$$LFH = LFH_{max} - LFH_{adapt} + LFH_{comp}$$

де:

LFH - рівень фізичного здоров'я; LFH_{max} - максимальний потенціал здоров'я; LFH_{adapt} - втрати здоров'я через адаптаційні механізми; LFH_{comp} - відновлення здоров'я за рахунок компенсаторних механізмів.

Ця модель дозволяє визначати, наскільки ефективно організм пристосовується до навантажень та які резервні можливості він має. Для кількісної оцінки адаптаційного потенціалу використовуються показники серцево-судинної системи (частота серцевих скорочень у спокої, час відновлення після навантаження), а також функціональні параметри (життєва ємність легень, рівень фізичної працездатності). На основі моделі були визначені шість рівнів фізичного здоров'я, що відрізняються за ступенем адаптації організму (табл. 6).

Таблиця 6.

Рівні фізичного здоров'я за ступенем адаптації організму

Рівень здоров'я	Характеристика
1. Високий рівень (норма)	Організм легко адаптується до навантажень, відсутні скарги
2. Добре здоров'я	Нормальні показники функціональних систем, невелике навантаження не викликає значного стресу
3. Задовільне здоров'я	Виявляються окремі відхилення, можливі періодичні скарги на втому
4. Пограничний стан	Організм знаходиться в компенсованому стані, але має обмежений адаптаційний потенціал
5. Функціональні порушення	Наявність порушень роботи організму, що можуть призвести до захворювань
6. Патологічний стан	Виснаження адаптаційного потенціалу, наявні захворювання, потреба в лікуванні

Цей підхід дозволяє не тільки оцінити поточний стан людини, але й спрогнозувати можливі ризики розвитку захворювань.

У порівнянні з традиційними індексами фізичного здоров'я, такими як BMI, WHR та WHtR, математична модель адаптаційного потенціалу має ряд переваг: враховує функціональні особливості організму, а не лише масу тіла; дозволяє прогнозувати ризики здоров'я, тоді як BMI просто класифікує масу тіла без урахування адаптаційного стану; підходить для динамічного моніторингу, оскільки включає змінні параметри, що залежать від фізичної активності. Проте, така модель має і певні обмеження: вона потребує детального збору даних, що ускладнює її використання без спеціального обладнання; відсутність уніфікованої шкали оцінки, яка б дозволяла стандартизувати результати між різними групами обстежуваних.

Таким чином можна узагальнити, що логіко-математичний підхід до оцінки фізичного здоров'я є більш точним, ніж традиційні індекси, оскільки враховують адаптаційні та компенсаторні механізми організму. Запропонована класифікація дозволяє розподіляти людей за рівнем фізичного здоров'я та виявляти ризики розвитку захворювань ще до появи клінічних симптомів. Використання математичних моделей може бути ефективним у прогнозуванні фізичного стану, що відкриває перспективи їх застосування у спортивній медицині, профілактичній медицині та реабілітації.

У роботі Апанасенко Г. [14, 15] показано, що оцінка фізичного здоров'я по антропометричним показникам і стандартам дає мало інформації про стійкість організму до несприятливих факторів середовища. В той час як було показано вище, саме цей методичний підхід до цього часу знайшов найбільше використання у практиці досліджень стану фізичного здоров'я. Але, методика оцінки фізичного здоров'я, що заснована на статистичних нормативах антропометричних показників, недосконала так як вагові та лінійні розміри особи характеризують кількісні характеристики фізичного здоров'я недосконалі і характеризують кількісні зміни процесу розвитку і не можуть давати оцінку якості цього процесу, чи формування тих чи інших функціональних систем, які необхідні для забезпечення безпечного функціонування у соціальному середовищі. Крім того, статистичні нормативи здатні приховувати відхилення у стані здоров'я, які часто зустрічаються у популяції і попадають у межі статистичної норми.

Натомість Апанасенко Г. [16, 17] обґрунтував методологічний підхід і методику оцінки фізичного здоров'я по кількісним і якісним показникам не тільки фізичного розвитку, а і психофізіологічним характеристикам кардіореспіраторної системи різних [18]. Саме цей методичний підхід може бути ефективним для планування та обґрунтування заходів первинної профілактики захворювань у осіб різного віку та статі.

Суть методики полягала у тому, що була зроблена спроба створити просту і доступну методику, яка не потребує складного обладнання і витрат часу. Серія лабораторних досліджень з використанням польових методик до відмови, тестування фізичних якостей дозволили створити просту експрес-систему оцінки фізичного здоров'я. В цю систему увійшли: силові показники (кистова динамометрія, кг/маса тіла) життєвий (життєва ємність легень — ЖЄЛ, мл/маса тіла), індекс Робінсона ("подвійний добуток") у спокої, індекс Руф'є, а також ступінь загрози ожирінню. Всі показники були розподілені за рангом і присвоєно певна кількість балів з кінцевим результатом тестування, а загальна оцінка тестування інформувала про рівень фізичного здоров'я обстежуваного.

Таким чином, представлений інтегральний показник рівня соматичного здоров'я може бути чутливим методичним інструментом для оцінки стійкості біосистеми. В основу цього дослідження закладені експериментальні показники антропометричних та функціональних характеристик фізичного здоров'я які реально зв'язані з індивідуальним клінічними показниками і можуть розглядатися як якісні інструменти оцінки індивідуального здоров'я.

У цій статті ще потрібно зупинитися на розгляді ще одного підходу до оцінки фізичного здоров'я — методу ICF, який використовується для створення персоналізованого індексу здоров'я (PHI – Personal Health Index). За цією методикою використовують міжнародну класифікацію функціонування (ICF) для оцінки здоров'я [12]. Оцінка фізичного здоров'я

потребує комплексного підходу, що враховує не лише фізіологічні параметри, але й функціональний стан організму, рівень фізичної активності та соціальні аспекти. Однією з найбільш універсальних методик для такої оцінки є Міжнародна класифікація функціонування, інвалідності та здоров'я (ICF), що рекомендована Всесвітньою організацією охорони здоров'я [13]. Основні принципи моделі ICF є міжнародний стандарт оцінки здоров'я та інвалідності, що розглядає фізичні, психічні та соціальні аспекти стану людини. Він складається з основних частин: функціонування та інвалідність. До функції організму відносять фізіологічні та психологічні процеси. Структуру організму складають анатомічні особливості та можливі порушення. Активність і участь визначають як здатність виконувати щоденні завдання. Контекстуальні фактори та оточення (середовище) – визначають як соціальні та фізичні фактори, що впливають на здоров'я. До особистих факторів відносять – вік, стать, спосіб життя, рівень освіти тощо. Ця модель дозволяє оцінювати здоров'я комплексно, враховуючи не лише наявність захворювань, а й рівень функціональної активності людини [20, 21, 22, 23].

Для формування персонального індексу здоров'я (PHI) запропонована модель, що використовує деревоподібну структуру даних, де кожен параметр здоров'я представлений у вигляді ICF-коду. Для цього необхідно провести конвертацію вихідних даних у ICF-коди. Усі дані медичних тестів, функціональні тести, самооцінка конвертується у відповідні коди ICF. Наприклад, результат тесту на силу м'язів перетворюється на код b730 (сила м'язів). Структурування кодування за рівнями має код b7 – рівень першої ієрархії (мускульна система), код b730 – рівень другої ієрархії (сила м'язів), код b7305 – рівень третьої ієрархії (сила м'язів рук). Якщо якісь параметри відсутні, їх можна врахувати через статистичне моделювання або заміщення середніми значеннями для групи.

Для обчислення інтегрального індексу здоров'я використовують деревоподібну модель, у якій рівні здоров'я об'єднуються у загальний $PHI = f(b, s, d, e)$; де: b – функції організму, s – анатомічні структури, d – активність і участь, e – фактор середовища.

Наприклад: використання ICF-індексу у разі, якщо обстежуваний має низьку фізичну активність та обмеження у русі, це буде зафіксовано як: b7 (м'язова система) – зниження сили, d450 (мобільність) – труднощі з пересуванням, e1 (фізичне середовище) – вплив соціальних факторів. Ці показники будуть об'єднані в єдиний числовий індекс, який дозволяє оцінити функціональний стан організму та порівняти його з іншими людьми.

У статті нами проведений порівняльний аналіз ICF-індексу з іншими методами оцінки рівня фізичного здоров'я (табл. 7).

Таблиця 7

Порівняння ICF-індексу з іншими методами оцінки здоров'я

Метод оцінки	Основні параметри	Переваги	Недоліки
BMI	Вага, зріст	Простий у розрахунку	Не враховує склад тіла
WHR	Талія, стегна	Оцінює абдомінальне ожиріння	Не враховує загальну масу тіла
ABSI	Талія, зріст, BMI	Враховує форму тіла	Складний для розрахунку
Математична модель адаптації	Серцево-судинні та дихальні тести	Оцінює адаптаційний потенціал	Вимагає багато вимірювань
ICF-індекс (PHI)	Фізіологічні, функціональні, соціальні фактори	Комплексна оцінка здоров'я	Вимагає великого обсягу даних

Як бачимо з табл. 7, що міжнародна класифікація функціонування (ICF) дозволяє створити інтегральний показник здоров'я, що враховує не лише фізіологічні параметри, але й функціональний стан і враховувати соціальні фактори.

Таким чином, РНІ є більш універсальним індексом здоров'я, ніж традиційні показники, оскільки він може застосовуватися як для здорових людей, так і для осіб із обмеженими можливостями. Метод ICF-індексації дозволяє персоналізувати оцінку здоров'я, що є важливим у профілактичній медицині та реабілітації.

Наступним етапом нашої роботи був порівняльний аналіз всіх розглянутих методів, що дозволило визначити оптимальні підходи до формування інтегрального показника здоров'я.

Отже, нами розглянуті методи оцінки фізичного здоров'я, які можна умовно поділити на три категорії:

1. Антропометричні індекси (BMI, WHR, WHtR, ABSI, BRI).
2. Фізіологічні та функціональні тести (тест Руф'є, ЖЄЛ, динамометрія, математична модель адаптаційного потенціалу).
3. Інтегральні моделі здоров'я (ICF-індексація, персональний індекс здоров'я (РНІ)).

Таблиця 8

Порівняльна таблиця методів дослідження та оцінки стану фізичного здоров'я

Методи	Основні параметри	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
BMI	Вага, зріст	Простий, широко використовується	Не враховує склад тіла	Загальна медицина
WHR	Окружність талії, стегон	Враховує розподіл жиру	Не враховує загальну масу тіла	Кардіометаболічні ризики
WHtR	Талія, зріст	Краще корелює з ризиком ССЗ	Відсутність єдиної порогової шкали	Профілактика ожиріння
ABSI	Талія, зріст, BMI	Враховує форму тіла	Складний розрахунок	Прогнозування смертності
BRI	Талія, зріст	Краще враховує ожиріння	Недостатньо поширений	Оцінка кардіометаболічних ризиків
Фізіологічні і тести	ЧСС, ЖЄЛ, тест Руф'є	Враховують функціональні можливості	Вимагають спеціального обладнання	Спортивна медицина, реабілітація
Математична модель адаптації	Фізіологічні реакції	Оцінює адаптацію організму	Складний розрахунок	Діагностика передхворобних станів
ICF-індекс (РНІ)	Фізіологія, функціональні та соціальні фактори	Комплексна оцінка здоров'я	Великий обсяг даних для аналізу	Реабілітація, персоналізована медицина

Кожен із цих методів має свої сильні та слабкі сторони, а також відрізняється за застосуванням у різних сферах – від загальної медицини до спортивної фізіології та

реабілітації. Нижче наводимо таблицю 8 у якій зроблений порівняльний аналіз різних методичних підходів та інструментів, що використовуються з метою дослідження та оцінки стану фізичного здоров'я.

З таблиці 7 видно, що проведене порівняння методів та різних оціночних індексів у прогнозуванні фізичного здоров'я можна виділити більш точні у передбаченні ризиків серцево-судинних захворювань та смертності та менш точні. Нижче наведено приблизний рейтинг прогностичної точності оцінки фізичного здоров'я за різними методами, заснований на даних наукових досліджень. До методик з високою прогностичною точністю можна віднести: ICF-індексація (PHI), методика Апанасенко, математична модель адаптації, BRI та ABSI. Методами дослідження та оцінки фізичного здоров'я з середньою точністю є індекси WHtR, WHR та фізіологічні тести Руф'є, ЖЄЛ та динамометрія. Найменшу точність показали методи оцінки стану здоров'я такі як індекси BMI та WHR.

Отже, на основі проведеного порівняльного аналізу можна зробити узагальнення:

1. Антропометричні методи (BMI, WHR, WHtR) є простими у використанні, але вони мають низьку точність, оскільки не враховують функціональні характеристики організму.
2. Фізіологічні методи оцінки здоров'я (ЧСС, тест Руф'є, динамометрія) є більш точними, ніж антропометричні індекси, але вимагають спеціального обладнання.
3. Сучасні індекси (ABSI, BRI) враховують розподіл жиру, що покращує прогнозування ризиків, але вони ще не отримали широкого впровадження у клінічну практику.
4. Логіко-математичні моделі (ICF-індекс, модель адаптації) є найточнішими методами, оскільки враховують функціональні та соціальні фактори, але вони потребують складних розрахунків та великого обсягу даних.

Висновки.

1. Представлений аналіз наукової проблеми, показав її значущість для теорії та практики психофізіології, медицини, спорту та реабілітації. Визначені основні переваги та недоліки існуючих підходів та методів оцінки стану фізичного здоров'я.
2. Не зважаючи на високу поширеність та популярність визначення та оцінки стану фізичного здоров'я, проблема його наукового супроводу не може вважатися остаточно розв'язаною.
3. Обґрунтовано необхідність розробки програми моніторингу функціонального, психологічного, фізичного станів здоров'я, що забезпечує комплексну оцінку працездатності та визначені шляхи його впровадження у практику повсякденного життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна академія медичних наук України. Ноосферне мислення Вернадського. URL: <https://amnu.gov.ua/noosferne-myslennya-vernadsckogo/> (дата звернення: 17.03.2025)
2. Шандригось В., Левковський Д. Методи оцінки фізичного здоров'я школярів. *Педагогіка, психологія та медико-біол. пробл. фіз. виховання і спорту*. 2001. № 28. С. 3–7.
3. Індекс маси тіла – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Індекс_маси_тіла (дата звернення: 17.03.2025).
4. Співвідношення талії та стегон – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Співвідношення_талії_та_стегон (дата звернення: 17.03.2025).
5. Yoo E.-G. Waist-to-height ratio as a screening tool for obesity and cardiometabolic risk. *Korean Journal of Pediatrics*. 2016. Vol. 59, no. 11. P. 425. URL: <https://doi.org/10.3345/kjp.2016.59.11.425> (date of access: 17.03.2025).
6. Кашуба В., Гончарова Н. Сучасні підходи до моніторингу фізичного стану школярів у процесі фізичного виховання. *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту*. 2010. Т. 1. С. 71–4.
7. Body shape index - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Body_shape_index (date of access: 17.03.2025).
8. Body roundness index - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Body_roundness_index (date of access: 17.03.2025).
9. Дегтяренко Т. В., Яготін Р. С. Доцільність оцінки адаптаційних можливостей та психосоматичного здоров'я студентської молоді за об'єктивними психофізіологічними параметрами. 2017.
10. Quantitative assessment of students' physical health. *International journal of recent technology and engineering*. 2019. Vol. 8, no. 3. P. 5568–5571. URL: <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5509.098319> (date of access: 17.03.2025).
11. Karabaev M., Qosimova G. S. Logical - mathematical models of quantitative assessment of the integral level of individual physical health based on the adaptive potential of the body. *E3S web of conferences*. 2023. Vol. 452. P. 07004. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345207004> (date of access: 17.03.2025).

12. Utilizing the international classification of functioning, disability and health (ICF) in forming a personal health index / I. Rautiainen et al. URL: <https://arxiv.org/abs/2304.06143>.
13. International classification of functioning, disability and health (ICF). *World Health Organization (WHO)*. URL: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (date of access: 17.03.2025).
14. Апанасенко Г. Л., Попова Л. А. Медична валеологія. Ростов-на-Дону: Фенікс, 2000. – 248 с. (Монографія)
15. Апанасенко Г. Л. Еволюція біоенергетики і здоров'я людини. Петербург: Петрополіс, 1992. – 137 с. (Монографія)
16. Апанасенко Г. Л., Науменко Р. Г. Фізичне здоров'я і максимальна аеробна здатність індивіда. Теорія і практика фізичної культури, 1988, № 4, с. 29–31.
17. Апанасенко Г. Л. Про можливість кількісної оцінки здоров'я людини. Гігієна і санітарія, 1985, № 8, с. 57–60.
18. Апанасенко Г. Л., Долженко Л. П. Рівень здоров'я і фізіологічні резерви організму. Теорія і методика фізичного виховання і спорту, 2007, № 1, с. 17–21.
19. Босенко А. І. Біологічні методи досліджень у фізичному вихованні та спорті. Одеса: ПНПУ ім. К. Д. Ушинського, 2016. – 210 с. (Монографія)
20. Сергієнко В. М. Система контролю рухових здібностей студентської молоді: теорія і методологія фізичного виховання. Суми: СумДУ, 2015. – 410 с. (Монографія)
21. Фурман Ю. В. Перспективні моделі культурно-оздоровчих технологій у фізичному вихованні студентів ВНЗ. Київ: Олімп. література, 2013. – 216 с. (Монографія)
22. Булич Є. Г., Муравов І. В. Здоров'я людини: біологічні основи життєдіяльності та фізична активність у її стимуляції. Київ: Олімп. література, 2003. – 424 с. (Монографія)
23. Круцевич Т. Ю. Теорія і методика фізичного виховання (підручник для ВНЗ фіз. виховання). Київ: Олімп. література, 2012. – 365 с.

REFERENCES

1. National Academy of Medical Sciences of Ukraine. Vernadsky's Noospheric Thinking. URL: <https://amnu.gov.ua/noosferne-myslennya-vernadskogo/> (accessed: 17.03.2025)
2. Shandryhos V., Levkovskiy D. Methods of assessing schoolchildren's physical health. *Pedagogy, Psychology, and Medical-Biological Problems of Physical Education and Sport*. 2001. No. 28. Pp. 3–7.
3. Body Mass Index – Wikipedia. Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Індекс_маси_тіла (accessed: 17.03.2025)
4. Waist-to-hip ratio – Wikipedia. Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Співвідношення_талії_та_стегон (accessed: 17.03.2025)
5. Yoo E.-G. Waist-to-height ratio as a screening tool for obesity and cardiometabolic risk. *Korean Journal of Pediatrics*. 2016. Vol. 59, no. 11. P. 425. URL: <https://doi.org/10.3345/kjp.2016.59.11.425> (accessed: 17.03.2025)
6. Kashuba V., Honcharova N. Modern approaches to monitoring the physical condition of schoolchildren in the process of physical education. *Pedagogy, Psychology, and Medical-Biological Problems of Physical Education and Sport*. 2010. Vol. 1. Pp. 71–74.
7. Body shape index – Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Body_shape_index (accessed: 17.03.2025)
8. Body roundness index – Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Body_roundness_index (accessed: 17.03.2025)
9. Dehtyarenko T. V., Yahotin R. S. The advisability of assessing students' adaptive capacity and psychosomatic health through objective psychophysiological parameters. 2017.
10. Quantitative assessment of students' physical health. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8, no. 3. Pp. 5568–5571. URL: <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5509.098319> (accessed: 17.03.2025)
11. Karabaev M., Qosimova G. S. Logical-mathematical models of quantitative assessment of the integral level of individual physical health based on the adaptive potential of the body. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 452. P. 07004. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345207004> (accessed: 17.03.2025)
12. Utilizing the international classification of functioning, disability and health (ICF) in forming a personal health index / I. Rautiainen et al. URL: <https://arxiv.org/abs/2304.06143>
13. International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health> (accessed: 17.03.2025)
14. Apanasenko H. L., Popova L. A. Medical Valeology. Rostov-on-Don: Feniks, 2000. – 248 p. (Monograph)
15. Apanasenko H. L. Evolution of Bioenergetics and Human Health. Petersburg: Petropolis, 1992. – 137 p. (Monograph)
16. Apanasenko H. L., Naumenko R. H. Physical health and maximum aerobic capacity of an individual. *Theory and Practice of Physical Culture*, 1988, No. 4, pp. 29–31.
17. Apanasenko H. L. On the possibility of quantitative assessment of human health. *Hygiene and Sanitation*, 1985, No. 8, pp. 57–60.
18. Apanasenko H. L., Dolzhenko L. P. Health level and physiological reserves of the body. *Theory and Methods of Physical Education and Sport*, 2007, No. 1, pp. 17–21.

19. Bosenko A. I. Biological research methods in physical education and sports. Odesa: K. D. Ushynsky South Ukrainian National Pedagogical University, 2016. – 210 p. (Monograph)
20. Serhiienko V. M. System for controlling motor abilities of university students: theory and methodology of physical education. Sumy: Sumy State University, 2015. – 410 p. (Monograph)
21. Furman Yu. V. Promising models of cultural and wellness technologies in the physical education of university students. Kyiv: Olimp. Literature, 2013. – 216 p. (Monograph)
22. Bulych Ye. H., Muravov I. V. Human health: biological foundations of vital activity and physical activity in its stimulation. Kyiv: Olimp. Literature, 2003. – 424 p. (Monograph)
23. Krutsevykh T. Yu. Theory and Methods of Physical Education (Textbook for Universities of Physical Education). Kyiv: Olimp. Literature, 2012. – 365 p.

Severynchuk V. M., Petrenko Yu. O., Skyba O. O.

Information technology support for assessing psychophysiological characteristics of physical health

Abstract. *The article examines scientific approaches to determining an integral physical health index and highlights its relevance for monitoring the human body's condition. Modern research indicates the need for comprehensive assessment methods that consider both traditional anthropometric parameters and advanced psychophysiological markers.*

The aim of this study is to develop a conceptual framework for an information technology platform that enables automated assessment of human physical health using modern analytical and monitoring techniques.

Methods. *A bibliosemantic analysis was conducted to define the research problem and assess the degree of its development. The study involved an examination of monographs, dissertations, journal articles, conference proceedings, and online scientific resources. Keyword and citation analysis were conducted based on data from Web of Science Core Collection, Scopus, and PubMed.*

Results. *A review of scientific publications on psychophysiological markers of physical health and traditional assessment methods was performed. The advantages and limitations of these methods were identified, and modern composite health indices, such as A Body Shape Index (ABSI) and Body Roundness Index (BRI), were analyzed. The importance of continuous health monitoring was substantiated to enhance the effectiveness of health-improving technologies.*

A quantitative mathematical model for health assessment was developed, incorporating logical-mathematical approaches that integrate anthropometric, physiological, and adaptive indicators. The study explored the ICF Index (International Classification of Functioning, Disability, and Health) as a tool for evaluating students' health and creating a personalized health index. A comparison of traditional and modern health assessment methods was conducted, with an emphasis on their predictive accuracy across various domains, including medicine, sports, and rehabilitation.

An integrated health index was proposed, encompassing key psychophysiological parameters (anthropometric, physiological, and adaptive). A mathematical model for dynamic health monitoring was developed, enabling its application in personalized medicine, disease prevention, sports science, fitness industries, and mobile health applications.

Conclusions. *The analysis of scientific approaches to physical health assessment confirmed its significance for psychophysiology, medicine, sports, and rehabilitation. The strengths and weaknesses of existing methods were identified, highlighting the need for a comprehensive health monitoring system that integrates functional, psychological, and physiological parameters. Despite the extensive development of health assessment methodologies, scientific support for this process remains an open challenge. The study proposes promising applications of an integrated health index.*

Keywords: *physical health, information technology, morphofunctional indicators, bibliometric monitoring, digital platforms.*

Надійшла до редакції / Received: 13.05.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 615.8: 159.91

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-90-101

Ігор Петрович Темненко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

anatomy114@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7418-8562>

Лідія Михайлівна Ілюха

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

ilyuhalidiya@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9650-805X>

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ ТА БІОРЕЗОНАНСНИХ ВПЛИВІВ: КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація: У статті проведено критичний аналіз наукових досліджень, присвячених частотно-резонансному методу (ЧРМ) та біорезонансних впливів (БРВ). **Мета.** Розглянуто теоретичні засади методів, їх діагностичний та терапевтичний потенціал, а також наявні наукові докази ефективності при різних патологічних станах. **Методи.** Особливу увагу приділено методологічним обмеженням проведених досліджень, проблемам стандартизації, потенційному впливу плацебо-ефекту та етичним аспектам застосування ЧРМ та БРВ. **Результати.** Біорезонанс - це цілісний фізичний метод, який можна використовувати в діагностиці та терапії для лікування різних захворювань. Біорезонанс використовує електромагнітні хвилі, які він отримує від пацієнта. Біорезонанс працює на основі спектрального аналізу магнітних полів живих організмів, що дозволяє терапевту розрізняти нормальні та аномальні частоти, що випромінюються організмом. Електромагнітні хвилі як епігенетичні фактори можуть впливати на динамічні зміни хроматину, що призводить до активації або пригнічення біохімічних процесів організму та відіграє вирішальну роль у розвитку або лікуванні хронічних захворювань. Вважаємо, що цей біофізичний метод лікування змінює енергетичне поле ураженого організму, підвищуючи ефективність аутоімунної системи, тим самим покращуючи загальний стан здоров'я людини.

Висновки. На основі аналізу літератури зроблено висновок щодо необхідності проведення більш якісних та контрольованих досліджень для визначення реальної цінності цих методів.

Ключові слова: частотно-резонансний метод, біорезонанс, рефлексотерапія; біорезонансна діагностика; здоров'я людини.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. Частотно-резонансний метод (ЧРМ) та біорезонансні впливи (БРВ) є напрямками в альтернативній та комплементарній медицині, що набули певної популярності серед пацієнтів та практикуючих фахівців. В основі цих методів лежить ідея про те, що кожен біологічний об'єкт (клітини, органи, мікроорганізми) має власні специфічні електромагнітні коливання [1]. Ідея про те, що біологічні об'єкти мають власні електромагнітні коливання, є загальноприйнятою в науці [2]. Однак, застосування цієї концепції для діагностики та лікування захворювань залишається суперечливим. Вважається, що зміни в стані здоров'я відображаються у зміні цих частотних характеристик, а зовнішній вплив електромагнітних хвиль певної частоти може коригувати ці порушення та сприяти одужанню [3, 4].

Незважаючи на зростаючий інтерес до ЧРМ та БРВ, їх наукова обґрунтованість та клінічна ефективність залишаються предметом дискусій та критичного аналізу, науковій спільноті досі не вдалося ні з'ясувати його етіологію, ні повністю з'ясувати його механізми.

Мета дослідження: проведення всебічного огляду та критичної оцінки наявних наукових досліджень у фізіології, виявлення сильних та слабких сторін доказової бази, а також визначення перспектив подальших досліджень частотно-резонансного методу (ЧРМ) та біорезонансних впливів (БРВ) на функціональний стан організму.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні були використані наукові статті, опубліковані в міжнародних рецензованих журналах, систематичні огляди, експериментальні звіти та публікації, доступні в наукометричних базах даних (Scopus, PubMed, Web of Science). Основна увага приділялася роботам, які висвітлюють ефективність частотно-резонансного методу та біорезонансних впливів в різних галузях медицини. У пошуковому запиті використали ключові слова «frequency resonance method», «bioresonance effects», «reflexology», «bioresonance diagnostics». Аналізували публікації за період 1980-2024 р.

За ключовими словами знайдено 257 статей, з яких для літературознавчого аналізу відібрано 67 джерел. Відбір першоджерел здійснювали наступним чином: спочатку аналізували тема статті; якщо тема відповідала напряму нашого дослідження, аналізували резюме. Якщо зміст відповідав напряму нашого дослідження, то аналізу піддавали текст статті. Було зібрано та критично проаналізовано дослідження, які відповідали меті нашої роботи.

Огляд основного матеріалу дослідження. Концепція частотного резонансу в біологічних системах базується на фізичних принципах взаємодії електромагнітних хвиль з речовиною. Теоретично, кожен біологічний об'єкт може поглинати енергію електромагнітного поля на власній резонансній частоті [5]. Прихильники ЧРМ та БРВ екстраполюють цей принцип на рівень клітин, органів та цілого організму, стверджуючи, що патологічні процеси супроводжуються зміною власних частотних характеристик. Концепція про те, що організми мають механізми для генерації біологічно корисних електричних сигналів, не є новою, вона сягає відкриття струмів пошкодження Маттеуччі у дев'ятнадцятому столітті. Принцип електротрансдермальних діагностичних пристроїв був відкритий доктором Рейнхардом Фоллем, який стверджував, що електричний опір людського тіла неоднорідний, і існують меридіани, що проявляються як електричні поля. На тілі людини є 1000 точок, що відповідають 12 класичним меридіанам китайської медицини. Доктор Фолль запропонував пристрій, який міг вимірювати опір шкіри в кожній акупунктурній точці в поєднанні з гальванічним опором шкіри [6]. Відповідна сучасна версія полягає в тому, що комбінації магнітних полів іонного циклотронного резонансу допомагають регулювати біологічну інформацію. Наступним досягненням у медицині буде розпізнавання та застосування тих параметрів ЕМ-сигналізації, які діють для сприяння здоров'ю, зі зменшенням залежності від маргінальної біохімічної реабілітації та фармацевтичних препаратів [7].

Частотно-резонансна діагностика (ЧРД) передбачає виявлення цих змінених частот за допомогою спеціальних пристроїв, які реєструють електромагнітні коливання, що випромінюються організмом. Отримані спектри частот можуть вказувати на наявність захворювань, їх стадію, а також на присутність патогенних мікроорганізмів [8].

Біорезонансні впливи (БРВ) використовують зовнішні електромагнітні сигнали низької інтенсивності для впливу на власні коливання організму. Залежно від типу БРВ, можуть застосовуватися як зовнішні сигнали певної частоти та форми (екзогенні БРВ), так і власні сигнали пацієнта, модифіковані спеціальним чином та повернені в організм (ендогенні БРВ). Метою таких впливів є відновлення фізіологічних частотних характеристик та пригнічення патологічних коливань [9-11].

Проте, детальні біофізичні механізми, за допомогою яких низькоінтенсивні електромагнітні поля можуть спричиняти значні та специфічні клінічні ефекти на рівні цілого організму, залишаються недостатньо вивченими. Більшість наукових досліджень у цій галузі не змогли чітко продемонструвати специфічну взаємодію зовнішніх електромагнітних полів з конкретними біологічними молекулами або клітинними процесами, яка б могла пояснити заявлені терапевтичні ефекти.

Деякі дослідження, особливо ті, що проводяться прихильниками методу, повідомляють про високу точність ЧРД у виявленні різних патологічних станів та інфекційних агентів [12-16].

У літературі наведено низку прикладів, коли вплив терапевтичного ультразвуку на клітини за нетермічних умов змінював клітинні функції [17-23]. Повідомляється, що нетермічні рівні ультразвуку модулюють властивості мембран, змінюють клітинну проліферацію та призводять до збільшення кількості білків, пов'язаних із запаленням та відновленням пошкоджень. У сукупності ці дані свідчать про те, що нетермічні ефекти терапевтичного ультразвуку можуть змінювати запальну реакцію [24-34].

Концепція поглинання ультразвукової енергії ферментативними білками, що призводить до змін активності ферментів, не є новою. Однак нещодавні дослідження, які демонструють, що ультразвук впливає на активність ферментів і, можливо, на регуляцію генів, надають достатньо даних для представлення ймовірного молекулярного механізму нетермічної терапевтичної дії ультразвуку. Гіпотеза частотного резонансу описує 2 можливі біологічні механізми, які можуть змінювати функцію білка в результаті поглинання ультразвукової енергії. По-перше, поглинання механічної енергії білком може призвести до тимчасового конформаційного зсуву (модифікуючи тривимірну структуру) та змінити функціональну активність білка. По-друге, резонансні або зсувні властивості хвилі (або обидва) можуть дисоціювати багатомолекулярний комплекс, тим самим порушуючи функцію комплексу [34-37].

Доведена ефективність застосування біорезонансного методу для корекції обміну речовин, неспецифічного імунного захисту, репродуктивної функції, метаболічної функції печінки, показників умовно-рефлекторної діяльності, функціонального стану системи транспорту Оксигену, виділення та антиоксидантного захисту в організмі собак [29-31].

Однак, зустрічаються незалежні дослідження, що не підтверджують ці результати. Кілька досліджень показали, що ЧРД не відрізняється від випадкового вгадування при виявленні наявності певних захворювань або алергенів [38, 39].

Літературний аналіз показує значні методологічні обмеження в багатьох таких дослідженнях, включаючи: відсутність належного контролю, включаючи плацебо-контроль або порівняння зі стандартними діагностичними процедурами; нечіткі або непослідовні критерії діагностики, що ускладнює об'єктивну оцінку точності методу; малі розміри вибірок, що знижує статистичну потужність та ускладнює узагальнення результатів; потенційну упередженість дослідників, особливо у випадках, коли дослідження проводяться за підтримки виробників обладнання для ЧРД [40-42].

Важливо зазначити, що частотний аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР), який іноді інтегрується в діагностичні БРТ-пристрої, є науково обґрунтованим методом оцінки функціонального стану вегетативної нервової системи [43]. ВСР дійсно відображає зміни в регуляторних механізмах організму, але його використання не є тотожним ЧРД у розумінні виявлення специфічних патологій через аналіз широкого спектру електромагнітних коливань, що випромінюються органами та тканинами [44].

Подальші дослідження в цій області мають включати великі, добре сплановані наукові випробування з використанням незалежних контрольних груп та об'єктивних методів оцінки результатів.

Дослідження щодо клінічної ефективності БРВ є досить різноманітними за дизайном та якістю. Існують значні розбіжності у результатах, що залежать від досліджуваної патології, організації дослідження та якості його проведення.

Деякі публікації, зокрема від виробників обладнання для БРВ [45], повідомляють про позитивний вплив БРВ на зменшення симптомів алергії [46-48]. Ці звіти часто базуються на неконтрольованих дослідженнях або клінічних випадках. Однак, систематичні огляди та мета-аналізи, що включають незалежні дослідження, часто демонструють низьку якість доказової бази та відсутність значущого клінічного ефекту БРВ при алергічних захворюваннях порівняно з плацебо або стандартним лікуванням [49-52].

Пілотне дослідження [53] показало потенційну користь БРВ при легкій та помірній депресії. Результати дослідження підтвердили, що біорезонансна терапія може покращити, незалежно від рівня депресії, оціненого за допомогою 17 пунктів Гамільтонської шкали оцінки депресії, стан пацієнтів з легкою та помірною рекурентною депресією, які не обрали фармакологічне лікування, незалежно від рівня депресії, оціненого за шкалою Гамільтона. Проте, це дослідження мало невелику вибірку (лише 40 пацієнтів) та потребує підтвердження у більших, добре контрольованих випробуваннях. Крім того, необхідні дослідження для з'ясування довгострокової ефективності БРВ при депресії та порівняння її з іншими методами лікування, включаючи когнітивно-поведінкову терапію та медикаментозне лікування [54-58].

У літературі зустрічаються окремі дослідження щодо застосування БРВ при хронічному болю, функціональних розладах шлунково-кишкового тракту та інших захворюваннях[59-63]. Однак, загалом, доказова база є слабкою та суперечливою. Багато досліджень мають значні методологічні недоліки, що ускладнює формування об'єктивних висновків. Наприклад, дослідження щодо застосування БРТ при фіброміалгії показали неоднозначні результати, причому деякі з них свідчать про відсутність значної різниці між БРВ та плацебо[64-66].

Для підтвердження ефективності БРВ при різних станах необхідні подальші дослідження з використанням надійних наукових методів.

Однією з ключових проблем у дослідженнях ЧРМ та БРВ є значні методологічні обмеження. Багато досліджень мають невеликі розміри вибірок, що знижує статистичну потужність та ускладнює узагальнення результатів. Не використовують належного контролю, включаючи плацебо-контроль, що унеможливорює виключення впливу неспецифічних факторів. Плацебо-ефект, тобто позитивна реакція пацієнта на лікування, яке не має специфічної терапевтичної дії, може бути значним при лікуванні суб'єктивних симптомів, таких як біль або втома [67].

Мають нечіткі критерії включення та виключення пацієнтів, що може призводити до гетерогенності досліджуваних груп. Якщо пацієнти з різними підтипами захворювання або різним ступенем тяжкості захворювання включені в одну групу, це може ускладнити виявлення будь-якого реального ефекту лікування.

Потенційно схильні до упередженості дослідників, особливо у випадках, коли дослідження проводяться за підтримки виробників обладнання для БРВ. Упередженість дослідників може вплинути на збір даних, їх аналіз та інтерпретацію результатів.

Часто не надають достатньо інформації про протоколи діагностики та терапії, що ускладнює відтворення результатів. Відсутність чіткого опису використовуваного обладнання, параметрів сигналу та тривалості лікування робить неможливим для інших дослідників повторити дослідження та перевірити його результати.

Існує значна варіабельність у типах використовуваного обладнання для ЧРМ та БРВ, а також у протоколах проведення діагностики та терапії. Різні пристрої можуть використовувати різні діапазони частот, різні форми сигналу та різні методи застосування сигналу до пацієнта. Ця відсутність стандартизації ускладнює порівняння результатів різних досліджень та визначення оптимальних параметрів впливу.

Крім того, значний вплив плацебо-ефекту є важливим фактором при оцінці ефективності БРВ, особливо враховуючи суб'єктивний характер багатьох симптомів, які оцінюються пацієнтами. Відсутність адекватного плацебо-контролю у багатьох дослідженнях може призводити до завищених оцінок ефективності БРВ. Важливо проводити дослідження з використанням "фіктивного" лікування, яке імітує БРВ, але не має активної терапевтичної дії, щоб відокремити специфічні ефекти БРВ від плацебо-ефекту.

Перспективи подальших досліджень:

Для визначення реальної клінічної цінності ЧРМ та БРВ необхідні подальші високоякісні дослідження, які б відповідали суворим науковим стандартам, включаючи:

Проведення рандомізованих, подвійно сліпих, плацебо-контрольованих досліджень з достатньою статистичною потужністю. Це вважається "золотим стандартом" для оцінки ефективності медичних втручань.

Розробку та використання стандартизованих протоколів діагностики та терапії. Це забезпечить можливість порівняння результатів різних досліджень та визначення оптимальних параметрів впливу.

Забезпечення прозорості методології та докладного опису втручань. Це дозволить іншим дослідникам відтворити дослідження та перевірити його результати.

Поглиблене вивчення біофізичних механізмів взаємодії електромагнітних полів з біологічними системами. Необхідні фундаментальні дослідження для з'ясування того, як низькоінтенсивні електромагнітні поля можуть впливати на біологічні процеси на клітинному та молекулярному рівнях.

До отримання таких доказів, слід ставитися до частотно-резонансної діагностики та біорезонансної терапії з обережністю, усвідомлюючи можливі ризики та обмеження. Пацієнти повинні отримувати об'єктивну та науково обґрунтовану інформацію про ці методи, щоб приймати усвідомлені рішення щодо свого лікування.

Висновок.

Вважаємо, що біофізичний метод лікування змінює енергетичне поле ураженого організму, підвищуючи ефективність аутоімунної системи, тим самим покращуючи загальний стан здоров'я людини. Однак, підсумовуючи, наукові докази на підтримку ефективності частотно-резонансного методу та біорезонансних впливів на сьогоднішній день є слабкими. Хоча деякі дослідження повідомляють про позитивні результати, багато з них мають значні методологічні обмеження, які ускладнюють інтерпретацію результатів. Необхідні подальші високоякісні дослідження для підтвердження або спростування заявленої клінічної цінності цих методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Prasad A., Rossi C., Lamponi S., Pospíšil P., Foletti A. New perspective in cell communication: potential role of ultra-weak photon emission. *J Photochem Photobiol B*. 2014 Oct 5;139:47-53. DOI: [10.1016/j.jphotobiol.2014.03.004](https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.03.004).
2. Alberto F., Mario L., Sara P., Settimio G., Antonella L. Electromagnetic information delivery as a new tool in translational medicine. *Int J Clin Exp Med*. 2014 Sep 15;7(9):2550-2556.
3. Якимчук М.А., Прилипко С.І. Деякі аспекти застосування частотно-резонансного методу в діагностиці та нейтралізації патогенів. / *Клінічна та профілактична медицина*, № 1(23)/2023. С. 100-104.
4. Norman R.L., Dunning-Davies J., Heredia-Rojas J.A., Foletti A. Quantum information medicine: The future direction of medical science: Antimicrobial and other potential nontoxic treatments. *World J Neurosci* 2016; 6(3): 193-207. DOI: [10.4236/wjns.2016.63024](https://doi.org/10.4236/wjns.2016.63024)
5. Podchernyaeva R. J., Lopatina O. A., Mikhailova G. R. et al. Effect of exogenous frequency exposure on human cells. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2008. Vol.146. No.1. P.148–152. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10517-008-0224-1>
6. P. Karakos, T. Grigorios, K. Theodoros, L. Theodoros The Effectiveness of Bioresonance Method on Human Health 2019, *The Open Epidemiology Journal*, № 1, p. 1-8 DOI [10.2174/1874297120190800001](https://doi.org/10.2174/1874297120190800001)
7. Bassett C.A. Beneficial effects of electromagnetic fields. *J Cell Biochem*. 1993 Apr;51(4):387-93. doi: 10.1002/jcb.2400510402 DOI: [10.1002/jcb.2400510402](https://doi.org/10.1002/jcb.2400510402)
8. Ebrahimi M., Sharifov S., Salili M. et al. An introduction to impact of bio-resonance technology in genetics and epigenetics. *Epigenetics Territory and Cancer*. 01.01.2015. P. 495–513. DOI: [10.1007/978-94-017-9639-2_16](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9639-2_16)
9. Майнош Б. С. Використання біорезонансних технологій в умовах районної поліклініки = Using bioresonance technologies in conditions of regional hospital / Б. С. Майнош // *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. – 2018. – № 2. – С. 240–245.
10. Майнош Б. С. Вегетативний резонансний тест і деякі його діагностичні можливості (Чортківська ЦКРЛ Тернопільської області) / Б. С. Майнош // *Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю. Рефлексотерапія в Україні : досвід і перспективи (Київ 28–30 вересня 2009 року)*. – С. 105–106.
11. Foletti, A., Grimaldi, S., Lisi, A., Ledda, M., & Liboff, A. R. (2013). Bioelectromagnetic medicine: The role of resonance signaling. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 32(4), 484–499. <https://doi.org/10.3109/15368378.2012.743908>
12. Lambeck M. Quantum physics and oscillations –A paradigm shift of medicine? *Allergologie*. 2006. Vol.29. No.12. P.485–490.

13. Бородин Н. К. Біорезонанс в электропунктурной діагностиці по методу Р. Фолля (ЕАУ). Питання і відповіді. Сучасні методи біорезонансної діагностики та електромагнітної терапії: матеріали науковопрактичної конференції з міжнародною участю, Київ, 06-07 квітня 2013 року. Київ, 2013. С. 21-23.
14. Бобрицька О. М. Визначення функціонального стану органів та систем собак біорезонансним методом. Фізіологічний журнал: додаток (матеріали XIX-го з'їзду Українського фізіологічного товариства ім. П. Г. Костюка з міжнародною участю, присвяченого 90-річчю від дня народження академіка П. Г. Костюка). 2014. Т. 60, № 3. С. 217-218
15. Бобрицька О. М. Визначення функціонального стану органів та систем собак біорезонансним методом. Фізіологічний журнал: додаток (матеріали XIX-го з'їзду Українського фізіологічного товариства ім. П. Г. Костюка з міжнародною участю, присвяченого 90-річчю від дня народження академіка П. Г. Костюка). 2014. Т. 60, № 3. С. 217-218.
16. Лагунова Н. Ст, Кіт А. О., Трегубова Н. А. Метод частотно-резонансної терапії за допомогою приладу «Паркес-Л» у комплексній реабілітації дітей з хронічною гастродуоденальною патологією. Сучасні методи біорезонансної діагностики та електромагнітна терапія: матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю. Київ, 6-7 квітня 2013 року. 48-53.
17. Muehsam, D.; Ventura, C. Life Rhythm as a Symphony of Oscillatory Patterns: Electromagnetic Energy and Sound Vibration Modulates Gene Expression for Biological Signaling and Healing. Glob. Adv. Health Med. 2014, 3, 40–55. doi: [10.7453/gahmj.2014.008](https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.008)
18. Lisi A., Ledda M., de Carlo F., Pozzi D., Messina E., Gaetani R., Chimenti I., Barile L., Giacomello A., D'Emilia E., Giuliani L., Foletti A., Patti A., Vulcano A., Grimaldi S. Ion cyclotron resonance as a tool in regenerative medicine. Electromagn Biol Med. 2008;27(2):127-33 DOI: [10.1080/15368370802072117](https://doi.org/10.1080/15368370802072117)
19. Giuliani, L.; D'Emilia, E.; Grimaldi, S.; Lisi, A.; Bobkova, N.; Zhadin, M.N. Investigating the Icr Effect in a Zhadin's Cell. Int. J. Biomed. Sci. 2009, 5, 181–186. PMID: [3614765](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3614765/)
20. Haagensen J., Bache M., Giuliani L., Blom N. (2021). Effects of resonant electromagnetic fields on biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*. Applied Sciences. 2021. Vol.11. No.6. P. 7760. DOI <https://doi.org/10.3390/app11167760>
21. Liboff, A.R. Cyclotron Resonance in Membrane Transport. In Interactions between Electromagnetic Fields and Cells; Chiabrera, A., Nicolini, C., Schwan, H.P., Eds.; Plenum Press: New York, NY, USA, 1985; pp. 281–290.
22. Zhadin M.N., Novikov V.V., Barnes F.S., Pergola NF. Combined action of static and alternating magnetic fields on ionic current in aqueous glutamic acid solution. Bioelectromagnetics. 1998;19(1):41-45. DOI: [10.1002/\(sici\)1521-186x\(1998\)19:1<41::aid-bem4>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1998)19:1<41::aid-bem4>3.0.co;2-4)
23. Adair, R.K. Constraints on Biological Effects of Weak Extremely-Low-Frequency Electromagnetic Fields. Phys. Rev. A 1991, 43, 1039–1048. DOI: [10.1103/physreva.43.1039](https://doi.org/10.1103/physreva.43.1039)
24. Del Giudice, E.; Preparata, G.; Vitiello, G. Water as a Free Electric Dipole Laser. Phys. Rev. Lett. 1988, 61, 1085–1088. DOI: [10.1103/PhysRevLett.61.1085](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.61.1085)
25. Arani, R.; Bono, I.; Giudice, E.D.; Preparata, G. QED Coherence and the Thermodynamics of Water. Int. J. Mod. Phys. B 1995, 9, 1813–1841. <https://doi.org/10.1142/S0217979295000744>
26. Бездольна І. С. Адаптаційно-приспосувальна діяльність та механізми структурно-функціональної реорганізації фізіологічних систем організму під впливом електромагнітних полів при їх нормуванні у довкіллі : автореф. дис. ... д-ра біол. наук : 14.02.01 / Ін-т гігієни та мед. екології ім. О.М. Марзєєва АМН України. Київ, 2003.
27. Пустова С. В., Яненко О. П. Дослідження електрофізичних і електромагнітних параметрів біологічно активних точок людського організму. Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія «Радіотехніка. Радіоапаробудування». 2007. № 34. С. 142–149.
28. Johns LD. Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: the frequency resonance hypothesis. J Athl Train. 2002 Jul;37(3):293-299. PMID: [16558674](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16558674/)
29. Бобрицька О. М. Визначення функціонального стану органів і систем організму тварин з використанням біорезонансної методики. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. Харків, 2011. Вип. 23, ч. 2, т. 1 : Ветеринарні науки. С. 79–83.
30. Бобрицька О. М. Біорезонансна методика як альтернативний метод визначення функціонального стану органів і систем організму тварин. Науковотехнічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК. Дніпропетровськ, 2012. Т. 1, № 1. С. 54–58.
31. Бобрицька О. М. Функціональна активність біологічно активних точок собак. Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія Ветеринарні науки. Луганськ, 2012. № 37. С. 12–15.
32. Simkó M., Mattsson M.O. Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. J Cell Biochem. 2004 Sep 1;93(1):83-92. DOI: [10.1002/jcb.20198](https://doi.org/10.1002/jcb.20198)
33. Mert T., Metin T.O., Sahin M., Yaman S. Antiinflammatory properties of antiLy6G antibody disappear during magnetic field exposure in rats with carrageenan induced acute paw inflammation. Naunyn Schmiedeberg Arch Pharmacol. 2020 Nov;393(11):2107-2115. DOI: [10.1007/s00210-020-01925-y](https://doi.org/10.1007/s00210-020-01925-y)

34. Mert T., Ocal I., Cinar E., Yalcin M.S., Gunay I. Pain-relieving effects of pulsed magnetic fields in a rat model of carrageenan-induced hindpaw inflammation. *Int J Radiat Biol.* 2014 Jan;90(1):95-103. DOI: [10.3109/09553002.2013.835501](https://doi.org/10.3109/09553002.2013.835501)
35. Blank M., Goodman R. DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol.* 2011 Apr;87(4):409-415. DOI: [10.3109/09553002.2011.538130](https://doi.org/10.3109/09553002.2011.538130)
36. Blank M., Goodman R.M. Electromagnetic fields and health: DNA-based dosimetry. *Electromagn Biol Med.* 2012 Dec;31(4):243-249. DOI: [10.3109/15368378.2011.624662](https://doi.org/10.3109/15368378.2011.624662)
37. Madl P., Renati P. Quantum Electrodynamics Coherence and Hormesis: Foundations of Quantum Biology. *Int J Mol Sci.* 2023 Sep 12;24(18):14003. <https://doi.org/10.3390/ijms241814003>
38. SİNCAN, Suat: Examination of the Experiences of Practitioners Applying Resonance Therapies in Türkiye: Survey Study. *Journal of Traditional Medical Complementary Therapies*, 2024, Vol 7, Issue 1, p 47. DOI: [10.5336/jtracom.2023-99994](https://doi.org/10.5336/jtracom.2023-99994)
39. Kofler H., Ulmer H., Mechtler E., Falk M., Fritsch P.O. Bioresonanz bei Pollinose - eine vergleichende Untersuchung zur diagnostischen und therapeutischen Wertigkeit. *Allergologie* 1996; 19: 114-122.
40. Wolański L., Stanisławek A., Kachaniuk H. Znajomość pojęcia i metod medycyny alternatywnej na przykładzie populacji korzystającej z usług jednego z gabinetów bioresonansu [Knowledge of the term and methods of alternative medicine in the example of the patients of one bioresonance practice]. *Pol Merkur Lekarski.* 2007 Dec;23(138):430-434.
41. Vinker S., Nakar S., Amir N., Lustman A., Weingarten M. [Family practitioners' knowledge and attitudes towards various fields of non-conventional medicine]. *Harefuah.* 2002 Oct;141(10):883-887.
42. Evans A., Duncan B., McHugh P., Shaw J., Wilson C. Inpatients' use, understanding, and attitudes towards traditional, complementary and alternative therapies at a provincial New Zealand hospital. *N Z Med J.* 2008 Jul 25;121(1278):21-34.
43. Fredric Bruce Shaffer, Zachary M. Meehan A Practical Guide to Resonance Frequency Assessment for Heart Rate Variability Biofeedback / *Neurosci.*, 08 October 2020 Sec. Autonomic Neuroscience Volume 14 – 2020 <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.570400>
44. Бобрицька О. М., Королева О. В. Електродинамічний метод визначення функціонального стану серця у собак. Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК. 2016 Т. 4, № 3. С. 40–44. <https://bicom.com.ua>
45. Herrmana E., Galle M. Retrospective surgery study of the therapeutic effectiveness of MORA bioresonance therapy with conventional therapy resistant patients suffering from allergies, pain and infection diseases. *Eur J Integr Med* 2011; 3(3): 237-246. DOI: [10.1016/j.eujim.2011.05.051](https://doi.org/10.1016/j.eujim.2011.05.051)
47. Yakymchuk M. A., Prylypko S. I. Some aspects of the application of the frequency-resonance method in the diagnosis and neutralization of pathogens. *Clinical and Preventive Medicine.* 2023. Vol.1. No.23. P.100–104. DOI: [10.31612/2616-4868.1\(23\).2023.14](https://doi.org/10.31612/2616-4868.1(23).2023.14)
48. Herold D. Inappropriate test methods in allergy. *Hautarzt.* 2010. Vol.61. No.11. P. 961–966. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00105-010-1969-9>.
49. Rafferty A.P, McGee H.B, Miller C.E, Reyes M. Prevalence of complementary and alternative medicine use: State-specific estimates from the 2001 Behavioral Risk Factor Surveillance System. *Am J Public Health* 2002; 92(10): 1598-600. DOI: [10.2105/ajph.92.10.1598](https://doi.org/10.2105/ajph.92.10.1598)
50. Skovgaard L., Nicolajsen P.H., Pedersen E., *et al.* Differences between users and non-users of complementary and alternative medicine among people with multiple sclerosis in Denmark: A comparison of descriptive characteristics. *Scand J Public Health* 2013; 41(5): 492-499. DOI: [10.1177/1403494813481646](https://doi.org/10.1177/1403494813481646)
51. Garland S.N., Valentine D., Desai K., *et al.* Complementary and alternative medicine use and benefit finding among cancer patients. *J Altern Complement Med* 2013; 19(11): 876-881. DOI: [10.1089/acm.2012.0964](https://doi.org/10.1089/acm.2012.0964)
52. Barnes P.M., Powell-Griner E., McFann K., Nahin R.L. Complementary and alternative medicine use among adults: United States, 2002. *Adv Data* 2004; 343(343): 1-19.
53. Herrmann E., Galle M.: Retrospective surgery study of the therapeutic effectiveness of MORA bioresonance therapy with conventional therapy resistant patients suffering from allergies, pain and infection diseases. *Eur J Integr Med* 2011; *Volume 3, Issue 3*, p 237-244. DOI: [10.1016/j.eujim.2011.05.051](https://doi.org/10.1016/j.eujim.2011.05.051)
54. Muresan D., Salcudean A., Sabau D.C., Bodo C.R., Gabos Grecu I. Bioresonance therapy may treat depression. *J Med Life.* 2021 Mar-Apr;14(2):238-242. doi: [10.25122/jml-2021-0008](https://doi.org/10.25122/jml-2021-0008)
55. Muresan D., Voidăzan S., Salcudean A., Bodo C.R., Grecu I.G. Bioresonance, an alternative therapy for mild and moderate depression. *Exp Ther Med.* 2022 Apr;23(4):264. DOI: [10.3892/etm.2022.11190](https://doi.org/10.3892/etm.2022.11190)
56. Apóstolo J., Queirós P., Rodrigues M., Castro I., Cardoso D. The effectiveness of nonpharmacological interventions in older adults with depressive disorders: a systematic review. *JBIC Database System Rev Implement Rep.* 2015 Jul 17; 13(6): 220-278. DOI: [10.11124/jbisr-2015-1718](https://doi.org/10.11124/jbisr-2015-1718)
57. Muresan et al. Bioresonance, an alternative therapy for mild and moderate depression. *Experimental and Therapeutic Medicine* Volume 23 Issue 4. 2022. <https://doi.org/10.3892/etm.2022.11190>

58. Cabioğlu M. T., Aslan E. L., Karabey S. Z. et al. Effects of bioresonance application in mice with depressive-like behavior. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2022. Vol.173. No.3. P.326–329. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10517-022-05543-x>
59. Mert T. Pulsed magnetic field treatment as antineuropathic pain therapy. *Rev Neurosci*. 2017 Oct 26;28(7):751–758. DOI: [10.1515/revneuro-2017-0003](https://doi.org/10.1515/revneuro-2017-0003)
60. Harrison, J.J.; Stremick, C.A.; Turner, R.J.; Allan, N.D.; Olson, M.E.; Ceri, H. Microtiter Susceptibility Testing of Microbes Growing on Peg Lids: A Miniaturized Biofilm Model for High-Throughput Screening. *Nat. Protoc*. 2010, 5, 1236–1254. DOI: [10.1038/nprot.2010.71](https://doi.org/10.1038/nprot.2010.71)
61. Bartell, J.A.; Cameron, D.R.; Mojsoska, B.; Haagensen, J.A.J.; Pressler, T.; Sommer, L.M.; Lewis, K.; Molin, S.; Johansen, H.K. Bacterial Persists in Long-Term Infection: Emergence and Fitness in a Complex Host Environment. *PLoS Pathog*. 2020, 16 (12), p.100–112. doi: [10.1371/journal.ppat.1009112](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009112)
62. Freebairn, D.; Linton, D.; Harkin-Jones, E.; Jones, D.S.; Gilmore, B.F.; Gorman, S.P. Electrical Methods of Controlling Bacterial Adhesion and Biofilm on Device Surfaces. *Expert Rev. Med. Devices* 2013.; 10(1): 85–103. DOI: [10.1586/erd.12.70](https://doi.org/10.1586/erd.12.70)
63. Ceri, H.; Olson, M.E.; Stremick, C.; Read, R.R.; Morck, D.; Buret, A. The Calgary Biofilm Device: New Technology for Rapid Determination of Antibiotic Susceptibilities of Bacterial Biofilms. *J. Clin. Microbiol*. 1999, 37(6), 1771–1776. DOI: [10.1128/JCM.37.6.1771-1776.1999](https://doi.org/10.1128/JCM.37.6.1771-1776.1999)
64. Barassi G., Pirozzi G. Alessandro, Iorio A. Di.; Pellegrino R. et al. Quantum Medicine and Irritable Bowel Syndrome-Associated Chronic Low-Back Pain: A Pilot Observational Study on the Clinical and Bio-Psychosocial Effects of Bioresonance Therapy. *Medicina* 2024, 60(7), 1099 <https://doi.org/10.3390/medicina60071099>
65. Бобрицька О. М., Югай К. Д. Функціональний стан органів травлення при застосуванні комплексу «Паркес-Л» у собак. Тези доповідей 2-го фізіологічного з'їзду, 1 березня 2015 року. 2015. С. 35–36.
66. Бобрицька О. М. Фізіологічне обґрунтування використання біорезонансного методу для визначення та корекції функціонального стану органів та систем. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини : зб. наук. праць Харків. держ. зоовет. акад. Харків. 2017. Вип. 36, ч. 2 : Ветеринарні науки. С. 19–24.
67. Liu L.-L., Wan K.-S., Cheng C.-F. et al. Effectiveness of MORA electronic homeopathic copies of remedies for allergic rhinitis: A short-term, randomized, placebo-controlled pilot study. *European Journal of Integrative Medicine*. 2013. Vol.5. No.2. P.119–125. DOI: [10.1016/j.eujim.2012.10.003](https://doi.org/10.1016/j.eujim.2012.10.003)

REFERENCES

1. Prasad A, Rossi C, Lamponi S, Pospíšil P, & Foletti A. (2014) New perspective in cell communication: potential role of ultra-weak photon emission. *Journal Photochem Photobiol B*. 139:47-53. DOI: [10.1016/j.jphotobiol.2014.03.004](https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.03.004).
2. Alberto F, Mario L, Sara P, Settimio G, & Antonella L. (2014) Electromagnetic information delivery as a new tool in translational medicine. *Int Journal Clin Exp Med*. 7(9):2550-2556.
3. Yakymchuk M.A., Prylipko S.I. (2023) Some aspects of the application of the frequency-resonance method in the diagnosis and neutralization of pathogens.) *Clinical and preventive medicine*, № 1(23). С. 100-104.
4. Norman R.L., Dunning-Davies J., Heredia-Rojas J.A., & Foletti A. (2016) Quantum information medicine: The future direction of medical science: Antimicrobial and other potential nontoxic treatments. *World Journal Neurosci*; 6(3): 193-207. DOI: [10.4236/wjns.2016.63024](https://doi.org/10.4236/wjns.2016.63024)
5. Podchernyaeva R. J., Lopatina O. A., Mikhailova G. R. et al. (2008) Effect of exogenous frequency exposure on human cells. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. Vol.146. No.1. P.148–152. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10517-008-0224-1>
6. Karakos P., Grigorios T., Theodoros K., & Theodoros L. (2019) The Effectiveness of Bioresonance Method on Human Health. *The Open Epidemiology Journal*, № 1, p. 1-8 DOI [10.2174/1874297120190800001](https://doi.org/10.2174/1874297120190800001)
7. Bassett C.A. (1993) Beneficial effects of electromagnetic fields. *Journal Cell Biochem*. Apr;51(4):387-93. doi: [10.1002/jcb.2400510402](https://doi.org/10.1002/jcb.2400510402)
8. Ebrahimi M., Sharifov S., Salili M. et al. (2015) An introduction to impact of bio-resonance technology in genetics and epigenetics. *Epigenetics Territory and Cancer*. P. 495–513. DOI: [10.1007/978-94-017-9639-2_16](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9639-2_16)
9. Mainosh B. S. (2018) Using bioresonance technologies in conditions of regional hospital Achievements of clinical and experimental medicine. (2), 240–245.
10. Mainosh B. S. (2009) Vegetative resonance test and some of its diagnostic possibilities (Chortkiv Central Clinical Research Center of Ternopil region) Materials of the scientific and practical conference with international participation. *Reflexotherapy in Ukraine: experience and prospects* (Kyiv). pp. 105–106.
11. Foletti, A., Grimaldi, S., Lisi, A., Ledda, M., & Liboff, A. R. (2013). Bioelectromagnetic medicine: The role of resonance signaling. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 32(4), 484–499. <https://doi.org/10.3109/15368378.2012.743908>
12. Lambeck M. (2006) Quantum physics and oscillations –A paradigm shift of medicine? *Allergologie*. Vol.29. No.12. P.485–490.
13. Borodinov N. K. (2013) Bioresonance in electroacupuncture diagnostics according to the method of R. Voll (EAY). Questions and answers. Current methods of bioresonance diagnostics and electromagnetic therapy: materials of the scientific-practical conference with international participation, Kyiv, pp. 21-23.

14. Bobrytska O. M. (2014) Determination of the functional state of organs and systems of dogs by the bioresonance method. *Physiological Journal: Supplement (materials of the XIXth Congress of the Ukrainian Physiological Society named after P. G. Kostyuk with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician P. G. Kostyuk)*. Vol. 60, No. 3. P. 217-218
15. Bobrytska O. M. (2014) Determination of the functional state of organs and systems of dogs by the bioresonance method. *Physiological Journal: Supplement (materials of the XIXth Congress of the Ukrainian Physiological Society named after P. G. Kostyuk with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician P. G. Kostyuk)*. Vol. 60, No. 3. P. 217-218.
16. Lagunova N. V., Kit A. O., Tregubova N. A. (2013) The method of frequency resonance therapy using the device "Parkes-L" in the complex rehabilitation of children with chronic gastroduodenal pathology. *Modern methods of bioresonance diagnostics and electromagnetic therapy: materials of the scientific and practical conference with international participation*. Kyiv. P. 48-53.
17. Muehsam, D. Ventura, C. (2014) Life Rhythm as a Symphony of Oscillatory Patterns: Electromagnetic Energy and Sound Vibration Modulates Gene Expression for Biological Signaling and Healing. *Glob. Adv. Health Med.* (3), 40–55. doi: [10.7453/gahmj.2014.008](https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.008)
18. Lisi A., Ledda M., de Carlo F, Pozzi D, Messina E, Gaetani R, Chimenti I, Barile L, Giacomello A, D'Emilia E, Giuliani L, Foletti A, Patti A, Vulcano A, & Grimaldi S. (2008) Ion cyclotron resonance as a tool in regenerative medicine. *Electromagn Biol Med.* 27(2):127-33 DOI: [10.1080/15368370802072117](https://doi.org/10.1080/15368370802072117)
19. Giuliani, L., D'Emilia, E., Grimaldi, S., Lisi, A., Bobkova, N., & Zhadin, M.N. (2009) Investigating the Icr Effect in a Zhadin's Cell. *Int. Journal Biomed. Sci.* 5, 181–186. PMID: 3614765
20. Haagensen J., Bache M., Giuliani L., Blom N. (2021). Effects of resonant electromagnetic fields on biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied Sciences*. Vol.11. No.6. P. 7760. DOI <https://doi.org/10.3390/app11167760>
21. Liboff, A.R. (1985) Cyclotron Resonance in Membrane Transport. In *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*; Chiabrera, A., Nicolini, C., Schwan, H.P., Eds.; Plenum Press: New York, NY, USA; pp. 281–290.
22. Zhadin M.N., Novikov V.V., Barnes F.S., Pergola N.F. (1998) Combined action of static and alternating magnetic fields on ionic current in aqueous glutamic acid solution. *Bioelectromagnetics*.19(1):41-45. DOI: 10.1002/(sici)1521-186x(1998)19:1<41::aid-bem4>3.0.co;2-4
23. Adair, R.K. (1991) Constraints on Biological Effects of Weak Extremely-Low-Frequency Electromagnetic Fields. *Phys. Rev. A* 43, 1039–1048. DOI: [10.1103/physreva.43.1039](https://doi.org/10.1103/physreva.43.1039)
24. Del Giudice, E.; Preparata, G.; Vitiello, G. (1988) Water as a Free Electric Dipole Laser. *Phys. Rev. Lett.* 1988, 61, 1085–1088. DOI: [10.1103/PhysRevLett.61.1085](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.61.1085)
25. Arani, R.; Bono, I.; Giudice, E.D.; Preparata, G. (1995) Qed Coherence and the Thermodynamics of Water. *Int. Journal Mod. Phys. B* 9, 1813–1841. <https://doi.org/10.1142/S0217979295000744>
26. Bezdolna I. S. (2003) Adaptive activity and mechanisms of structural and functional reorganization of physiological systems of the organism under the influence of electromagnetic fields during their normalization in the environment: author's abstract of dissertation ... doctor of biological sciences. Institute of Hygiene and Medical Ecology of the Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kyiv.
27. Pustova S. V., Yanenko O. P. (2007) Research of electrophysical and electromagnetic parameters of biologically active points of the human body. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Series "Radio Engineering. Radio Equipment Manufacturing"*. No. 34. pp. 142–149.
28. Johns L.D. (2002) Nonthermal effects of therapeutic ultrasound: the frequency resonance hypothesis. *Journal Athl Train.*;37(3):293-299. PMID: 16558674
29. Bobrytska O. M. (2011) Determination of the functional state of organs and systems of the animal body using bioresonance methods. *Problems of zooengineering and veterinary medicine*. Kharkiv, Vol. 23, part 2, vol. 1: Veterinary sciences. pp. 79–83.
30. Bobrytska O. M. (2012) Bioresonance method as an alternative method for determining the functional state of organs and systems of the animal body. *Scientific and technical bulletin of the Research Center for Biosafety and Environmental Control of Agricultural Resources*. Dnipropetrovsk, Vol. 1, No. 1. pp. 54–58.
31. Bobrytska O. M. (2012) Functional activity of biologically active points of dogs. *Scientific Bulletin of the Luhansk National Agrarian University. Series Veterinary Sciences*. Luhansk, No. 37. pp. 12–15.
32. Simkó M., Mattsson M.O. (2004) Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. *Journal Cell Biochem.* Sep 1;93(1):83-92. DOI: [10.1002/jcb.20198](https://doi.org/10.1002/jcb.20198)
33. Mert T., Metin T.O., Sahin M., Yaman S. (2020) Antiinflammatory properties of antiLy6G antibody disappear during magnetic field exposure in rats with carrageenan induced acute paw inflammation. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol.* Nov;393(11):2107-2115. DOI: 10.1007/s00210-020-01925-y
34. Mert T., Ocal I., Cinar E., Yalcin M.S., Gunay I. (2014) Pain-relieving effects of pulsed magnetic fields in a rat model of carrageenan-induced hindpaw inflammation. *Int Journal Radiat Biol.* Jan;90(1):95-103. DOI: [10.3109/09553002.2013.835501](https://doi.org/10.3109/09553002.2013.835501)

35. Blank M, Goodman R. (2011) DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields. *Int Journal Radiat Biol.* Apr;87(4):409-415. DOI: [10.3109/09553002.2011.538130](https://doi.org/10.3109/09553002.2011.538130)
36. Blank M., Goodman R.M. (2012) Electromagnetic fields and health: DNA-based dosimetry. *Electromagn Biol Med.* 2012 Dec;31(4):243-249. DOI: [10.3109/15368378.2011.624662](https://doi.org/10.3109/15368378.2011.624662)
37. Madl P, Renati P. (2023) Quantum Electrodynamics Coherence and Hormesis: Foundations of Quantum Biology. *Int Journal Mol Sci.* Sep 12;24(18):14003. <https://doi.org/10.3390/ijms241814003>
38. Sincan, (2024) Suat: Examination of the Experiences of Practitioners Applying Resonance Therapies in Türkiye: Survey Study. *Journal of Traditional Medical Complementary Therapies*, Vol 7, Issue 1, p 47. DOI: 10.5336/jtracom.2023-99994
39. Kofler H., Ulmer H., Mechtler E., Falk M., Fritsch P.O. (1996) Bioresonanz bei Pollinose - eine vergleichende Untersuchung zur diagnostischen und therapeutischen Wertigkeit. *Allergologie*, 19: 114-122.
40. Wolanski L., Stanisławek A., Kachaniuk H. (2007) Knowledge of the term and methods of alternative medicine in the example of the patients of one bioresonance practice. *Pol. Merkur Lekarski.* Dec;23(138):430-434.
41. Vinker S, Nakar S, Amir N, Lustman A, Weingarten M. (2002) [Family practitioners' knowledge and attitudes towards various fields of non-conventional medicine]. *Harefuah.* Oct;141(10):883-887.
42. Evans A., Duncan B., McHugh P., Shaw J., Wilson C. (2008) Inpatients' use, understanding, and attitudes towards traditional, complementary and alternative therapies at a provincial New Zealand hospital. *N Z Med Journal* Jul 25;121(1278):21-34.
43. Fredric Bruce Shaffer, Zachary M. Meehan A. (2020) Practical Guide to Resonance Frequency Assessment for Heart Rate Variability Biofeedback / *Neurosci.*, 08 October Sec. Autonomic Neuroscience Vol.14. p.20 <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.570400>
44. Bobrytska O. M., Koroleva O. V. (2016) Electrodynamical method for determining the functional state of the heart in dogs. *Scientific and technical bulletin of the Research Center for Biosafety and Ecological Control of Agricultural and Industrial Complex Resources.* Vol. 4, No. 3. pp. 40–44. <https://bicom.com.ua>
45. Herrmana E, Galle M. (2011) Retrospective surgery study of the therapeutic effectiveness of MORA bioresonance therapy with conventional therapy resistant patients suffering from allergies, pain and infection diseases. *Eur Journal Integr Med* 3(3): 237-246. DOI: 10.1016/j.eujim.2011.05.051
47. Yakymchuk M. A., Prylypko S. I. (2023) Some aspects of the application of the frequency-resonance method in the diagnosis and neutralization of pathogens. *Clinical and Preventive Medicine.* Vol.1. No.23. P.100–104. DOI: [10.31612/2616-4868.1\(23\).2023.14](https://doi.org/10.31612/2616-4868.1(23).2023.14)
48. Herold D. (2010) Inappropriate test methods in allergy. *Hautarzt.* Vol.61. No.11. P. 961–966. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00105-010-1969-9>
49. Rafferty A.P, McGee H.B, Miller C.E, Reyes M. (2002) Prevalence of complementary and alternative medicine use: State-specific estimates from the 2001 Behavioral Risk Factor Surveillance System. *Am Journal Public Health* 92(10): 1598-600. DOI: 10.2105/ajph.92.10.1598
50. Skovgaard L., Nicolajsen P.H., Pedersen E., et al. (2013) Differences between users and non-users of complementary and alternative medicine among people with multiple sclerosis in Denmark: A comparison of descriptive characteristics. *Scand Journal Public Health* 41(5): 492-499. DOI: [10.1177/1403494813481646](https://doi.org/10.1177/1403494813481646)
51. Garland S.N., Valentine D., Desai K., et al. (2013) Complementary and alternative medicine use and benefit finding among cancer patients. *Journal Altern Complement Med*; 19(11): 876-881. DOI: 10.1089/acm.2012.0964
52. Barnes P.M., Powell-Griner E., McFann K., Nahin R.L. (2004) Complementary and alternative medicine use among adults: United States, 2002.; 343(343): 1-19.
53. Herrmann E., Galle M. (2011) Retrospective surgery study of the therapeutic effectiveness of MORA bioresonance therapy with conventional therapy resistant patients suffering from allergies, pain and infection diseases. *Eur Journal Integr Med* 2; Volume 3, Issue 3, p 237-244. DOI: [10.1016/j.eujim.2011.05.051](https://doi.org/10.1016/j.eujim.2011.05.051)
54. Muresan D., Salcudean A., Sabau D.C., Bodo C.R., Gabos Grecu I. Bioresonance therapy may treat depression. *J Med Life.* 2021 Mar-Apr;14(2):238-242. doi: 10.25122/jml-2021-0008
55. Muresan D., Voidăzan S., Salcudean A., Bodo C.R., Grecu I.G. (2022) Bioresonance, an alternative therapy for mild and moderate depression. *Exp Ther Med.* Apr;23(4):264. DOI: [10.3892/etm.2022.11190](https://doi.org/10.3892/etm.2022.11190)
56. Apóstolo J., Queirós P., Rodrigues M., Castro I., Cardoso D. (2015) The effectiveness of nonpharmacological interventions in older adults with depressive disorders: a systematic review. *JBIM Database System Rev Implement Rep.* Jul 17; 13(6): 220-278. DOI: 10.11124/jbisrir-2015-1718
57. Muresan et al. (2022) Bioresonance, an alternative therapy for mild and moderate depression. *Experimental and Therapeutic Medicine* Vol. 23 Issue 4. <https://doi.org/10.3892/etm.2022.11190>
58. Cabioglu M. T., Aslan E. L., Karabey S. Z. et al. (2022) Effects of bioresonance application in mice with depressive-like behavior. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* Vol.173. No.3. P.326–329. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10517-022-05543-x>
59. Mert T. (2017) Pulsed magnetic field treatment as antineuropathic pain therapy. *Rev Neurosci.* Oct 26;28(7):751-758. DOI: 10.1515/revneuro-2017-0003

60. Harrison, J.J.; Stremick, C.A.; Turner, R.J.; Allan, N.D.; Olson, M.E.; Ceri, H. (2010) Microtiter Susceptibility Testing of Microbes Growing on Peg Lids: A Miniaturized Biofilm Model for High-Throughput Screening. *Nat. Protoc.* 5, 1236–1254. DOI: [10.1038/nprot.2010.71](https://doi.org/10.1038/nprot.2010.71)
61. Bartell, J.A.; Cameron, D.R.; Mojsoska, B.; Haagensen, J.A.J.; Pressler, T.; Sommer, L.M.; Lewis, K.; Molin, S.; Johansen, H.K. (2020) Bacterial Persists in Long-Term Infection: Emergence and Fitness in a Complex Host Environment. *PLoS Pathog.* 16 (12), p.100–112. doi: [10.1371/journal.ppat.1009112](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009112)
62. Freebairn, D.; Linton, D.; Harkin-Jones, E.; Jones, D.S.; Gilmore, B.F.; Gorman, S.P. (2013) Electrical Methods of Controlling Bacterial Adhesion and Biofilm on Device Surfaces. *Expert Rev. Med. Devices*; 10(1): 85–103. DOI: [10.1586/erd.12.70](https://doi.org/10.1586/erd.12.70)
63. Ceri, H. Olson, M.E. Stremick, C. Read, R.R. Morck, D. Buret, A. (1999) The Calgary Biofilm Device: New Technology for Rapid Determination of Antibiotic Susceptibilities of Bacterial Biofilms. *J. Clin. Microbiol.* 37(6), 1771–1776. DOI: [10.1128/JCM.37.6.1771-1776.1999](https://doi.org/10.1128/JCM.37.6.1771-1776.1999)
64. Barassi G., Pirozzi Alessandro G., Iorio A. Di., Pellegrino R. et al. (2024) Quantum Medicine and Irritable Bowel Syndrome-Associated Chronic Low-Back Pain: A Pilot Observational Study on the Clinical and Bio-Psychosocial Effects of Bioresonance Therapy. *Medicina*, 60(7), 1099 <https://doi.org/10.3390/medicina60071099>
65. Bobrytska O. M., Yugay K. D. (2015) Functional state of the digestive organs when using the Parkes-L complex in dogs. Abstracts of the 2nd Physiological Congress. P. 35–36.
66. Bobrytska O. M. (2017) Physiological justification for the use of the bioresonance method to determine and correct the functional state of organs and systems. *Problems of zooengineering and veterinary medicine: collection of scientific works Kharkiv. State Zoovet. Acad. Kharkiv. Issue 36, part 2: Veterinary Sciences.* P. 19–24.
67. Liu L.-L., Wan K.-S., Cheng C.-F. et al. (2013) Effectiveness of MORA electronic homeopathic copies of remedies for allergic rhinitis: A short-term, randomized, placebo-controlled pilot study. *European Journal of Integrative Medicine.* Vol.5. No.2. P.119–125. DOI: [10.1016/j.eujim.2012.10.003](https://doi.org/10.1016/j.eujim.2012.10.003)

Temnenko I. P., Iliukha L. M.

Evaluation of the effectiveness of the frequency-resonance method and bioresonance influences: a critical analysis of scientific research

Introduction. Frequency resonance method (FRM) and bioresonance effects (BRE) are directions in alternative and complementary medicine that have gained some popularity among patients and practitioners. The basis of these methods is the idea that each biological object (cells, organs, microorganisms) has its own specific electromagnetic oscillations. The idea that biological objects have their own electromagnetic oscillations is generally accepted in science. However, the application of this concept for the diagnosis and treatment of diseases remains controversial. It is believed that changes in health are reflected in changes in these frequency characteristics, and the external influence of electromagnetic waves of a certain frequency can correct these disorders and promote recovery.

The aim of the research – conducting a comprehensive review and critical assessment of existing scientific research in physiology, identifying the strengths and weaknesses of the evidence base, and determining the prospects for further research into the frequency resonance method (FRM) and bioresonance effects (BRE) on the functional state of the body.

Materials and methods. The study used scientific articles published in international peer-reviewed journals, systematic reviews, experimental reports, and publications available in scientometric databases (Scopus, PubMed, Web of Science).

Overview of the main research material. The article provides a critical analysis of scientific research on the frequency resonance method (FRM) and bioresonance effects (BRE). The theoretical foundations of the methods, their diagnostic and therapeutic potential, as well as the available scientific evidence of effectiveness in various pathological conditions are considered. Special attention is paid to the methodological limitations of the studies conducted, the problems of standardization, the potential influence of the placebo effect and the ethical aspects of the use of FRM and BRE. Bioresonance is a holistic physical method that can be used in diagnostics and therapy for the treatment of various diseases. Bioresonance uses electromagnetic waves that it receives from the patient. Bioresonance works on the basis of spectral analysis of magnetic fields of living organisms, which allows the therapist to distinguish between normal and abnormal frequencies emitted by the body. Electromagnetic waves as epigenetic factors can influence

dynamic changes in chromatin, which leads to activation or inhibition of biochemical processes in the body and plays a crucial role in the development or treatment of chronic diseases.

Conclusion. *We believe that this biophysical treatment method changes the energy field of the affected organism, increasing the efficiency of the autoimmune system, thereby improving the overall health of a person. Based on the analysis of the literature, a conclusion is made about the need for more qualitative and controlled studies to determine the real clinical value of these methods.*

Key words: *frequency resonance method (FRM), bioresonance effects (BRE), reflexology; bioresonance diagnostics; human health.*

Надійшла до редакції / Received: 23.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

Михайло Михайлович Філіппов

Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України
Національний університет фізичного виховання і спорту України
filmish@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445>

Володимир Миколайович Ільїн

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

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

Володимир Ілліч Портніченко

Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України
dr.v.portnichenko@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1473-2408>

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЧИННИКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ УМОВИ ДЛЯ МАСОПЕРЕНОСУ РЕСПІРАТОРНИХ ГАЗІВ В ОРГАНІЗМІ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ В ГОРАХ

Мета. Проаналізувати (на основі літературного огляду і власних спостережень) вплив перебудов в організмі спортсменів в горах на умови забезпечення масопереносу респіраторних газів при м'язовій діяльності різної інтенсивності. **Методи.** Здійснювали аналіз спеціальної науково-методичної літератури з питань впливу нестачі O_2 у вдихуваному повітрі на функціонування системи зовнішнього дихання, серцево-судинну систему, кисневотранспортну функцію крові, тканинне дихання, гомеостатичні характеристики і т.і. **Результати** Розглядаються основні адаптаційні реакції цих систем в горах, які забезпечують надходження O_2 із зовнішнього середовища до легень, з'єднання з гемоглобіном, транспортування його з кров'ю до працюючих органів, віддача гемоглобіном і переміщення в м'язи, умови споживання O_2 , утворення CO_2 і виведення його із організму та інші процеси. Можна стверджувати про те, що регуляція кисневого постачання організму при фізичних навантаженнях в процесі адаптації до гіпоксії відбувається як на системному рівні, так і на рівні тканин: відбувається економізація всієї системи дихання, розширюються механізми регуляції процесу масоперенесення респіраторних газів.

Таким чином, при напруженій м'язовій діяльності в горах, в результаті зниженого PO_2 у вдихуваному повітрі відбуваються зміни функціонування практично усіх фізіологічних систем, які приймають участь в забезпеченні процесу масопереносу респіраторних газів в організмі.

Ключові слова: гори, адаптація, кардіо-респіраторна система, масоперенос O_2 і CO_2 , фізичні навантаження

Постановка проблеми.

Відомо, що при м'язовій діяльності для забезпечення клітин необхідною кількістю O_2 повинні підтримуватися певні рівні парціального тиску O_2 (PO_2) в альвеолярному повітрі, артеріальній крові, тканинах, венозній крові [1, 3, 10, 32 та інші]. Природно, що зниження PO_2 у вдихуваному повітрі, як це відбувається в горах, обов'язково призводить до змін процесу масопереносу респіраторних газів в організмі.

Гіпоксія, розвивається в горах, грає важливу роль в обмеженні досягнення максимального споживання кисню (МСК) і лімітує можливості його транспорту до

працюючих скелетних м'язів [22, 40]. У зв'язку з цим цікавим стає аналіз того, як змінюються умови для процесу масопереносу респіраторних газів?, якою напругою і в якому ступені функції системи дихання (зовнішнього дихання, кровообігу, газотранспортної функції крові, тканинного дихання тощо) забезпечують швидкість потоків респіраторних газів в організмі? що найбільшою мірою обмежує МСК і зв'язаний з ним рівень працездатності?

Відомо, що основними адаптаційними реакціями в організмі, які зумовлені перебуванням в гірських умовах, є: збільшення: легеневої вентиляції (ЛВ); серцевого викиду крові (СВК); вмісту гемоглобіну (Hb); кількості еритроцитів (Er) і підвищенню в них 2,3-дифосфогліцерата (ДФГ), що сприяє звільненню O₂ з оксигемоглобіну (HbO₂); кількості міоглобіну (Mb), що полегшує споживання O₂ (SpO₂); розміру та кількості мітохондрій і кількості окисних ферментів в тканинах тощо [5, 13, 25, 32, 41].

Реакція спортсменів на первинне перебування на висоті в горах – це гостра реакція, яка триває від декількох годин до декількох днів, а тривала – від двох до п'яти тижнів (табл.1).

Таблиця 1.

**Характер змін реакцій в організмі спортсменів
на перебування і тренування в умовах середньогір'я**

Фізіологічна функція	Перші дні після переміщення в гори	Останні дні перебування в горах
1	2	3
Легенева вентиляція	Підвищена легенева вентиляція	Легенева вентиляція залишається підвищеною
ЧСС	Підвищена ЧСС в спокої і під час виконання вправ; знижені значення максимальної ЧСС	Повернення значення ЧСС спокою до початку підготовки в горах; максимальна ЧСС залишається зниженою
Систолічний об'єм крові	Зменшення систолічного об'єму в спокої і під час виконання інтенсивної вправи	Повернення значення систолічного об'єму к рівню до початку підготовки в горах
Серцевий викид крові	Знижений серцевий викид в спокої і при виконанні інтенсивної вправи	Повернення значення серцевого викиду к рівню до початку підготовки в горах
Лактат крові	Підвищене накопичення лактату після виконання інтенсивних і максимально інтенсивних вправ	Знижена величина лактату після виконання інтенсивних і максимально інтенсивних вправ про зрівнянню з рівнем до початку підготовки в горах
Аеробне енергозабезпечення	Зменшення МСК на 1% на кожні 100 м збільшення висоти перебування	Збільшення кількості аеробних ферментів; повернення МСК майже до рівня до початку підготовки в горах
Анаеробна ємність	Гіпоксія прискорює гліколітичні реакції і глікогеноліз	Підвищені буферні можливості м'язів збільшують анаеробну ємність
Гормональна регуляція	Збільшений рівень катехоламінів; викид еритропоетину, який стимулює виробництво еритроцитів і гемоглобіну	Збільшений рівень кортизолу, який вказує на стресову реакцію і впливає на катаболізм м'язової тканини
Гематологічна реакція	Об'єм плазми і загальний об'єм крові зменшуються зразу після переміщення в гори	Збільшений загальний об'єм крові, кількість еритроцитів і маси гемоглобіну

Продовження таблиці 1.

1	2	3
Скелетні м'язи		Підвищена щільність капілярів; можливе зменшення м'язової маси внаслідок катаболічної дії кортизола
Водний баланс	Тенденція до безводнення внаслідок посиленої дихальної функції і втрати води з сечею	Споживання води може бути збільшено до чотирьох-п'яти літрів на добу
Імунна система	Підвищений ризик інфекцій верхніх дихальних шляхів	Підвищений рівень гормонів стреса (катехоламінів, кортизола) пригнічує імунну функцію

Помітні зміни в діяльності різних систем організму спортсмена спостерігаються вже починаючи з висоти 1000-1200 м над рівнем моря (м н.р.м.) [6, 44, 49].

Для фізіології рухової активності і спорту, теорії гіпоксичних станів важливим є з'ясування механізмів, що забезпечують процес масопереносу і утилізації O_2 при м'язовій діяльності різної інтенсивності в умовах зниженого PO_2 у вдихуваному повітрі, особливостей задоволення при цьому підвищеного O_2 – запиту організму.

Одним з важливих наслідків гіпоксії є зниження оксигенації нирок, що стимулює синтез еритропоетина (ЕП) – гормону, який регулює виробництво еритроцитів й Нв в кітковому мозку. Цей процес відбувається в перші 5 – 7 днів. Після цього помітно збільшується здатність крові до транспорту O_2 , що сприяє підвищенню аеробних можливостей спортсменів [40, 42].

Встановлено, що з підйомом в гори МСК поступово знижується [2, 3, 23, 51] (рис.1). Так, якщо на рівні моря воно для фізично здорових дорослих чоловіків може досягати 60 - 70 мл/хв на кг маси тіла, то на висоті 2000 м – 53-58, 3000 м – 45 – 50, 5000 м – 40- 43, 6000 м – 35 - 38, 7000 – 27 - 30 і на висоті 8845 м н.р.м. (тобто, як на Євересті) воно падає майже до 10 – 12 мл/хв тобто, лише в 2 рази може перевищувати величин сновного обміну в умовах рівнини (останні дані передбачені на підставі залежності між висотою і зміною МСК, отриманих на менших висотах).

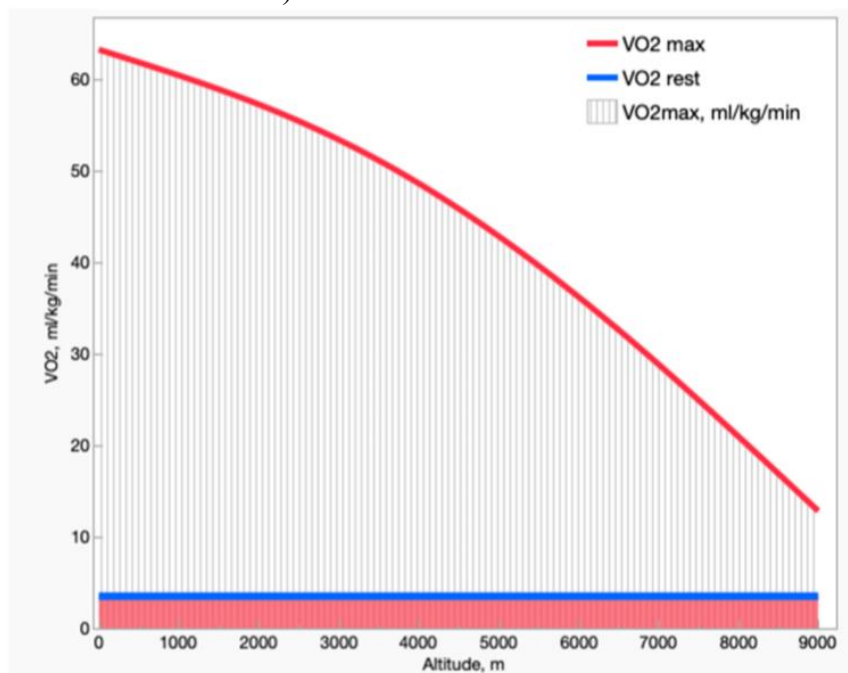


Рис.1.Зміни інтенсивності МСК (мл/кг/хв - червона лінія) на різних висотах в горах. Синя лінія – рівень SpO_2 в стані спокою на рівнині [23].

Певна ефективність гірської підготовки для підвищення функціональних можливостей спортсменів і спортивних результатів як у видах спорту, пов'язаних з проявом витривалості спортсменів, так і в інших, доведена в численних роботах дослідників, що працюють в галузі спортивної фізіології [4, 6, 12, 27, 46, 51].

Незважаючи на те, що кількість фундаментальних досліджень в цій галузі знань на післярадянському просторі значно скоротилася, інтерес до проблеми підготовки спортсменів в гірських умовах залишається досить високим.

Мета роботи. Проаналізувати (на основі літературного огляду і власних спостережень) вплив перебудов в організмі спортсменів в горах на умови забезпечення масопереносу респіраторних газів при м'язовій діяльності різної інтенсивності.

Методи. Здійснювали аналіз спеціальної науково-методичної літератури з питань впливу нестачі O_2 у вдихуваному повітрі на функціонування системи зовнішнього дихання, серцево-судинну систему, кисневотранспортну функцію крові, тканинне дихання, гомеостатичні характеристики і т.і. Аналізували питання, пов'язані з адаптаційними процесами у спортсменів при перебуванні в горах. Використовували неформативні файли пошукових систем: «Google», «Yandex» (www.yandex.ru) – 20 сайтів, «Каталог ресурсів» (www.aha.ru) – 30 сайтів, «Alta Vista» (www.alvista.com) – 40 сайтів.

Результати та їх обговорення. В даний час відомо багато закономірностей реакцій організму в горах на короткочасний і тривалий гіпоксичний вплив. В результаті встановлених факторів і положень, представлених в роботах великої кількості дослідників, в послідовному процесі адаптації до гірських умов виділяють: по-перше, реакції, спрямовані на відновлення порушеного гомеостазу і збереження інтенсивності тканинних процесів, відповідних кисневому O_2 -запиту, який досягається, перш за все, зусиллям функції зовнішнього дихання [7, 9], гемодинаміки [14, 16, 39, 44], зростанням кисневозв'язувальних властивостей крові [15, 17, 19, 25, 31, 34]; по-друге, морфофункціональними та біохімічними перетвореннями, які формують пристосувальні зміни на тканинному і клітинному рівнях [8, 26, 28, 37], що призводять до більш економного використання O_2 .

У перші дні перебування в середньогір'ї при стандартних фізичних навантаженнях відбувається посилення анаеробного гліколізу і підвищення в крові і м'язовій тканині рівня лактату [21, 32]. Через два-три тижні інтенсивність гліколізу і утворення лактату при таких же навантаженнях знижується і наближається до умов рівнини. Одночасно відзначається підвищення вмісту вільних жирних кислот в м'язовій тканині [32, 38, 50] і поліпшується метаболічна регуляція процесів енергозабезпечення [18, 26, 43, 47].

На думку деяких дослідників [9, 11, та інші], при м'язовій діяльності в горах основним чинником, що обмежує надходження O_2 в працюючий організм, є неможливість в значній мірі збільшувати легеневу вентиляцію (ЛВ). При виконанні однакової роботи вона зростає в суворій відповідності до висоти [7, 10, 17, 20]. Так, при навантаженні зі споживанням кисню 2 л/хв для рівня моря автори наводять значення ЛВ – 48 л, для висоти 2810 м – 69 л, 3660 м – 83 л, 4700 м – 110 л / хв.

Здавалося б, як впливає з цих даних, обмежувальним фактором працездатності є не зниження інтенсивності окислювальних процесів в працюючих м'язах і не погіршення продуктивності серця, а межа можливості збільшення ЛВ.

Проте, хоч як не переконливі ці дослідження, вони не розкривають причин, що лімітують працездатність на великих висотах в горах. Згідно з літературними даними, зниження МСК і граничної потужності механічної роботи не завжди залежить від можливості збільшувати ЛВ, а певну обмежувальну роль при цьому грає зниження альвеолярно-капілярної дифузії, яке відбувається внаслідок зменшення градієнта PO_2 [2, 15 та інші].

Завдяки аналітичним розрахункам [10, 29] було проаналізовано значення деяких компенсаторних механізмів в підтримці PO_2 в альвеолярному повітрі і артеріальній крові при різному зниженні PO_2 у вдихуваному повітрі. Показано, що при відсутності компенсаторних впливів, зміна PO_2 на цих етапах його шляху в організмі пропорційна його

зниженню у вдихуваному повітрі, але коефіцієнт пропорційності неоднаковий. При цьому посилення вентиляції не повністю компенсує зниження вмісту O_2 у вдихуваному повітрі до 12 і тим більше 10 і 8 об. % (еквівалентно висотам 4500, 5800 і 7500 м н.р.м.), так як PO_2 в артеріальній крові виявляється нижче «критичних рівнів» [15]. Зміни режиму дихання (різних поєднань його частоти і дихального об'єму) не грають суттєвої ролі в компенсаторному ефекті збільшення ЛВ. Ці дослідження свідчать, якщо PO_2 у вдихуваному повітрі знижується до 125-120 мм рт.ст., що має місце в середньогір'ї на висотах до 2000 м н.р.м., в спокої організм може обійтися без помітного збільшення ЛВ і СВК, оскільки в цих умовах кисневі параметри артеріальної крові, а також в працюючих м'язах вище «критичних рівнів» [8]. При зниженні PO_2 у вдихуваному повітрі до 90 мм рт.ст. (на висотах близько 4000 м н.р.м.), без вираженого збільшення ЛВ і системного кровотоку, PO_2 в крові і тканинах виявляється нижче «критичного рівня».

Тільки інтенсивна активність компенсаторних механізмів може запобігти в цих умовах розвитку тканинної гіпоксії. Їх ефективність при подальшому зменшенні PO_2 у вдихуваному повітрі знижується. Якщо воно стає нижче 76 мм рт.ст. ніяке посилення вентиляції і підвищення швидкості кровотоку, за розрахунками цих авторів, не можуть запобігти розвитку тканинної гіпоксії.

Розрахунки, проведені за методом Runge-Kutta [9, 36, 37], показали, що якщо в спокої на рівні моря насичення гемоглобіну O_2 в процесі проходження еритроцита по легеневому капіляру відбувається за 0,7 с, то при барометричному тиску 250 мм рт.ст. – за 0,2 с. При цьому звичайно капілярний PO_2 не доходить до рівня в альвеолярному повітрі (градієнт становить близько 6 мм рт.ст.). Тобто, якщо навіть в умовах спокою обмежується дифузія O_2 в легенях, то при м'язовій діяльності, в результаті збільшення O_2 -запиту, ситуація, природно, погіршується. При цьому дифузійна здатність легень знижується на 45% [2, 15].

Є відомості про те [3, 7, 9, 10, 37, 45 та інші], що при роботі в умовах низького PO_2 між рівнем ЛВ і ступенем оксигенації артеріальної крові немає пропорційної залежності – вентиляція зростає в більшій мірі ніж споживання O_2 і прогресуюче знижується оксигенація. Це, очевидно, відбувається не тільки через зниження дифузійної здатності, а й через зростання шунтування крові в легенях [15]. На великих висотах в горах навіть в спокої, внаслідок вазоконстрикції легеневих судин, підвищується легеневий артеріальний тиск, зростає кровонаповнення легень, підвищується в'язкість крові, що при навантаженні призводить до розвитку легеневої гіпертензії [11]. Тобто, зниження МСК в горах не завжди є наслідком обмежених вентиляційних можливостей легень. За даними ряду авторів [24, 28], ЛВ при фізичному навантаженні зростає в лінійній залежності від продукції CO_2 . Тому в гірських умовах значну роль в обмеженні вентиляторної відповіді на навантаження може грати підвищене його вимивання [2, 20, 29], при цьому нахил графіка залежності ЛВ від швидкості виділення CO_2 в горах змінюється [28]. Ці ж дослідники виявили високий ступінь кореляції зі зниженням оксигенації крові, що відтікає від працюючих м'язів. Крім того, в горах відбувається перебудова регуляції дихання при м'язовій діяльності, в результаті чого зростає використання O_2 в легенях [11, 20]. Тобто, збільшення ЛВ в горах необхідно в першу чергу не тільки для того, щоб збільшити PO_2 в альвеолах, але і для того, щоб забезпечити надходження до них необхідної кількості O_2 . Але, через велику енергетичну вартість посилення роботи дихальних м'язів, таке підвищення вентиляції виявляється неефективним. Показано [2], що ЛВ при МСК зростає в горах лише до висоти близько 6000 м н.р.м., а потім вона прогресуюче знижується. Проведені розрахунки [4, 36] вказують на те, що навіть в спокої на такій висоті ніяке посилення вентиляції не забезпечує необхідний рівень PO_2 в альвеолярному повітрі і артеріальній крові, що призводить до розвитку важкої тканинної гіпоксії. З огляду на те, що при рівнях вентиляції понад 120 л/хв на роботу дихання витрачається до 20-25% всього споживаного O_2 , а при 150 л/хв ця величина може досягати 50% і більше [10,], значно підвищується киснева вартість роботи, а економічність функції зовнішнього дихання падає. Відомо [10, 11], що навіть в спокої на висоті 4500 м н.р.м. кожен

літр споживаного O₂ вилучається з майже в два рази більших кількостей вентилюваного через легені повітря, ніж на рівні моря (28-30л – на рівнині і 55-60л – в горах).

У горах при навантаженнях субмаксимальної і максимальної інтенсивності SpO₂ знижується не тільки в результаті обмеження можливостей надходження O₂ в легені і альвеоли, але і в результаті зменшення градієнта PO₂ між альвеолярним повітрям і кров'ю, лімітуючої ролі дифузійної здатності легень для його переходу до крові, зниженого ступеня оксигенації артеріальної крові, погіршення продуктивності роботи серця [20, 46, 50] і інших чинників.

Відомості про прямі виміри систолічного об'єму крові (СОК) і СВК в горах при напруженій м'язовій діяльності майже відсутні. Але є вказівки на те, що СВК не може бути збільшеним більше, ніж на рівні моря, тому роль серця в компенсації нестачі O₂ обмежена [16, 28]. Також відомо, що при стандартній роботі в горах частота серцевих скорочень (ЧСС) виявляється більшою, ніж на рівні моря [10, 16, 45], хоча впрацювання при цьому навіть у спортсменів сповільнюється в порівнянні з тим, що спостерігається на рівні моря [48]. Навпаки, при навантаженнях з МСК в горах, як правило, ЧСС не досягає значень, зареєстрованих на рівні моря [1]. До цих пір механізм зниження максимальної ЧСС в горах залишається в повному обсязі не виявленим, хоча, на думку одних авторів [43], він обумовлений збереженням тону парасимпатичної нервової системи, інших [33, 38] – пов'язаний з уповільненням антріовентрікулярної провідності у зв'язку з гіпоксемією. Очевидно, можливі й інші пояснення.

При аналізі ролі кровотоку при МСК в горах розраховано [44], що для збільшення швидкості споживання кисню на 8-10% необхідна майже на 50% вища об'ємна швидкість кровотоку. Тобто, хоча внесок системної гемодинаміки в забезпечення працюючих тканин O₂ при МСК є вагомим, необхідна участь і інших механізмів. Показано [16, 33], що при роботі субмаксимальної потужності в умовах барокамери (тиск 464 мм рт.ст.) ЧСС і СВК виявляються більшими, ніж в умовах нормоксії. Ці ж автори, при проведенні досліджень в горах на висоті 4350 м н.р.м., тобто такої яка утворювалася в барокамері, показали, що СВК на 2-й день після переїзду виявився зниженим на 16%, а на 10-й день - на 29% в порівнянні з тим, що був на рівні моря. Максимальна ЧСС при цьому також була значно нижче, а СОК на 2-й і 10-й дні був меншим на 13 і 24%. Тобто в регуляції роботи серцевого м'яза певний вплив має перебудова вегетативної регуляції.

У зв'язку зі зменшенням в горах СОК при напруженій м'язовій діяльності, виникає питання про те, що є цьому причиною при нестачі O₂ у вдихуваному повітрі – підвищення периферичного опору?, порушення скорочувальної здатності міокарда?, зміна умов для енергоутворення в серцевому м'язі?, або інші чинники? Дані літератури [33] про зміну систолічного артеріального тиску при м'язовій діяльності в горах свідчать про те, що він мало відрізняється від того, що зазвичай спостерігається на рівні моря, тому питання про те, що для збільшення СОК є труднощі з боку периферії, є неспроможними.

Електрокардіографічні дослідження [33] свідчать про те, що в горах, на відміну від рівня моря, відразу після дозованої роботи з'являються ознаки погіршення коронарного кровопостачання, на кардіограмі знижується інтервал ST, відбувається сплюснення зубця Т, вкорочується механічна систола, збільшується відношення періоду довигнання до часу вигнання крові з серця.

Дослідження, проведені на смужках міокарда і на ізольованих препаратах папілярного м'язу щурів, дозволили диференціювати роль нервових і гуморальних впливів на регуляцію серця при скороченні в гіпоксичних умовах в залежності від морфофункціональних та біохімічних зрушень на тканинному рівні [38]. Так, в умовах високогір'я сила і ступінь укорочення папілярних м'язів істотно змінюються: зменшується сила максимального напруження, знижується можливість досягнення максимальної частоти скорочення м'язів на пропоновану стимуляцію. Поєднання впливу силового навантаження і частоти подразнення призводить до зменшення амплітуди укорочення, зниження працездатності м'яза на 38-45%.

Зниження скорочувальної активності серця в горах можна пояснити прямим впливом гіпоксемії: знижується швидкість окислення і окисного фосфорилування в мітохондріях міокарда, дихального і окисного фосфорилування для НАД-залежних субстратів. Дефіцит енергії, на думку деяких дослідників [30, 41], є основним моментом у розвитку ранніх гіпоксичних порушень в міокарді. Представлені результати дозволяють в деякій мірі пояснити причини ослаблення скорочувальних можливостей серця під час напруженої м'язової діяльності в горах.

Таким чином, літературні дані свідчать про те, що в горах порушуються умови функціонування міокарда, що проявляється в погіршенні його скорочувальної здатності і зниженні можливості забезпечити при напруженій м'язовій діяльності таку як на рівні моря швидкість масопереносу респіраторних газів кров'ю.

З метою оцінки можливості збільшення швидкості доставки O_2 до посилено функціонуючих м'язів при фізичній роботі в горах необхідно враховувати і роль перерозподілу кровотоку в організмі. Виявлено, що він відрізняється від того, що спостерігається при нормальному PO_2 у вдихуваному повітрі. Визначення регіонарного кровотоку у щурів за допомогою Cs^{137} відразу після навантаження плаванням показали, що в гіпоксичному середовищі в більшій мірі, ніж зазвичай, збільшується кровоток через працюючі скелетні м'язи, діафрагму, міокард [30]. Аналогічні результати були отримані і при вивченні периферичного кровотоку у людей на висоті 3500 м н.р.м. в процесі навантажень помірної інтенсивності [49].

В результаті обмеження кровотоку через печінку і нирки в значній мірі знижується швидкість утилізації молочної кислоти, що утворюється в працюючих м'язах. При цьому в крові збільшується концентрація іонів водню, зсувається кислотно-лужний стан (КЛС) в м'язах і крові та порушуються умови для утилізації O_2 [30].

Якщо врахувати, що в горах в здоровому організмі в спокої спостерігається газовий алкалоз, викликаний посиленням функції зовнішнього дихання і розвитком гіпокапнії, і відбувається посилене вимивання нирками лугів, зменшення ємності бикарбонатного резерву призводить до того, що при напруженій м'язовій діяльності до погіршеної здатності нирок і печінки утилізувати молочну кислоту приєднується і зменшена здатність з'єднувати солі кислоти, що при цьому утворюються [11].

Аналізуючи роль інших факторів, що лімітують МСК і працездатність в горах, не слід забувати і про ефект поліцитемії. Так, з одного боку, підвищення концентрації Hb в крові призводить до зростання кисневої ємності крові, покращує транспортні можливості крові при м'язовій діяльності, а з іншого, гемоконцентрація і підвищена у зв'язку з цим в'язкість крові призводять до того, що при певних рівнях об'ємної швидкості кровотоку через працюючі м'язи і легеневі капіляри він в значній мірі ускладнюється [31, 34].

Серед чинників, що забезпечують підвищення працездатності і МСК при тренуванні в горах, є васкуляризація і пов'язане з нею збільшення капілярного кровотоку в м'язах [1, 14, 41]. При цьому включення числа активних капілярів на одиницю поперечного перерізу може бути результатом ангиогенезу [46]. Також при адаптації відбувається деяка функціональна реорганізація судинного русла м'язів [19, 46], що збільшує нутритивний кровоток і полегшує дифузію респіраторних газів. Крім того, можливо, збільшення вмісту Mv в тканинах підсилює дифузію газів в ділянках, найбільш віддалених від кровоносних судин [45].

Можна стверджувати про те, що регуляція кисневого постачання організму при фізичних навантаженнях в процесі адаптації до гіпоксії відбувається як на системному рівні, так і на рівні тканин [24, 30]: відбувається економізація всієї системи дихання, розширюються механізми регуляції процесу масоперенесення респіраторних газів.

Таким чином, при напруженій м'язовій діяльності в горах, в результаті зниженого PO_2 у вдихуваному повітрі відбуваються зміни функціонування практично усіх фізіологічних систем, які приймають участь в забезпеченні процесу масопереносу респіраторних газів в організмі. Але, незважаючи на це, в літературі безпосередньо відсутня

комплексна оцінка цілісного процесу динаміки масопереноса респіраторних газів при фізичній роботі в зонах різної потужності в залежності від висоти над рівнем моря, його відмінності в порівнянні з розвитком гіпоксії навантаження на рівні моря. Останнє буде представлено в наступній публікації.

Внесок авторів: Всі автори брали рівну участь у розробці концепції, пошуку літератури, методології, написанні та редагуванні цієї статті, прочитали і погодилися з опублікованою версією рукопису.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ільїн В. М., Філіппов М.М., Клименко Г.В. Перебудови в системі дихання спортсменів при адаптації до середньогір'я // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2019. VI(22), Issue: 193. P. 69-72. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-17>.
2. Портниченко В., Ільїн В., Філіппов М., Коваль С. Стан регуляторних процесів організму бігунів на середні дистанції після тренувань в умовах середньогір'я. // *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2021;1;61-66. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2021.1.61-66>.
3. Сосновский В. В. Пастухова В. А., Філіппов М. М., Ільїн В. М. Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії. // *Science and education a new dimension. Natural and Technical Sciences*. - VI(22), Issue: 186, 2018 Dec.-P. 42-45. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22>.
4. Філіппов М. М., Ільїн В. М., Портниченко В. І., Лук'янцева Г. В. Системні зміни в організмі спортсменів, які впливають на масоперенесення респіраторних газів при м'язовій діяльності в горах. // *Вісник проблем біології і медицини*, 2019. Вип. 2, том 2 (151). С. 64-71. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2019-2-2-151-64-71.13>
5. Azad, P.; Stobdan, T.; Zhou, D.; Hartley, I.; Akbari, A.; Bafna, V.; Haddad, G.G. High-altitude adaptation in humans: From genomics to integrative physiology.// *J. Mol. Med.* 2017, 95, 1269–1282. <https://doi.org/10.1007/s00109-017-1584-7>.
6. Basak N., Norboo T., Mustak M.S., Thangaraj K. Heterogeneity in Hematological Parameters of High and Low Altitude Tibetan Populations. *J. Blood Med.* 2021, 12, 287–298. <https://doi.org/10.2147/jbm.S294564>.
7. Beretta E., Lanfranchi F., Grasso G.S., Bartsaghi M., Alemayehu H.K., Pratali L. et al. Air blood barrier phenotype correlates with alveolo-capillary O₂ equilibration in hypobaric hypoxia // *Respir Physiol Neurobiol*. 2017 Dec;246:53-58. doi: 10.1016/j.resp.2017.08.006.
8. Beretta E., Grasso G.S., Forcaia, G., Sancini, G., Miserocchi, G. Differences in alveolo-capillary equilibration in healthy subjects on facing O₂ demand. *Sci. Rep.* 2019, 9, 16693. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52679-4>.
9. Bartscher J., Mallet R.T., Pialoux V., Millet G.P., Bartscher M. Adaptive Responses to Hypoxia and/or Hyperoxia in Humans. *Antioxid. Redox Signal.* 2022, 37, 887–912. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.028>.
10. Dominelli P.B., Wiggins C.C., Roy T.K., Secomb T.W., Curr, T.B., Joyner, M.J. The Oxygen Cascade During Exercise in Health and Disease. *Mayo Clin. Proc.* 2021, 96, 1017–1032. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.06.063>.
11. Fitzgerald R.S., Rocher A. Physiology and Pathophysiology of Oxygen Sensitivity. *Antioxidants*. 2021, 10, 1114. <https://doi.org/10.3390/antiox10071114.2>.
12. Gao L., Ortega-Sáenz P., Moreno-Domínguez A., López-Barneo J. Mitochondrial Redox Signaling in O₂-Sensing Chemoreceptor Cells. *Antioxid. Redox Signal.* 2022, 37, 274–289. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.0255>.
13. Lemieux P., Birot O. Altitude, Exercise, and Skeletal Muscle Angio-Adaptive Responses to Hypoxia: A Complex Story. *Front. Physiol.* 2021, 12, 735557. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.735557>.
14. Leonard E.M., Salman S., Nurse, C.A. Sensory Processing and Integration at the Carotid Body Tripartite Synapse: Neurotransmitter Functions and Effects of Chronic Hypoxia. *Front. Physiol.* 2018, 9, 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00225>.
15. Li Y., Wang, Y. Effects of Long-Term Exposure to High Altitude Hypoxia on Cognitive Function and Its Mechanism: A Narrative Review. *Brain Sci.* 2022, 12, 808. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060808>.
16. López-Barneo J., Ortega-Sáenz P. Mitochondrial acute oxygen sensing and signaling. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 2022, 57, 205–225. <https://doi.org/10.1080/10409238.2021>.
17. Marquis A.D., Jezek F., Pinsky D.J., Beard D.A. Hypoxic pulmonary vasoconstriction as a regulator of alveolar-capillary oxygen flux: A computational model of ventilation-perfusion matching.// *PLoS Comput. Biol.* 2021, 17, e1008861. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008861>.
18. Murray A.J., Montgomery H.E., Feelisch M., Grocott M.P.W., Martin D.S. Metabolic adjustment to high-altitude hypoxia: From genetic signals to physiological implications. // *Biochem. Soc. Trans.* 2018, 46, 599–607. <https://doi.org/10.1042/BST20170502>.
19. Jacobs R.A., Lundby A.K., Fenk S., Gehrig S., Siebenmann C., Fluck D., Kirk, N., Hilty M.P., Lundby C. Twenty-eight days of exposure to 3454 m increases mitochondrial volume density in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 2016, 594, 1151–1166. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2012.066092>.

20. Ora J., Rogliani P., Dauri M., O'Donnell D. Happy hypoxemia, or blunted ventilation? *Respir. Res.* 2021, 22, 4. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01604-9>.
21. Pena E., El Alam S., Siques P., Brito, J. Oxidative Stress and Diseases Associated with High-Altitude Exposure. *Antioxidants*. 2022, 11, 267. <https://doi.org/10.3390/antiox11020267>.
22. Pilotto, A.M., Adami A., Mazzolari R., Brocca L., Crea E., Zuccarelli L., Pellegrino M.A., Bottinelli R., Grassi B., Rossiter H.B. et al. Near-infrared spectroscopy estimation of combined skeletal muscle oxidative capacity and O(2) diffusion capacity in humans. *J. Physiol.* 2022, 600, 4153–4168. <https://doi.org/10.1113/jp283267>.
23. Poole D.C., Kano Y., Koga S., Musch T.I., August Krogh: Muscle capillary function and oxygen delivery. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 2021, 253, 110852. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110852>.
24. Poole D.C., Musch T.I., Colbu, T.D. Oxygen flux from capillary to mitochondria: Integration of contemporary discoveries. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2022, 122, 7–28. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04854-7>.
25. Richalet J.P., Hermand E. Modeling the oxygen transport to the myocardium at maximal exercise at high altitude. *Physiol. Rep.* 2022, 10, e15262. <https://doi.org/10.14814/phy2.15262>.
26. Tremblay J.C., Ainslie P.N. Global and country-level estimates of human population at high altitude. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102463118>.
27. Samaja M., Ottolenghi S. The Oxygen Cascade from Atmosphere to Mitochondria as a Tool to Understand the (Mal)adaptation to Hypoxia. *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 3670. <https://doi.org/10.3390/ijms24043670>.
28. Siebenmann C., Lundby C. Regulation of cardiac output in hypoxia. *Scand J. Med. Sci. Sport* 2015, 25 (Suppl. 4), 53–59. <https://doi.org/10.1111/sms.12619>.
29. Siebenmann C. CK, Oberholzer L., Fisher J.P., Hilsted L...M, Rasmussen P. et al. Hypoxia-induced vagal withdrawal is independent of the hypoxic ventilatory response in men. *J. Appl. Physiol.* 2019 Jan. 1; 126(1):124–131. doi: 10.1152/japplphysiol.00701.2018.
30. Sinex J. A., & Chapman R. F. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 2015, 4(4), 325–332. doi:10.1016/j.jshs.2015.07.005.
31. Sosnovsky V.V., Pastukhova V.A., Pornichenko V.I., Filippov M.M., Ilyin V.M. Effects of medium-height mountain training on the functional abilities and physical fitness of mid-distance runners. *Journal of Physical Education and Sport*® (JPES), 2019, Vol.19 (4), Art 360, pp. 2379 - 2383, ISSN:2247-806X;p-ISSN:2247–8051;ISSN-L=2247-8051c JPES.
32. Stembridge M., Ainslie P.N., Shave R. Mechanisms underlying reductions in stroke volume at rest and during exercise at high altitude. *Eur. J. Sport. Sci.* 2016, 16, 577–584. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1071876>.
33. Theunissen S., Balestra C., Bolognesi S., Borgers G., Vissenaeken D., Obeid G., Germonpré P., Honoré P.M., De Bel D. Effects of Acute Hypobaric Hypoxia Exposure on Cardiovascular Function in Unacclimatized Healthy Subjects: A “Rapid Ascent” Hypobaric Chamber Study. *Int. J. Env. Res. PublicHealth* 2022, 19, 5394. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095394>
34. Wagner P.D. Reduced maximal cardiac output at altitude--mechanisms and significance. *Respir. Physiol.* 2000, 120, 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(99\)00101-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(99)00101-2).
35. Simonso T.S., Bermudez D., León-Velarde F. High-Altitude Erythrocytosis: Mechanisms of Adaptive and Maladaptive Responses. *Physiology* 2022, 37, 175–186. <https://doi.org/10.1152/physiol.00029.2021>.
36. Vizcardo-Galindo G., Leon-Velarde F., Villafuert F.C. High-Altitude Hypoxia Decreases Plasma Erythropoietin Soluble Receptor Concentration in Lowlanders. *High Alt. Med. Biol.* 2020, 21, 92–98. <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0118>.
37. West J. B. Oxygen Conditioning: A New Technique for Improving Living and Working at High Altitude. *Physiology* 2016, 31, 216–222. <https://doi.org/10.1152/physiol.00057.2015>.
38. Wiggins C.C., Constantini K., Paris H.L., Mickleborough T.D., Chapman R.F. Ischemic Preconditioning, O₂ Kinetics, and Performance in Normoxia and Hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 2019 May;51(5):900–911. doi: 10.1249/MSS.0000000000001882.

REFERENCES

1. Ilyin B. M., Filippov M.M., Klimenko G.V. Restructuring in the respiratory system of athletes during adaptation to the middle mountains // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2019. VI(22), Issue: 193. P. 69–72. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-17>.
2. Portnychenko V., Ilyin V., Filippov M., Koval S. The state of regulatory processes in the body of middle-distance runners after training in the middle mountains. 2021;1;61–66. <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2021.1.61-66>.
3. Sosnovsky VV, Pastukhova VA, Filippov MM, Ilyin VM Analysis of power spectra of heart rate variability in athletes during initial adaptation to conditions of mountain hypoxia. *Natural and Technical Sciences*. - VI(22), Issue: 186, 2018 Dec.-P. 42–45. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22>.
4. Filippov M. M., Ilyin V. M., Portnychenko V. I., Lukyantseva G. V.. Systemic changes in the body of athletes that affect the mass transfer of respiratory gases during muscle activity in the mountains. Issue 2, volume 2 (151). C. 64–71. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2019-2-2-151-64-71>.
5. Azad, P.; Stobdan, T.; Zhou, D.; Hartley, I.; Akbari, A.; Bafna, V.; Haddad, G.G. High-altitude adaptation in humans: From genomics to integrative physiology.// *J. Mol. Med.* 2017, 95, 1269–1282. <https://doi.org/10.1007/s00109-017-1584-7>.

6. Basak N., Norboo T., Mustak M.S., Thangaraj K. Heterogeneity in Hematological Parameters of High and Low Altitude Tibetan Populations. *J. Blood Med.* 2021, 12, 287–298. <https://doi.org/10.2147/jbm.S294564>.
7. Beretta E., Lanfranconi F., Grasso G.S., Bartesaghi M., Alemayehu H.K., Pratali L. et al. Air blood barrier phenotype correlates with alveolo-capillary O₂ equilibration in hypobaric hypoxia // *Respir Physiol Neurobiol.* 2017 Dec;246:53-58. doi: 10.1016/j.resp.2017.08.006.
8. Beretta E., Grasso G.S., Forcaia G., Sancini, G., Miserocchi, G. Differences in alveolo-capillary equilibration in healthy subjects on facing O₂ demand. *Sci. Rep.* 2019, 9, 16693. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52679-4>.
9. Bartscher J., Mallet R.T., Pialoux V., Millet G.P., Bartscher M. Adaptive Responses to Hypoxia and/or Hyperoxia in Humans. *Antioxid. Redox Signal.* 2022, 37, 887–912. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.028>.
10. Dominelli P.B., Wiggins C.C., Roy T.K., Secomb T.W., Curr, T.B., Joyner, M.J. The Oxygen Cascade During Exercise in Health and Disease. *Mayo Clin. Proc.* 2021, 96, 1017–1032. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.06.063>.
11. Fitzgerald R.S., Rocher A. Physiology and Pathophysiology of Oxygen Sensitivity. *Antioxidants.* 2021, 10, 1114. <https://doi.org/10.3390/antiox10071114.2>.
12. Gao L., Ortega-Sáenz P., Moreno-Domínguez A., López-Barneo J. Mitochondrial Redox Signaling in O₂-Sensing Chemoreceptor Cells. *Antioxid. Redox Signal.* 2022, 37, 274–289. <https://doi.org/10.1089/ars.2021.0255>.
13. Lemieux P., Birot O. Altitude, Exercise, and Skeletal Muscle Angio-Adaptive Responses to Hypoxia: A Complex Story. *Front. Physiol.* 2021, 12, 735557. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.735557>.
14. Leonard E.M., Salman S., Nurse, C.A. Sensory Processing and Integration at the Carotid Body Tripartite Synapse: Neurotransmitter Functions and Effects of Chronic Hypoxia. *Front. Physiol.* 2018, 9, 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00225>.
15. Li Y., Wang, Y. Effects of Long-Term Exposure to High Altitude Hypoxia on Cognitive Function and Its Mechanism: A Narrative Review. *Brain Sci.* 2022, 12, 808. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060808>.
16. López-Barneo J., Ortega-Sáenz P. Mitochondrial acute oxygen sensing and signaling. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 2022, 57, 205–225. <https://doi.org/10.1080/10409238.2021>.
17. Marquis A.D., Jezek F., Pinsky D.J., Beard D.A. Hypoxic pulmonary vasoconstriction as a regulator of alveolar-capillary oxygen flux: A computational model of ventilation-perfusion matching. // *PLoS Comput. Biol.* 2021, 17, e1008861. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008861>.
18. Murray A.J., Montgomery H.E., Feelisc M., Grocott M.P.W., Martin D.S. Metabolic adjustment to high-altitude hypoxia: From genetic signals to physiological implications. // *Biochem. Soc. Trans.* 2018, 46, 599–607. <https://doi.org/10.1042/BST20170502>.
19. Jacobs R.A., Lundby A.K., Fenk S., Gehrig S., Siebenmann C., Fluck D., Kirk, N., Hilty M.P., Lundby C. Twenty-eight days of exposure to 3454 m increases mitochondrial volume density in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 2016, 594, 1151–1166. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2012.066092>.
20. Ora J., Rogliani P., Dauri M., O'Donnell D. Happy hypoxemia, or blunted ventilation? *Respir. Res.* 2021, 22, 4. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01604-9>.
21. Pena E., El Alam S., Siques P., Brito, J. Oxidative Stress and Diseases Associated with High-Altitude Exposure. *Antioxidants.* 2022, 11, 267. <https://doi.org/10.3390/antiox11020267>.
22. Pilotto, A.M., Adami A., Mazzolari R., Brocca L., Crea E., Zuccarelli L., Pellegrino M.A., Bottinelli R., Grassi B., Rossiter H.B. et al. Near-infrared spectroscopy estimation of combined skeletal muscle oxidative capacity and O₂ diffusion capacity in humans. *J. Physiol.* 2022, 600, 4153–4168. <https://doi.org/10.1113/jp283267>.
23. Poole D.C., Kano Y., Koga S., Musch T.I., August Krogh: Muscle capillary function and oxygen delivery. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 2021, 253, 110852. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110852>.
24. Poole D.C., Musch T.I., Colbu, T.D. Oxygen flux from capillary to mitochondria: Integration of contemporary discoveries. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2022, 122, 7–28. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04854-7>.
25. Richalet J.P., Hermand E. Modeling the oxygen transport to the myocardium at maximal exercise at high altitude. // *Physiol. Rep.* 2022, 10, e15262. <https://doi.org/10.14814/phy2.15262>.
26. Tremblay J.C., Ainslie P.N. Global and country-level estimates of human population at high altitude. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102463118>.
27. Samaja M., Ottolenghi S. The Oxygen Cascade from Atmosphere to Mitochondria as a Tool to Understand the (Mal)adaptation to Hypoxia. // *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 3670. <https://doi.org/10.3390/ijms24043670>.
28. Siebenmann C., Lundby C. Regulation of cardiac output in hypoxia. // *Scand J. Med. Sci. Sport* 2015, 25 (Suppl. 4), 53–59. <https://doi.org/10.1111/sms.12619>.
29. Siebenmann C. CK, Oberholzer L., Fisher J.P., Hilsted L...M, Rasmussen P. et al. Hypoxia-induced vagal withdrawal is independent of the hypoxic ventilatory response in men. // *J. Appl. Physiol.* 2019 Jan. 1; 126(1):124-131. doi: 10.1152/japplphysiol.00701.2018.
30. Sinex J. A., & Chapman R. F. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. // *Journal of Sport and Health Science*, 2015, 4(4), 325-332. doi:10.1016/j.jshs.2015.07.005.
31. Sosnovsky V.V., Pastukhova V.A., Pornichenko V.I., Filippov M.M., Ilyin V.M. Effects of medium-height mountain training on the functional abilities and physical fitness of mid-distance runners. // *Journal of Physical Education and Sport* ® (JPES), 2019, Vol.19 (4), Art 360, pp. 2379 - 2383, ISSN:2247-806X;p-ISSN:2247-8051;ISSN-L=2247-8051c JPES.

32. Stembridge M., Ainslie P.N., Shave R. Mechanisms underlying reductions in stroke volume at rest and during exercise at high altitude. *Eur. J. Sport. Sci.* 2016, 16, 577–584. [https://doi.org/ 10.1080/17461391.2015.1071876](https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1071876).
33. Theunissen S., Balestra C., Bolognesi S., Borgers G., Vissenaeken D., Obeid G., Germonpré P., Honoré P.M., De Bel D. Effects of Acute Hypobaric Hypoxia Exposure on Cardiovascular Function in Unacclimatized Healthy Subjects: A “Rapid Ascent” Hypobaric Chamber Study. *Int. J. Env. Res. PublicHealth* 2022, 19, 5394. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095394>
34. Wagner P.D. Reduced maximal cardiac output at altitude--mechanisms and significance. *Respir. Physiol.* 2000, 120, 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(99\)00101-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(99)00101-2).
35. Simonso T.S., Bermudez D., León-Velarde F. High-Altitude Erythrocytosis: Mechanisms of Adaptive and Maladaptive Responses. *Physiology* 2022, 37, 175–186. <https://doi.org/10.1152/physiol.00029.2021>.
36. Vizcardo-Galindo G., Leon-Velarde F., Villafuente F.C. High-Altitude Hypoxia Decreases Plasma Erythropoietin Soluble Receptor Concentration in Lowlanders. *High Alt. Med. Biol.* 2020, 21, 92–98. <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0118>.
37. West J. B. Oxygen Conditioning: A New Technique for Improving Living and Working at High Altitude. *Physiology* 2016, 31, 216–222. <https://doi.org/10.1152/physiol.00057.2015>.
38. Wiggins C.C., Constantini K., Paris H.L., Mickleborough T.D., Chapman R.F. Ischemic Preconditioning, O₂ Kinetics, and Performance in Normoxia and Hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 2019 May;51(5):900-911. doi: 10.1249/MSS.0000000000001882.

Filippov M.M., Ilyin V.M., Portnychenko V.I.

Functional factors providing conditions for mass transfer of respiratory gases during muscular activity in the mountains

Abstract. For the physiology of motor activity and sports, the theory of hypoxic states, it is important to clarify the mechanisms that ensure the process of mass transfer and O₂ utilization during muscle activity of varying intensity under conditions of reduced RO₂ in the inhaled air, and the peculiarities of meeting the increased O₂ demand of the body. A certain effectiveness of hypoxic training for improving functional capabilities of athletes and sports results both in sports related to the manifestation of endurance of athletes and in others has been proven in numerous works of researchers working in the field of sports physiology.

Objective. To analyze (on the basis of the literature review and own observations) the influence of changes in the body of sportsmen in the mountains on the conditions of providing mass transfer of respiratory gases during muscular activity of different intensity.

Methods. We analyzed the special scientific and methodological literature on the influence of the lack of O₂ in the inhaled air on the functioning of the external respiratory system, cardiovascular system, oxygen transport function of blood, tissue respiration, homeostatic characteristics, etc.

Results The main adaptive reactions of these systems in the mountains are considered, which ensure the supply of O₂ from the environment to the lungs, its combination with hemoglobin, its transportation with blood to the working organs, its release by hemoglobin and movement to the muscles, the conditions of O₂ consumption, the formation of CO₂ and its excretion from the body, and other processes. It can be argued that the regulation of oxygen supply to the body during exercise in the process of adaptation to hypoxia occurs both at the systemic level and at the tissue level: the entire respiratory system is economized, and the mechanisms for regulating the process of mass transfer of respiratory gases are expanded.

Thus, during strenuous muscle activity in the mountains, as a result of reduced RO₂ in the inhaled air, there are changes in the functioning of almost all physiological systems involved in ensuring the process of mass transfer of respiratory gases in the body.

Key words: mountains, adaptation, cardiorespiratory system, mass transfer of O₂ and CO₂, physical activity.

Надійшла до редакції / Received: 30.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК: 581.524(091) (477.46)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-113-123

Галина Анатоліївна Чорна

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

udpu_botanika@ukr.netORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9633-1618>**Олександр Іванович Шиндер**

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

shinderoleksandr@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1146-0873>**Тетяна Василівна Мамчур**

Уманський національний університет садівництва

mamchur-tv@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9320-814X>**Тетяна Миколаївна Коструба**

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

tetiana_kostr11@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0093>

ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛОРИ МІСТА УМАНЬ (ЧЕРКАСЬКА ОБЛАСТЬ)

Актуальність. У статті розглянуто основні етапи історії досліджень флори міста Умань (Черкаська область) від першої половини XIX століття до сьогодення. Згадано ключових науковців, котрі зробили першочерговий внесок у вивчення флористичного складу регіону. Серед них славні імена А. Анджеївського, О. Роговича, Л. Гольца, Й. Пачоського, Ф. Блонського. **Результати.** Встановлено, що вже наприкінці XIX століття в досліджуваній урбанofлорі було зафіксовано понад 815 видів, що складає 71,6 % сучасного таксономічного багатства флори міста. Протягом XX століття до інвентаризаційного конспекту флори було додано близько 200 видів (17,6 %), а у XXI столітті – ще 124 види (10,8 %). За результатами встановлено, що урбанofлора Умані є однією з найбільш досліджених в Україні та включає 1140 видів і підвидів вищих рослин. Значну увагу приділено вивченню рослинного покриву дендрологічного парку «Софіївка» як важливого осередку інтродукції чужорідних рослин. Розкрито основні тенденції змін флористичного складу, зокрема поширення адвентивних видів та зникнення аборигенних таксонів. **Висновки.** Запропоновано перспективні напрями подальших досліджень.

Ключові слова: біорізноманіття; Правобережний Лісостеп; Софіївка; флористичні дослідження; ботаніки; історія науки.

Постановка проблеми. Сучасні міста належать до найбільш важливих екосистем, в яких виникають флори нового типу – урбанofлори. Вивчення їх таксономічного різноманіття і динаміки, особливо в історичному аспекті, є актуальним завданням сьогодення [1]. В Україні до нашого часу вивчені багато урбанofлор у більшості регіонів, але у Черкаській області такі дослідження до цього часу не проводилися. Одне із найбільш міст Середнього Придніпров'я – м. Умань, з чисельністю населення 81,5 тис. осіб – розташоване на перехресті шляхів, і практично з самого початку розвитку ботанічної науки в Україні не лишалося поза увагою природодослідників [2-5]. Однак узагальнення проведених досліджень до сьогодні були відсутні, а численні і часто фрагментарні дані містяться в джерелах, які давно стали бібліографічною рідкістю [3, 4, 6-8]. У зв'язку з цим узагальнення та аналіз флористичних відомостей щодо урбанofлори Умані є назрілими і важливими.

Мета дослідження. З'ясувати стан і особливості вивчення флори міста Умані та його околиць за весь час ботанічних досліджень, виявити їх повноту.

Матеріали і методи дослідження. Використані ретроспективні методи збору флористичних даних включали: з'ясування всіх відомостей про видовий склад рослин у літературних джерелах, починаючи від початку XIX століття [3, 4, 5, 9], опрацювання гербарних фондів насамперед Києва (KW, KWNA, KWHU), Умані (SOF, UM, UPU) [10-12] та інших, менш доступних гербаріїв; аналіз виданих ексикат уманської флори за виданнями серії «Herbarium Florae Rossica»; створення та опрацювання бібліографічної бази даних, зокрема по персоналіях флористів, які працювали в досліджуваному регіоні [2].

Результати дослідження та їх обговорення.

XIX – початок XX століття. Перші відомості про окремі рослини дослідженої флори мають загальний характер і зустрічаються в художніх описових творах щодо «Софіївки» або стосуються початку закладання насаджень дендрологічного парку [13]. Науковий період вивчення флори Умані та околиць розпочався у першій чверті XIX ст., коли місто відвідав А.Л. Анджейовський [3, 4]. Щоправда, цей видатний природознавець і першопроходець багатьох куточків України концентрувався на вивченні флори Подільської височини, а з Придніпровської височини його ботанічні відомості були дуже фрагментарні. У першій своїй книзі автор звернув увагу на безлісість колишнього Уманського повіту та ознаки того, що тут відкриті простори колись були вкриті лісами [3]. В наступній книзі А.Л. Анджейовський [4] відзначив загальні особливості рослинності околиць Умані: на північ від міста територія має лісовий характер, а на південь, у напрямку до річища Південного Бугу – більш степова. Лише через три десятиліття цей автор вказав кілька видів рослин із околиць Умані [14]. Але інші автори плідно використовували матеріали А.Л. Анджейовського. Так, за його зборами В.С. Бессер [15] навів для м. Умані *Prunus fruticosa* Pall. та *Onosma tinctoria* M.Bieb., причому для другої рослини було вказано рік збору – 1816. Дещо пізніше Е.І. Ейхвальд [16] навів для околиць Умані *Bromus squarrosus* L., *Cystopteris fragilis* (L.) Bernh. і *Thinopyrum intermedium* (Schur) Barkworth & D.R.Dewey. Авторство цих знахідок не було зазначене, але вони, імовірно, теж належать А.Л. Анджейовському. У більш пізній період уманські збори А.Л. Анджейовського наводили і інші автори, зокрема, О.С. Рогович [17].

В середині XIX ст. поодинокі вказівки кількох видів з Умані навів Е.Р. Траутфеттер [6]. Х. Стевен навів цікаву вказівку про знахідку у 1814 р. в молодому на той час парку «Софіївка» *Xanthium spinosum* L. (колектор Borosdin) [7]. Також, було вказано про розповсюдження птахами *Prunus mahaleb* L. із «Софіївки» у 1853 р. ботаніком Ф.І. Базинером [18]. Перші детальні вказівки про флору Умані навів О.С. Рогович – він загалом повідомив про понад 130 видів [17], у тому числі близько 30 – за неопублікованими матеріалами А.Л. Анджейовського, зібраними ним в останній період життя. Наступним значним внеском була публікація Л. Гольца за результатами вивчення у 1871 р. флори Уманщини [8]. Автор навів дещо більше 340 видів вищих судинних рослин, виявлених в Умані та близьких селах. Серед інших ним було наведено рідкісні види: *Pulsatilla grandis* Wender., *P. pratensis* (L.) Mill., *Stipa pennata* L. та інші, але окремі вказівки автора слід розглядати критично.

Найбільш продуктивними на довгий час залишилися результати вивчення флори Умані та близьких околиць міста Й.К. Пачоським, який у 1880–1886 роках навчався в Уманському училищі землеробства, хоча так і не закінчив тут курс академічної освіти [9, 10]. Цей видатний природознавець і фітогеограф розпочав свою наукову діяльність саме з Уманських терен. Автор навів для Умані близько 950 видів дикорослих і культивованих рослин, як в самому місті, так і в «Софіївці» (у той час парк називався «Царицин сад»), а також зробив деякий фітогеографічний аналіз дослідженої місцевості, звернув увагу на цілий ряд зниклих (переважно степових) видів [19]. Важливо, що автор розділяв дикорослі та культивовані рослини і такий підхід у наш час значно полегшує проведення аналізу урбанofлори. Також, автор відзначив, що чимало рослин, вказаних А.Л. Анджейовським і Л. Гольцем, уже імовірно зникли. Деякі матеріали Й.К. Пачоського в той час використали у своїх роботах його наставник І.Ф. Шмальгаузен [20], хоча далеко не завжди вказував

прізвище справжнього колектора, та любитель-аматор природи, член Київської спілки природознавців В. Монтрезор [21], котрий був разом із Й. Пачоським у спільних експедиціях. Нині значна частина уманських гербарних зборів Й.К. Пачоського зберігається в гербаріях UM і KW [10].

Вагомий вклад у предмет дослідження вніс F. Błoński [22], який описав за зразком, зібраним у «Царициному саду» його братом – M. Błoński – новий для науки вид *Linaria ruthenica* Błoński. На жаль, не яким залишилося походження цих рослин у парку (можливо, це був ергазіофіт), а «locus classicus» цього виду є, імовірно, втраченим. Велике значення мають фенологічні спостереження уманського ботаніка, метеоролога В.О. Поггенполя, проведені над кількома сотнями дикорослих рослин та ергазіофітів у «Софіївці» [23]. Поодинокі флористичні вказівки траплялися і в інших публікаціях, зокрема німецьких ботаніків Ф. Гердера у 1872 році та К. Мейнсгаузена у 1900 році й уже згаданих природодослідників В. Монтрезора, Й. Пачоського і Ф. Блонського [5]. Траплялися і некоректні відомості, як наприклад, *Rhynchospora alba* Vahl автором Л. Гольцом [8]. Завершився даний період первинного накопичення флористичних відомостей періодичними вказівками Й.К. Пачоського про рослини уманської флори у низці своїх публікацій [5, 9]. А у серійному виданні Списків рослин «Herbarium Florae Rossica» за 1898, 1900, 1901, 1902, 1905 і 1908 роки були опубліковані окремі вказівки на ексикати гербарних зразків рослин, зібраних в Умані [5].

Загалом, упродовж XIX ст. лише в літературних джерелах було наведено понад 815 видів і підвидів дослідженої флори, що становить більшу частину (71,55 %) відомого нині таксономічного багатства урбанofлори міста і свідчить на значний інтерес до неї з боку чималої кількості флористів (не без участі притягування їх уваги «Софіївкою»). На той час флора міста Умань та його близьких околиць була єдиною повноцінно дослідженою флорою в межах сучасної Черкаської області [5]. Завдяки такій увазі залишилися вказівки про багато нині зниклих видів рослин, що дозволяє відтворити первинну структуру природної флори та максимально точно проаналізувати динаміку зміни флористичного складу впродовж двох століть.

XX століття. В наступний період дослідження урбанofлори Умані продовжилися на загальних засадах. В. Фінн за матеріалами спільної із професором М.В. Цінгером подорожі у 1900 р. навів досить великий список дикорослих, зокрема адвентивних рослин, зафіксованих у м. Умань та південній частині колишнього Уманського повіту [24]. Досить детально В. Цешковський [25] описав залишки лісової, степової та інших типів рослинності Умані та околиць. Він, зокрема, виявив фрагмент гранично-ареальної популяції *Stipa pinnata* L. на території «Софіївки». З того ж часу у гербарії (UM) збережена гербарна колекція асистента ботаніки О.С. Бондара, де є зразок *S. pinnata*, зібраний на території «Софіївки» у 1930 р.: «Назад років 10-15 в парку зустрічався, а потім зник. Цього року мені пощастило знайти декілька екземплярів на «Грибку» прямо проти вище за «Женевське озеро». Одинок. 8/V 1930. О.С. Бондар» (UM 7134) [11].

Упродовж 1929–1931 років флористичні дослідження околиць Умані провів В.П. Шидловський [26]. Автор виявив 26 нових видів рослин для цієї території, зокрема, в «Софіївці» – *Cynosurus cristatus* L., *Holcus lanatus* L. (не виключено, що ці злаки мали інтродукційне походження), *Muscari tenuiflorum* Tausch, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., а в місті – *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Lepidium coronopus* (L.) Al-Shehbaz, *Muscari neglectum* Guss. ex Ten. тощо. Отже, автору вдалося віднайти не лише рідкісні рослини, а і зафіксувати появу нових чужорідних видів. Також, він відзначив негативну динаміку зникнення рідкісних місцевих рослин (*Pontechium maculatum* (L.) Böhle et Hilger, *Scopolia carniolica* Jacq, *Stipa pennata*) внаслідок антропогенного впливу та появи нових бур'янів. Ще В.П. Шидловський залишив цінні описи степової рослинності урочища «Грибок» у «Софіївці» та інших степових, лісових, лучних ділянок, а також списки бур'янів.

У 1920–30-х роках навколо Умані почали висаджувати нові штучні лісові насадження. В цей же час були опубліковані надзвичайно цінні відомості про стан дендропарку

«Софіївка», а його завідувачий С. Бонецький навів інвентарний перелік дендрофлори та обґрунтував необхідність надання парку статусу самостійної наукової установи в якості заповідного ботанічного саду [27]. В другій половині XX ст. дуже важливі результати по вивченню дикорослих трав'яних рослин «Софіївки» навела В.С. Горячева – всього авторка збрала зразки та навела відомості про близько 280 видів рослин [12, 28]. Згодом Б.С. Сидорук [29] розглянув декоративні трав'яні рослини природної флори дендропарку «Софіївка».

Дещо пізніше виданням «Каталогу рослин дендрологічного парку «Софіївка» було підведено підсумки більш ніж 200-річної інтродукційної діяльності у цій науковій установі та частково висвітлено видовий склад природної флори парку [30].

Найважливішим ботанічним вітчизняним виданням XX ст. є 12-томна «Флора УРСР» [2], відомості якої залишаються актуальними донині. На сторінках усіх томів зустрічаються дані про флору Умані, наведені загалом більш ніж 40 колекторами. У 1961 р. М.В. Клоков описав новий вид *Lotus* × *ucrainicus* Klovov, за зразком із гербарію (LE), зібраним Е. Koliassinsky на околиці Умані у 1899 р. [31]. Значно пізніше Т. Краміна у 2000 р. встановила, що це насправді гібрид *L. corniculatus* var. *kochii* Chrtková-Žertová × *L. stepposus* Kramina [32]. Фрагментарні флористичні вказівки були наведені в окремих флористичних і таксономічних публікаціях радянського часу [33-35]. Окремі вказівки на гербарні зразки рослин Уманської флори за цей час наведені у серійному виданні «Список рослин гербарію флори СРСР».

В кінці XX ст. одна із співавторів, Г.А. Чорна, завершила дослідження водної і прибережно-водної флори Умані та околиць. До дослідженої групи рослин загалом було включено 130 видів, із яких 20 були новими для регіону, зокрема, *Elodea canadensis* Michx., *Utricularia vulgaris* L., *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimmer, *Zannichellia palustris* L. тощо, але в той же час, констатовано зникнення кількох видів [36].

Загалом, упродовж XX ст. відомості про урбанofлору м. Умань збагатилися ще приблизно на 200 видів (17,56 %). Важливою підсумковою флористичною роботою того періоду, де в повній мірі було репрезентоване відоме таксономічне різноманіття Черкащини, було видання «Конспект флори Середнього Придніпров'я» [37].

XXI століття. В останній період дослідження рослинного покриву Умані продовжилися за кількома напрямками, зокрема вивчалися фітоценотичні особливості й таксономічний склад прибережно-водних біотопів [38, 39], інвазії натуралізованих інтродуцентів із території «Софіївки» [40], стан раритетної групи рослин [41, 42], ресурси лікарських рослин [43]. Для флори міста Умань вказувалися нові заносні види рослин [44-49], та відзначено початкові стадії натуралізації ергаціофітофітів [50]. Серед інших на території Умані та його околиць були виявлені нові для спонтанної флори України рослини: *Buglossoides incrassata* subsp. *splitgerberi* (Guss.) E.Zippel & Selvi [51], *Claytonia perfoliata* Willd. [52], *Hibiscus syriacus* L., *Muscari armeniacum* H.J.Veitch, *Physalis peruviana* L. [53], *Ranunculus gayeri* Soó [54].

Періодично доповнювалися відомості про рослинний покрив дендрологічного парку «Софіївка». У 2011 р. А.А. Куземко зі співавторами підсумували відомості про спонтанну флору «Софіївки», за результатами чого до конспекту було включено 528 видів, із яких 419 зафіксовано безпосередньо під час дослідження [55]. На той час це був найвищий показник серед інших центрів наукової інтродукції рослин (ботанічних садів і дендрологічних парків) в Україні. В наступні роки вивчення спонтанної флори і рослинності дендрологічного парку продовжилося, зокрема вивчалася її флористична структура, проаналізована синантропна фракція, були досліджені популяції рідкісних видів рослин, здійснена фітоіндикаційна оцінка ландшафтів «Софіївки» [13, 56, 57]. Були наведені і інші цінні вказівки, зокрема, вказано про самосів *Fagus sylvatica* L. у різних частинах парку, на відстані до 1 км від дорослих дерев [58], що є важливими відомостями у зв'язку з акліматизацією цієї породи за межами природного ареалу. В останні роки були виявлені знахідки нових дикорослих рослин

на території парку [45, 49, 59]. На прикладі спонтанної флори «Софіївки» було показано різницю між ергазіофітофитами (втікачами з культури) і ергазіофітами (культивованими екзотами), які здатні утворювати самосів на ділянках культивування [59]. Важливим доповненням до вивчення урбанofлори було підсумовування інтродукційної роботи за більш ніж сторічний період на ботанічному розсаднику Уманського національного університету садівництва, який разом із «Софіївкою» є осередком інтродукції рослин у м. Умань [60].

За підсумками багаторічних досліджень міської флори і пошуків відомостей про неї у різноманітних джерелах встановлено, що гербарні зразки дикорослих і культивованих рослин урбанofлори Умані зберігаються в гербаріях самого міста – UM, UPU, SOF, інших міст України, зокрема, Києва (KW, KWHA, KWHU, KWU), Львова (LW, LWS), Одеси (MSUD), а також Австрії (WU), Польщі (KRA), та інших країн (LE, MHA, MW). Враховуючи, що ексикати рослин уманської флори розсилися в багато гербаріїв Східної Європи та інших регіонів, імовірно, ці зразки представлені у багатьох країнах світу.

Загалом, у новому столітті конспект дослідженої флори поповнився на 124 (10,89 %) таксони судинних рослин і нині включає 1140 видів та підвидів. За цим показником урбанofлора м. Умань виявилася серед найбагатших в Україні та одна із найкраще вивчених. Наприклад, в узагальнених відомостях про багатство урбанofлор 37 міст України в публікації М.В. Шевери зі співавторами [1] лише на територіях 7 міст вказана чисельність видів рослин понад 1000, і лише для м. Одеса наведений показник багатства флори перевищує такий для м. Умань.

Отримані відомості щодо таксономічного різноманіття дослідженої урбанofлори та її динаміки планується висвітлити у монографічній роботі, а також вони будуть однією із ключових складових при узагальненні та аналізі флористичного різноманіття Черкаської області [5].

Висновки.

Таким чином, історія флористичних досліджень міста Умані розпочалася близько двох століть тому, із матеріалів видатного дослідника і першопрохідця на теренах Уманщини А.Л. Анджейовського. Флора міста і його околиць та зелені насадження дендрологічного парку «Софіївка» приваблювали багатьох дослідників, серед яких славні прізвища О. Роговича, Л. Гольца, Ф. Блонського, а також Й. Пачоського, який розпочав тут свою наукову діяльність. Уже на кінець XIX ст. значна частина таксономічного складу дослідженої флори – 815 видів і підвидів (71,55 %) – була відома, як і її ядро із чітко вираженим лісостеповим характером. У XX ст. додалися вказівки про близько 200 видів (17,56 %), а в XXI ст. – ще про 124 (10,89 %). На сьогоднішній день урбанofлора м. Умань включає 1140 видів і підвидів та є однією із найбільших та найкраще вивчених в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевера М. В., Протопопова В. В., Зав'ялова Л. В. Урбанofлори України: огляд сучасного стану // Ботаніка і мікологія: сучасні горизонти: зб. наук. пр. – Київ, 2021. – С. 227–258. <https://doi.org/10.15407/grodzinsky2021>
2. Флора УРСР: в 12 т. / за ред. О. В. Фоміна, Є. І. Бордзіловського, Є. М. Лавренка, М. І. Котова, А. І. Барбарича, М. В. Клокова, О. Д. Вісюліної, Д. К. Зерова. – Київ: Вид-во АН УРСР, 1936–1965. – Т. 1–12.
3. Andrzejowski A. Rys Botaniczny Krain zwiedzonych w podrózach pomiędzy Bohem a Dniestriem od Zbrucz a aż do morza Czarnego odbytych w latach 1814, 1816, 1818 i 1822. – Wilno: Imperatorski Uniwersytet, 1823. – VIII + 127 s.
4. Andrzejowski A. Rys botaniczny krain zwiedzonych w podrózach pomiędzy Bohem a Dniestrem aż do uścia tych rzek w morze odbytych w latach 1823 i 1824. Ciąg 2. – Wilno: Druk. A. Marcinowskiego, 1830. – VII + 93 s.
5. Шиндер О. І. Історія вивчення флори Черкащини: естафета через чотири століття // Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття на природно-заповідних територіях: матеріали конф., присвяченої 100-річчю Канівського природного заповідника (21-23 вересня 2023 р., м. Канів, Черкаська обл.). – Чернівці: Друк Арт, 2023. – Вип. 36. – С. 34–41.
6. Trautvetter E. R. Ueber die Cyperaceae des Kiewschen Gouvernements // Bulletin de la Classe Physico-Mathématique de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. – 1852. – Т. 10. – С. 362–368.
7. Steven Ch. Verzeichniss der auf der taurischen Halbinsel wildwachsenden Pflanzen (Continuatio) // Bulletin de la Societe Imperiale des Naturalistes de Moscou. – 1856. – Т. 29, № 4. – С. 339–418.

8. Holtz L. Zur Flora Süd-Russlands, insbesondere des im Gouvernement Kiew belegenen Kreises Uman // *Linnaea. Ein Journal für die Botanik in ihrem ganzen Umfange*. – 1878–1879. – Т. 42. – С. 145–202.
9. Чорна Г. А. Флористичні дослідження Й. К. Пачоського на Уманщині // *Матеріали наук. читань, присвячених 100-річчю відкриття подвійного запліднення у покритонасінних рослин проф. ун-ту Святого Володимира С. Г. Навашиним (Київ, 23-24.09.1998 р.)*. – Київ: Фітосоціоцентр, 1998. – С. 229–232.
10. Мамчур Т. В., Чорна Г. А. Фонди Наукового гербарію Уманського національного університету садівництва (UM). Гербарна колекція Йозефа Пачоського / за ред. В. П. Карпенка. – Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2023. – 496 с.
11. Мамчур Т. В. Іменна колекція гербарію О. С. Бондара у гербарному фонді (UM) // *Сучасні проблеми біології в умовах змін клімату: матеріали Всеукр. наук. інтернет-конф. (м. Умань, УНУС, 22 черв. 2022 р.)*. – Умань: УНУС, 2022. – С. 158–162.
12. Мамчур Т. В. Історична гербарна колекція В. С. Горячевой у фонді гербарію Уманського національного університету садівництва (UM) // *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 39–46. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.4.6>
13. Косенко І. С., Куземко А. А., Діденко І. П., Пономаренко Г. М. Еколого-ценотичні особливості рідкісних видів спонтанної флори Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України // *Інтродукція рослин*. – 2014. – № 4. – С. 22–30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1569506>
14. Анджиевський А. Исчисление растений Подольской губернии и смежных с нею мест // *Труды Комис. при ун-те св. Владимира для описания губерний Киев. учеб. округа*. – 1861. – Т. 4, вып. I. – С. 1–51.
15. Besser V. S. Enumeratio plantarum hucusque in Volhynia, Podolia, Gub. Kiioviensi, Bessarabia Cis-Tyraica et circa Odessam collectarum, simul cum observationibus in primitias florum Galicie Austriacae. – Vilnae: J. Zawadski Uniwer. typ., 1822. – Т. VIII. – 111 с.
16. Eichwald E. Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volhynien und Podolien in Geognostisch-Mineralogischer, Botanischer und Zoologischer Hinsicht. – Wilna, 1830. – 256 с.
17. Рогович А. Обзорение семенных и высших споровых растений, входящих в состав флоры губерний Киевского учебного округа. – Киев: Университетская типография, 1869. – 308 с.
18. Базинер Ф. Краткое описание Царицына сада близ г. Умани Киевской губернии // *Журнал Министерства государственных имуществ*. – 1851. – Т. 41(12). – С. 79–84.
19. Пачоский И. Очерки флоры окрестностей г. Умани Киевской губернии // *Записки Киевского общества естествоиспытателей*. – 1887. – Т. 8, вып. 2. – С. 371–437.
20. Шмальгаузен И. Флора Юго-Западной России. – Киев: Тип. С. В. Кульженко, 1886. – XLVIII + 783 с.
21. Монтрезор В. Список растений, собранных в Киевском учебном округе в последний 25-летний период времени, т. е. со времен издания «Обозрения семенных и высших споровых растений» проф. Роговича в 1869 г. до 1895 г. // *Записки Киевского общества естествоиспытателей*. – 1898. – Т. 15, вып. 2. – С. 675–707.
22. Błoiński F. Nowy gatunek Lnianki // *Wszelchwiat*. – 1895. – Vol. XIV, No. 22. – P. 347–348.
23. Поггенполь В. А. Результаты фитофенологических наблюдений над фазами развития дикорастущих и культурных растений в Царицыном саду и на полях Земледельческого училища в городе Умани, Киевской губ. – Одесса: Типография Южно-Русского общества печатного дела, 1896. – 74 с.
24. Фінн В. До флори Гуманщини // *Український ботанічний журнал*. – 1924. – Т. 2, рік 1922. – С. 7–18.
25. Цешковский В. О. Рослинність Гуманщини // *Гуманщина. Краєзнавчий збірник*. – Умань: Видавництво Уманської округи, 1927. – С. 73–87.
26. Шидловський В. П. Дослідження рослинності околиць м. Умані // *Київський державний університет. Наукові записки*. – 1935. – Т. 1, Вип. 3. Біологічний збірник. – № 1. – С. 290–304.
27. Деревні та чагарникові породи Парку III Інтернаціоналу (кол. Софіївка) біля Умані // *Повідомлення Уманського Сільськогосподарського Технікума; Завідуючий Парком С. Бонєцький*. – *Journal of Agricultural Botany*. – Kharkiw. Харків. – 1927. – 1(4). – С. 189–194.
28. Горячева В. С. О дикой травянистой флоре парка-заповедника «Софиевка» // *Уманский сельскохозяйственный институт. Сборник научных трудов*. – 1960. – Вып. XII. – С. 375–381.
29. Сидорук Б. С. Грунтопокривні та декоративні трав'янисті рослини природної флори дендропарку «Софіївка» // *Інтродукція та акліматизація рослин на Україні*. – Київ: Наукова думка, 1970. – Вип. 1. – С. 224–233.
30. Каталог рослин дендрологічного парку «Софіївка» / за ред. І. С. Косенка. – Умань, 2000. – 160 с.
31. Klokov M. Papilionaceae Ucrainicae Novae // *Ботанические материалы Гербария Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР*. – 1961. – Т. 21. – С. 233–242.
32. Крамина Т. Е. Новый вид рода *Lotus* L. (Leguminosae) из группы *L. corniculatus* L. // *Бюллетень МОИП*. – 2000. – Т. 105, вып. 1. – С. 35–40.
33. Протопопова В. В. Поширення деяких нових та маловідомих адвентивних рослин по Лісостепу та Степу України за післявоєнний час // *Питання експериментальної ботаніки: зб. пр.* – Київ, 1964. – С. 127–132.
34. Клеопов Ю. Д. Огляд представників роду *Dianthus* України й сумежних місцевостей // *Вісник Київського ботанічного саду*. – 1932. – Вип. 14. – С. 99–140.
35. Mądalski J. Notatki florystyczne. Cz. 2 // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. – 1948. – Vol. 19, No. 2. – P. 227–244.

36. Чорна Г. А. До флори водойм околиць м. Умані Черкаської області // Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ. – Київ, 1998. – С. 48–58.
37. Чопик В. І., Бортняк М. М., Войтук Ю. О., Погребенник В. П., Кучерява Л. Ф., Нечитайло В. А., Любченко В. М., Шевчик В. Л. Конспект флори Середнього Придніпров'я. Судинні рослини. – Київ: Фітосоціоцентр, 1998. – 140 с.
38. Чорна Г. А. Флора водойм і боліт Лісостепу України. Судинні рослини. – Київ: Фітосоціоцентр, 2006. – 184 с.
39. Чорна Г. А. Нові знахідки *Carex hordeistichos* Vill. та *Carex paniculata* L. (Cyperaceae) в Правобережному Лісостепу України // Український ботанічний журнал. – 2004. – Т. 61, № 1. – С. 62–68.
40. Чорна Г. А. Інвазія квітково-декоративних інтродуцентів в долини річок Лісостепу України // Біологічний вісник. – Харків, 2006. – Т. 10, № 2. – С. 49–51.
41. Чорна Г. А., Куземко А. А., Діденко І. П. Рослинні раритети Уманського району. Автохтонні та інтродуковані види. – Умань, 2009. – № 5. – С. 51–58.
42. Бутило М. Д., Тімець О. В. Зелені скарби Правобережжя Черкащини. – Київ: Науковий світ, 2002. – 97 с.
43. Шиндер О. І., Данилюк Д. О., Кравець Т. О. Ресурси лікарських рослин Уманщини // Збірник студентських наукових праць Уманської ДАА. – Умань: Видавництво УДАА, 2002. – С. 41–43.
44. Moysiienko I. I., Shnyder O. I., Levon A. F., Chorna G. A., Volutsa O. D., Lavrinenko K. V., Kolomiychuk V. P., Shol G. N., Shevera M. V., Borovyk D. V., Vynokurov D. S., Zviahintseva K. O., Kalashnik K. S., Kazarinova H. O., Levchuk L. V., Skobel H. O., Tarabun M. O., Gerasimchuk G. V., Lyubinska L. G., Bezsmertna O. O., Bondarenko H. M., Mamchur T. V., Pashkevych N. Notes to vascular plant in Ukraine I // Chornomorski Botanical Journal. – 2023. – Т. 19(1). – С. 76–93. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-1-3>
45. Мамчур Т. В., Шиндер О. І., Чорна Г. А., Дойко Н. М., Кабар А. М., Калашнік К. С., Парубок М. І., Левон О. Ф., Барановський Б. О., Кармизова Л. О., Любінська Л. Г., Журавльова Т. В., Шевера М. В. Рід *Acalypha* (Euphorbiaceae) в Україні: спонтанне поширення *A. australis* та інші види в культурі // Journal of Native and Alien Plant Studies. – 2023. – Т. 19. – С. 78–94. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.293658>
46. Орлов О., Шиндер О., Чорна Г., Волюца О., Целька З., Шевера М. *Potentilla indica* (Rosaceae) у флорі України: історія натуралізації та сучасне поширення // Journal of Native and Alien Plant Studies. – 2024. – Т. 20. – С. 151–175. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.20.2024.318679>
47. Shnyder O. I., Pashkevych N. A., Kharytonova I. P., Holovko O. V., Mandák B., Mosyakin S. L. The enigmatic diploid *Chenopodium ucrainicum* (Chenopodiaceae / Amaranthaceae s. l.): geographical, ecological, and phytosociological patterns as clues to its origin // Ukr. Bot. J. – 2024. – Т. 81(6). – С. 389–407. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.06.389>
48. Shevera M. M., Shnyder O. I., Kolomiychuk V. P., Protopopova V. V., Miskova O. V., Lyubinska L. G., Kalashnik K. S., Karmyzova L. O. *Euphorbia maculata* (Euphorbiaceae) in the flora of Ukraine: introduction history and current distribution // Thaiszia – J. Bot. – 2024. – Т. 34. – С. 103–123. <https://doi.org/10.33542/TJB2024-2-02>
49. Shnyder O. I., Negrash, Y. M. *Sedum pallidum* (Crassulaceae) – alien species of the flora of plain part of Ukraine // Plant Introduction. – 2020. – № 85/86. – С. 75–84. <https://doi.org/10.46341/PI2020009>
50. Коструба Т. М. Перспективи інтродукції софори китникоподібної (*Sophora alopecuroides* L.) в Лісостепу України // PLANTA+. НАУКА, ПРАКТИКА ТА ОСВІТА: Матеріали IV наук.-практ. конф. з міжнар. участю, до 20-річчя каф. фармакогнозії та ботаніки Нац. мед. ун-ту ім. О. О. Богомольця (Київ, 20 лютого 2023 р.). – Київ, 2023. – Т. 2. – С. 55–57.
51. Zippel E., Raus Th. *Buglossoides incrassata* subsp. *splitgerberi* (Guss.) E. Zippel & Selvi // Raab-Straube E. von, Raus Th. (ed.), Euro+Med-Checklist Notulae, 12. – Willdenowia. – 2020. – Vol. 50, No. 2. – P. 308–310. <https://doi.org/10.3372/wi.50.50214>
52. Chorna H., Shnyder O., Kostruba T. *Claytonia perfoliata* Willd. // Raab-Straube E. von, Raus Th. (ed.), Euro+Med-Checklist Notulae, 15. – Willdenowia. – 2022. – Vol. 52, No. 2. – P. 273–299. <https://doi.org/10.3372/wi.52.52205>
53. Raab-Straube E. von, Raus Th. (eds.). Euro+Med-Checklist Notulae, 17 // Willdenowia. – 2024. – Vol. 54. – P. 5–45. <https://doi.org/10.3372/wi.54.54101>
54. Цвелев Н. Н. *Ranunculus* L. // Flora Europae Orientalis. – 2001. – Т. 10. – Petropoli: Mir i semia. – С. 100–158.
55. Куземко А. А., Сидорук Т. М., Діденко І. П., Швець Т. А., Бойко І. В. Спонтанна флора Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. Автохтонні та інтродуковані рослини. – 2011. – Вип. 7. – С. 25–36.
56. Ковтонюк А. І. Спонтанна флора та рослинність садово-паркових ландшафтів Середнього Побужжя (структура, диференціація, трансформація, охорона): дис. ... к. б. н. 03.00.05 – ботаніка. – Київ: Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України, 2021. – 305 с.
57. Ковтонюк А. І., Куземко А. А., Діденко І. П. Раритетна фракція спонтанної флори садово-паркових ландшафтів Середнього Побужжя // Журнал досліджень аборигенних та адвентивних рослин. – 2021. – № 1. – С. 136–144. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247565>
58. Козлов В. Г. Інтродукція видів і форм бука (*Fagus* L.) у Правобережному Лісостепу України та перспективи використання їх в культурі. – Умань, 2003. – 132 с.
59. Чорна Г. А., Шиндер О. І., Коструба Т. М. Доповнення до переліку видів спонтанної флори Національного дендрологічного парку «Софіївка» (м. Умань) // Чорноморський ботанічний журнал. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 302–315. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-4-1>

60. Мамчур Т. В., Чорна Г. А., Парубок М. І., Свистун О. В., Михайлова Н. В. Каталог рослин ботанічного розсадника Уманського національного університету садівництва / За ред. В. П. Карпенка. – Умань: Видавець «Сочинський М. М.», 2023. – 238 с.

REFERENCES

1. Shevera, M.V., Protopopova, V.V., & Zavyalova, L.V. (2021). Urbanoflora Ukrainy: ohliad suchasnoho stanu [Urban flora of Ukraine: A review of the current state]. *Botanika i mikolohiia: suchasni horyzonty: zbirnyk naukovykh prats – Botany and Mycology: Modern Horizons. Collection of Scientific Papers*, Kyiv, 227–258. <https://doi.org/10.15407/grodzinsky2021> [in Ukrainian]
2. Fomin, O.V., Bordzilovsky, Y.I., Lavrenko, Y.M., Kotov, M.I., Barbarich, A.I., Klokov, M.V., Visiulina, O.D., & Zerov, D.K. (Eds.). (1936–1965). *Flora URSS [Flora of the Ukrainian SSR]* (Vols. 1–12). Kyiv: Vydavnytstvo AN URSS [in Ukrainian]
3. Andrzejowski, A. (1823). *Rys Botaniczny Krain zwiedzonych w podróżyach pomiędzy Bohem a Dniestriem od Zbrucz a aż do morza Czarnego odbytych w latach 1814, 1816, 1818 i 1822*. Wilno: Imperatorski Uniwersytet. [in Polish]
4. Andrzejowski, A. (1830). *Rys botaniczny krain zwiedzonych w podróżyach pomiędzy Bohem a Dniestrem aż do uścia tych rzek w morze odbytych w latach 1823 i 1824. Ciąg 2*. Wilno: Druk. A. Marcinowskiego. [in Polish]
5. Shynder, O.I. (2023). *Istoriia vyvchennia flory Cherkashchyny: estafeta cherez chotyry stolittia [History of the study of the flora of the Cherkasy region: Relay through four centuries]. Zberezhenia biolohichnoho ta landshaftnoho riznomanittia na pryrodno-zapovidnykh terytoriakh: materialy konferentsii, prysviachenoï 100-richchiu Kanivskoho pryrodnoho zapovidnyka (21-23 veresnia 2023 r., m. Kaniv, Cherkaska oblast) – Conservation of Biological and Landscape Diversity in Protected Areas: Proceedings of the Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Kaniv Nature Reserve (September 21-23, 2023, Kaniv, Cherkasy Region)* (Vol. 36, pp. 34–41). Chernivtsi: Druk Art. [in Ukrainian]
6. Trautvetter, E.R. (1852). Ueber die Cyperaceae des Kiewschen Gouvernements. *Bulletin de la Classe Physico-Mathématique de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg*, 10, 362–368. [in German]
7. Steven, Ch. (1856). Verzeichniss der auf der taurischen Halbinsel wildwachsenden Pflanzen (Continuatio). *Bulletin de la Societe Imperiale des Naturalistes de Moscou*, 29(4), 339–418. [in German]
8. Holtz, L. (1878–1879). Zur Flora Süd-Russlands, insbesondere des im Gouvernement Kiew belegenen Kreises Uman. *Linnaea. Ein Journal für die Botanik in ihrem ganzen Umfange*, 42, 145–202. [in German]
9. Chorna, H.A. (1998). *Florystychni doslidzhennia Y.K. Pachoskoho na Umanshchyni [Floristic studies of J.K. Pachosky in Uman region]. Materialy naukovykh chytnan, prysviachenykh 100-richchiu vidkryttia podviinoho zaplidnennia u pokrytonasinnykh roslyn prof. un-tu Sviatoho Volodymyra S.H. Navashynym (Kyiv, 23-24.09.1998 r.) – Proceedings of the Scientific Readings Dedicated to the 100th Anniversary of the Discovery of Double Fertilization in Angiosperms by Professor S.G. Navashin (pp. 229–232)*. Kyiv: Fitosotsiotsentr. [in Ukrainian]
10. Mamchur, T.V., & Chorna, H.A. (2023). *Fondy Naukovoho herbariiu Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva (UM). Herbarna kolektsiia Yozefa Pachoskoho [Scientific Herbarium Collections of Uman National University of Horticulture (UM): Herbarium of Joseph Pachosky]. Za redaktsiieiu V.P. Karpenka – In ed. V.P. Karpenko (p. 496)*. Uman: Vydavets «Sochinskyi M.M.». [in Ukrainian]
11. Mamchur, T.V. (2022). *Imenna kolektsiia herbariiu O.S. Bondara u herbarnomu fondi (UM) [The personal herbarium collection of O.S. Bondar in the Herbarium Fund (UM)]. Suchasni problemy biolohii v umovakh zmin klimatu: materialy Vseukrainskoi naukovoï internet-konferentsii (m. Uman, UNUS, 22 cherv. 2022 r.) – Modern Problems of Biology in the Context of Climate Change: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Internet Conference (Uman, UNUS, June 22, 2022)*, 158–162. Uman: UNUS. [in Ukrainian]
12. Mamchur, T.V. (2023). *Istorychna herbarna kolektsiia V.S. Horiachevoi u fondi herbariiu Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva (UM) [Historical herbarium collection of V.S. Goryacheva in the Herbarium Fund of Uman National University of Horticulture (UM)]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii «Ahronomiia i biolohiia» – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Agronomy and Biology"*, 50(4), 39–46. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.4.6> [in Ukrainian]
13. Kosenko, I.S., Kuzemko, A.A., Didenko, I.P., & Ponomarenko, G.M. (2014). *Ekoloho-tsenotychni osoblyvosti ridkisnykh vydiv spontannoï flory Natsionalnoho dendrolohichnoho parku «Sofiivka» NAN Ukrainy [Ecological and cenotic characteristics of rare species of the spontaneous flora of the National Dendrological Park "Sofiivka" of the NAS of Ukraine] Introduktsiia Roslyn – Introduction of Plants*, 4, 22–30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1569506> [in Ukrainian]
14. Andrzejowski, A. (1861). *Ischislenie rasteniy Podol'skoy gubernii i smezhnykh s neiu mest [Enumeration of plants of the Podolien province and adjacent territories] Trudy Komisii. pri universitete sviatogo Vladimira dlia opisaniia guberniy Kievskogo uchebnogo okruga – Proceedings of the Commission at the University of St. Vladimir for the Description of the Provinces of the Kyiv Educational District*, 4(1), 1–51. [in Russian]
15. Besser, V.S. (1822). *Enumeratio plantarum hucusque in Volhynia, Podolia, Gub. Kiioviensi, Bessarabia Cis-Tyraica et circa Odessam collectarum, simul cum observationibus in primitias florum Galicie Austriacae*. Vilnae: J. Zawadzki Uniwer. Typ. [in German]

16. Eichwald, E. (1830). Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volhynien und Podolien in Geognostisch-Mineralogischer, Botanischer und Zoologischer Hinsicht. Wilna. [in German]
17. Rogovich, A. (1869). Obozrenie semennykh i vysshikh sporovykh rasteniy, vkhodiashchikh v sostav flory guberniy Kievskogo uchebnogo okruga [Review of seed and higher spore plants included in the flora of the Kyiv Educational District provinces]. Kiev: Universitetskaia tipografiia. [in Russian]
18. Baziner, F. (1851). Kratkoe opisanie Tsaritsyna sada bliz g. Umani Kievskoy gubernii [Brief description of the Tsaritsyn Garden near Uman, Kyiv Province] *Zhurnal Ministerstva gosudarstvennykh imushchestv – Journal of the Ministry of State Property*, 41(12), 79–84. [in Russian]
19. Pachosky, I. (1887). Ocherki flory okrestnostey g. Umani Kievskoy gubernii [Essays on the flora of the surroundings of the city of Uman, Kyiv Province] *Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytateley – Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, 8(2), 371–437. [in Russian]
20. Schmalhausen, I. (1886). Flora Iugo-Zapadnoy Rossii [Flora of Southwestern Russia]. Kiev: Tipografiia S. V. Kul'zhenko. [in Russian]
21. Montezor, V. (1898). Spisok rasteniy, sobrannykh v Kievskom uchebnom okruge v posledniy 25-letniy period vremeni, t. e. so vremen izdaniia «Obozreniia semennykh i vysshikh sporovykh rasteniy» prof. Rogovicha v 1869 g. do 1895 g. [List of plants collected in the Kyiv Educational District over the last 25 years] *Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytateley – Notes of the Kyiv Society of Naturalists*, 15(2), 675–707. [in Russian]
22. Błoński, F. (1895). A new species of *Linaria*. *Wszechświat*, 14(22), 347–348. [in Polish]
23. Poggenpol, V.A. (1896). Rezul'taty fitofenologicheskikh nabludeniy nad fazami razvitiia dikorastushchikh i kul'turnykh rasteniy v Tsaritsynom sadu i na poliakh Zemledel'cheskogo uchilishcha v gorode Umani, Kievskoy gubernii [Results of phenological observations on the phases of development of wild and cultivated plants in Tsaritsyn Garden and the fields of the Agricultural School in Uman, Kyiv Province]. Odessa: Tipografiia Iuzhno-Russkogo obshchestva pechatnogo dela, 74. [in Russian]
24. Finn, V. (1924). Do flory Humanshchyny [On the flora of Uman region] *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukrainian Botanical Journal*, 2(1922), 7–18. [in Ukrainian]
25. Tsheshkovsky, V.O. (1927). Roslynnist Humanshchyny [Vegetation of the Uman region] *Humanshchyna. Kraieznavchy zbirnyk – Uman Region: Local History Collection*, 73–87. Uman: Vydavnytstvo Umanskoï okruhy. [in Ukrainian]
26. Shydlovsky, V.P. (1935). Doslidzhennia roslynosti okolyts m. Umani [Research on the vegetation of the surroundings of Uman] *Kyivskyi derzhavnyi universytet. Naukovi zapysky. Biolohichnyi zbirnyk – Kyiv State University. Scientific Notes. Biological Collection*, 1(3), 290–304. [in Ukrainian]
27. Boneckiy, S. (1927). Derevni ta chaharnykovi porody Parku III Internatsionalu (kol. Sofiievka) bilia Umani [Trees and shrubs of Park III Internationale (formerly Sofiyivka) near Uman]. *Journal of Agricultural Botany*, 1(4), 189–194. Kharkiv. [in Ukrainian]
28. Goryacheva, V.S. (1960). O dikoy travianistoy flore parka-zapovednika «Sofiievka» [On the wild herbaceous flora of the Sofiyivka reserve park] *Umanskiy sel'skokhoziaystvennyy institut. Sbornik nauchnykh trudov – Uman Agricultural Institute. Collection of Scientific Papers*, 12, 375–381. [in Russian]
29. Sydoruk, B.S. (1970). Hruntopokryvni ta dekoratyvni travianyisti roslyn pryrodnoi flory dendroparku «Sofiivka» [Ground cover and ornamental herbaceous plants of the natural flora of Sofiyivka Dendrological Park] *Introduktsiia ta aklimatyzatsiia roslyn na Ukraini – Introduction and Acclimatization of Plants in Ukraine*, 1, 224–233. Kyiv : Naukova dumka. [in Ukrainian]
30. Kosyenko, I.S. (Ed.). (2000). Kataloh roslyn dendrolohiichnoho parku «Sofiivka» [Catalogue of plants of Sofiyivka Dendrological Park]. Uman. [in Ukrainian]
31. Klovov, M. (1961). Papilionaceae Ucrainicae Novae. *Botanicheskie materialy Gerbariia Botanicheskogo instituta im. V. L. Komarova AN SSSR – Botanical Materials of the Herbarium of the Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences*, 21, 233–242. [in Russian]
32. Kramina, T.E. (2000). Novyy vid roda *Lotus* L. (Leguminosae) iz gruppy *L. corniculatus* L. [A new species of the genus *Lotus* L. (Leguminosae) from the *L. corniculatus* L. group] *Biulleten' MOIP – Bulletin of MOIP*, 105(1), 35–40. [in Russian]
33. Protopopova, V.V. (1964). Poshyrennia deiakykh novykh ta malovidomykh adventyvykh roslyn po Lisostepu ta Stepu Ukrainy za pislivoiennyi chas [Distribution of some new and little-known adventive plants in the Forest-Steppe and Steppe of Ukraine in the post-war period] *Pytannia eksperymentalnoi botaniky: zbirnyk prats – Issues of Experimental Botany. Collection of Papers*, Kyiv, 127–132. [in Ukrainian]
34. Kleopov, Y.D. (1932). Ohliad predstavnykh rodu *Dianthus* Ukrainy y sumezhnykh mistsevostei [Review of representatives of *Dianthus* in Ukraine and adjacent areas] *Visnyk Kyivskoho botanichnoho sadu – Bulletin of the Kyiv Botanical Garden*, 14, 99–140. [in Ukrainian]
35. Małalski, J. (1948). Floristic notes. Part 2. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 19(2), 227–244. [in Polish]
36. Chorna, H.A. (1998). Do flory vodoim okolyts m. Umani Cherkaskoi oblasti [On the flora of water bodies in the surroundings of Uman, Cherkasy region] *Naukovi zapysky ekolohichnoi laboratorii Umanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu – Scientific Notes of the Ecological Laboratory of Uman State Pedagogical University*, 48–58. [in Ukrainian]

37. Chopik, V.I., Bortnyak, M.M., Voityuk, Y.O., Pogrebennik, V.P., Kucheriava, L.F., Nechytailo, V.A., Lyubchenko, V.M., & Shevchik, V.L. (1998). Konspekt flory Serednoho Prydniprov'ia. Sudynni roslyny [Conspectus of the flora of the Middle Dnipro region: Vascular plants]. Kyiv: Fitosotsiotsentr. [in Ukrainian]
38. Chorna, H.A. (2006). Flora of water bodies and wetlands of the Forest-Steppe of Ukraine: Vascular plants. Kyiv: Phytosociocenter. [in Ukrainian]
39. Chorna, H.A. (2004). Novi znakhidky *Carex hordeistichos* Vill. ta *Carex paniculata* L. (Cyperaceae) v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [New findings of *Carex hordeistichos* Vill. and *Carex paniculata* L. (Cyperaceae) in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukrainian Botanical Journal*, 61(1), 62–68. [in Ukrainian]
40. Chorna, H.A. (2006). Invaziia kvitkovo-dekoratyvnykh introdutsentiv v dolyny richok Lisostepu Ukrainy [Invasion of ornamental plant introducers in river valleys of the Forest-Steppe of Ukraine] *Biologichnyi visnyk – Biological Bulletin*, 10(2), 49–51. [in Ukrainian]
41. Chorna, H.A., Kuzemko, A.A., & Didenko, I.P. (2009). Roslynni rarytety Umanskoho raionu [Plant rarities of Uman district] *Avtokhtonni ta introdukovani vydy – Autochthonous and introduced species*. Uman, 5, 51–58. [in Ukrainian]
42. Butylo, M.D., & Timets, O.V. (2002). Zeleni skarby Pravoberezhzhia Cherkashchyny [Green treasures of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine] Kyiv: Naukovyi svit. [in Ukrainian]
43. Shynder, O.I., Danyliuk, D.O., & Kravets, T.O. (2002). Resursy likarskykh roslyn Umanshchyny [Medicinal plant resources of the Uman region] *Zbirnyk studentskykh naukovykh prats Umanskoï derzhavnoi ahrarnoi akademii – Collection of Student Scientific Papers of Uman Agricultural Academy*, 41–43. [in Ukrainian]
44. Moysiienko, I.I., Shynder, O.I., Levon, A.F., Chorna, H.A., Volutsa, O.D., Lavrinenko, K.V., et al. (2023). Notes on vascular plants in Ukraine I. *Chornomorski Botanical Journal*, 19(1), 76–93. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2023-19-1-3> [in English]
45. Mamchur, T.V., Shynder, O.I., Chorna, H.A., Doiko, N.M., Kabar, A.M., Kalashnik, K.S., et al. (2023). Rid *Acalypha* (Euphorbiaceae) v Ukraini: spontanne poshyrennia *A. australis* ta inshi vydy v kulturi [*Acalypha* (Euphorbiaceae) in Ukraine: Spontaneous spread of *A. australis* and other species in cultivation]. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19, 78–94. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.293658> [in Ukrainian]
46. Orlov, O., Shynder, O., Chorna, H., Volutsa, O., Celka, Z., & Shevera, M. (2024). *Potentilla indica* (Rosaceae) u flori Ukrainy: istoriia naturalizatsii ta suchasne poshyrennia [*Potentilla indica* (Rosaceae) in the flora of Ukraine: History of naturalization and current distribution]. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 20, 151–175. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.20.2024.318679> [in Ukrainian]
47. Shynder, O.I., Pashkevych, N.A., Kharytonova, I.P., Holovko, O.V., Mandák, B., & Mosyakin, S.L. (2024). The enigmatic diploid *Chenopodium ucrainicum* (Chenopodiaceae / Amaranthaceae s. l.): Geographical, ecological, and phytosociological patterns as clues to its origin. *Ukrainical Botanical Journal*, 81(6), 389–407. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.06.389> [in English]
48. Shevera, M. M., Shynder, O. I., Kolomyichuk, V. P., Protopopova, V. V., Miskova, O. V., Lyubinska, L. G., Kalashnik, K. S., & Karmyzova, L. O. (2024). *Euphorbia maculata* (Euphorbiaceae) in the flora of Ukraine: Introduction history and current distribution. *Thaiszia – Journal of Botany*, 34, 103–123. <https://doi.org/10.33542/TJB2024-2-02> [in English]
49. Shynder, O.I., & Negrash, Yu.M. (2020). *Sedum pallidum* (Crassulaceae) – Alien species of the flora of plain part of Ukraine. *Plant Introduction*, 85/86, 75–84. <https://doi.org/10.46341/PI2020009> [in English]
50. Kostruba, T.M. (2023). Perspektyvy introdutsii sofory kytynkopodibnoi (*Sophora alopecuroides* L.) v Lisostepu Ukrainy [Perspectives of *Sophora alopecuroides* L. introduction in the Forest-Steppe zone of Ukraine] *PLANTA+. NAUKA, PRAKTYKA TA OSVITA: Materialy IV naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, do 20-richchia kaf. farmakohnozii ta botaniky Natsionalnoho medychnoho universytetu im. O.O. Bohomoltsia* (Kyiv, 20 liutoho 2023 r.) – In *Planta+. Science, Practice and Education: Proceedings of the IV Scientific and Practical Conference with International Participation* (Kyiv, February 20, 2023) (Vol. 2, pp. 55–57). Kyiv. [in Ukrainian]
51. Zippel, E., & Raus, Th. (2020). *Buglossoides incrassata* subsp. *splitgerberi* (Guss.) E. Zippel & Selvi. In Raab-Straube, E. von, & Raus, Th. (Eds.), *Euro+Med-Checklist Notulae*, 12. *Willdenowia*, 50(2), 308–310. <https://doi.org/10.3372/wi.50.50214> [in English]
52. Chorna, H., Shynder, O., & Kostruba, T. (2022). *Claytonia perfoliata* Willd. In Raab-Straube, E. von, & Raus, Th. (Eds.), *Euro+Med-Checklist Notulae*, 15. *Willdenowia*, 52(2), 273–299. <https://doi.org/10.3372/wi.52.52205> [in English]
53. Raab-Straube, E. von, & Raus, Th. (Eds.). (2024). *Euro+Med-Checklist Notulae*, 17. *Willdenowia*, 54, 5–45. <https://doi.org/10.3372/wi.54.54101> [in English]
54. Tzvelev, N.N. (2001). *Ranunculus* L. In *Flora Europae Orientalis* (Vol. 10, pp. 100–158). Petropoli: Mir i semia. [in Russian]
55. Kuzemko, A.A., Sydoruk, T.M., Didenko, I.P., Shvets, T.A., & Boiko, I.V. (2011). Spontanna flora Natsionalnoho dendrolohichnoho parku «Sofiivka» NAN Ukrainy [Spontaneous flora of the National Dendrological Park “Sofiivka” of NAS of Ukraine] *Avtokhtonni ta introdukovani roslyny – Indigenous and Introduced Plants*, 7, 25–36. [in Ukrainian]
56. Kovtoniuk, A.I. (2021). Spontanna flora ta roslynnist sadovo-parkovykh landshaftiv Serednoho Pobuzhzhia (struktura, dyferentsiatsiia, transformatsiia, okhorona) [Spontaneous flora and vegetation of garden and park

- landscapes of the Middle Pobuzhzhia (structure, differentiation, transformation, conservation)] *Candidate's thesis*. Kyiv: National Botanical Garden M.M. Gryshko, NAS of Ukraine. [in Ukrainian]
57. Kovtoniuk, A.I., Kuzemko, A.A., & Didenko, I.P. (2021). Raryetna fraktsiia spontannoi flory sadovo-parkovykh landshaftiv Serednoho Pobuzhzhia [Rare component of the spontaneous flora of garden and park landscapes of the Middle Pobuzhzhia] *Zhurnal doslidzhen aboryhennykh ta adventyvnnykh roslyn – Journal of Research on Indigenous and Adventive Plants*, 1, 136–144. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247565> [in Ukrainian]
 58. Kozlov, V.G. (2003). Introduktsiia vydiv i form buka (*Fagus L.*) u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy ta perspektyvy vykorystannia yikh v kulturi [Introduction of species and forms of beech (*Fagus L.*) in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine and prospects for their use in culture]. Uman. [in Ukrainian]
 59. Chorna, H.A., Shnyder, O.I., & Kostruba, T.M. (2021). Dopovnennia do pereliku vydiv spontannoi flory Natsionalnoho dendrolohichnoho parku «Sofiivka» (m. Uman) [Additions to the list of spontaneous flora species of the National Dendrological Park “Sofiivka” (Uman)] *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal – Chornomorskyi Botanical Journal*, 17(4), 302–315. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-4-1> [in Ukrainian]
 60. Mamchur, T.V., Chorna, G.A., Parubok, M.I., Svystun, O.V., & Mykhailova, N.V. (2023). Kataloh roslyn botanichnoho rozsadnyka Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva [Catalogue of plants of the botanical nursery of Uman National University of Horticulture] Za redaktsiieiu V.P. Karpenka – In ed. V.P. Karpenko. Uman: Vydavets «Sochinskyi M. M.». [in Ukrainian]

Chorna H.A., Shnyder O.I., Mamchur T.V., Kostruba T.M.

History of flora research in the Uman city (Cherkasy Oblast)

Introduction. The article examines the main stages of the history of research into the flora of the city of Uman (Cherkasy Oblast) from the first half of the 19th century to the present. Key scientists who made a primary contribution to the study of the floristic composition of the region are mentioned.

Purpose. To find out the state and features of the study of the flora of the city of Uman and its environs for the entire time of botanical research, to identify their completeness.

Methods. Retrospective methods of collecting floristic data of the 19th – early 21st centuries were used; processing of the herbarium funds; analysis of published exsiccates and scientific botanical publications.

Results. It should be noted that the scientific period of studying the flora of Uman began with the research of A. Andrzejowski (1823, 1830). In the middle and second half of the 19th century, information about the city's flora was significantly supplemented by A. Rogovich (1869); L. Holtz (1878–1886); I. Schmalhausen (1886); F. Błoński (1895) and other scientists. The first phytogeographic analysis of wild and cultivated plants in the city of Uman and the “Tsaritsyn Garden” was carried out by I. Pachosky (1887). It was established that at the end of the 19th century, more than 815 species were recorded in the studied urban flora, which makes up 71.6% of the modern taxonomic wealth of the city's flora. The 20th century was marked by the publication of the 12-volume “Flora of the Ukrainian SSR”, which included a number of instructions on finds in Uman. In the second half of the 20th and at the beginning of the 21st century aquatic and coastal flora, rare species, ruderalization and phytointvasions were studied.

Originality. In Ukraine, many urban floras have been studied in most regions to date, but such studies have not been conducted in the Cherkasy Oblast. The results show that the urban flora of Uman is one of the most studied in Ukraine and includes 1140 species and subspecies of higher plants. Considerable attention is paid to the study of the plant cover of the dendrological park “Sofiivka” as an important center for the introduction of alien plants. The main trends in changes in the floristic composition are revealed, in particular, the spread of adventitious species and the disappearance of aboriginal taxa. Promising directions for further research are proposed.

Key words: biodiversity; Right-Bank Forest-Steppe; Sofiivka; floristic research; botanists; history of science.

Надійшла до редакції / Received: 07.05.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

УДК 796.015:612.81(045)

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-124-130

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

ilyin_nufvsu@ukr.net

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

ЗВ'ЯЗОК ВЛАСТИВОСТЕЙ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ З ХАРАКТЕРОМ СПОРТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ РІЗНОЇ СПРЯМОВАНOSTІ

Мета. Проведений аналіз зв'язку властивостей психофізіологічних функцій спортсменів з характером спортивної діяльності різної спрямованості.

Результати. У дослідженнях науковців, які вивчали психофізіологічні особливості спортсменів різних видів спорту спостерігаються певні відмінності, що пов'язані з різним характером тренувального та змагального навантаження. Показано, що більша висока функціональна рухливість нервових процесів (ФРНП) фіксується у спортсменів, які тренуються в бігу на короткі дистанції, стрибках і метанні у легкій атлетиці, важкій атлетиці, спортивних іграх, аніж у атлетів з лижного спорту, бігу на дальні дистанції, греблі. В той же час, є дані про те, що у спортсменів високої кваліфікації різних видів спорту показники ФРНП практично не відрізняються. Отримані результати підкреслюють важливість індивідуального підходу до підготовки спортсменів різної спеціалізації. Зокрема, знання про зв'язок між властивостями нервових процесів та характером спортивної діяльності може бути використане для вдосконалення системи спортивного відбору. Виявлення спортсменів з високим рівнем ФРНП та оптимальними сенсорно-моторними реакціями дозволяє прогнозувати їх потенціал у конкретних видах спорту. Крім того, отримані результати мають прикладне значення у підвищенні ефективності тренувального процесу.

Висновок. У статті зроблено висновок, що функціональна рухливість нервових процесів, рівень сенсорно-моторних функцій є визначальними характеристиками, які забезпечують успішність діяльності спортсменів у різних видах спорту. Автори підкреслюють важливість подальших досліджень, які дозволять удосконалити теоретичні та практичні підходи до оцінки психофізіологічного стану спортсменів. Отримані результати сприятимуть підвищенню рівня спортивної майстерності та системи спортивного відбору.

Ключові слова: психофізіологічні функції, сенсорно-моторні реакції, функціональна рухливість, сила нервових процесів, спортивна діяльність, спортивний відбір.

Вступ. Зв'язок індивідуальних характеристик психофізіологічних функцій спортсменів з досягненням високих результатів у спорті доведено дослідженнями багатьох науковців, які займаються проблемами фізіології спорту [2, 3, 7, 8, 12].

Однією із характерних особливостей спортивної діяльності є необхідність швидкого прийняття рішення у складній ситуації, в основі якого є реакції на сприйняття і обробку величезного об'єму інформації як з зовнішнього, так і з внутрішнього (від м'язів) середовищ. Ефективність цих реакцій залежать не лише від фізичного розвитку, фізичної підготовленості спортсмена, а і від стану розвитку його індивідуальних характеристик психофізіологічних функцій, фізіологічною основою яких є високо генетично детерміновані властивості основних нервових процесів (функціональної рухливості, сили і врівноваженості), сенсорно-моторних (прості і складні сенсорно-моторні реакції) та когнітивних функцій. [15, 16, 26].

Є ще один аспект, який потребує подальшого вивчення. Було висунуте припущення, що спортивні навантаження сприяють покращенню функціональної рухливості та сили нервових процесів. Аналізуючи дані різних авторів виникає питання: яку роль, або який зв'язок властивостей психофізіологічних функцій з успішністю діяльності спортсменів різної спрямованості? За умов отримання доказів про існування зв'язку між ними, а також відмінностей груп з різними властивостями основних нервових процесів можна ці дані використати в системі спортивного відбору [6, 15, 16]. Це підтверджують дані, що під час напруженої спортивної діяльності об'єктивними обставинами є особливості конкретного виду спорту, рівень тренуваності, особливості змагальної діяльності, індивідуальні характеристики психологічних функцій [7, 8, 9, 19].

Мета. На основі узагальнення літературних джерел провести аналіз зв'язку властивостей психофізіологічних функцій спортсменів з характером спортивної діяльності різної спрямованості.

Методи досліджень. Теоретичний аналіз та узагальнення спеціальної вітчизняної і зарубіжної науково-методичної літератури. Протягом дослідження були використані наукові монографії, науково-методичні і методичні джерела вітчизняної і зарубіжної літератури, мережі інтернету.

Результати досліджень.

До нейродинамічних функцій належать процеси сприйняття та обробки сенсорної інформації [13]. Це пояснюється тим, що зоровий аналізатор відіграє важливу роль у професійній спортивній діяльності при засвоєнні та відтворенні рухових навичок. Він також є відображенням аферентної частини інтегративної функціональної системи, яка безпосередньо впливає на ефективність цієї діяльності. Один із поширених методів дослідження нейродинамічних функцій у спортсменів включає оцінку збалансованості нервових процесів, латентного періоду простої та складної зорово-моторної реакції та функціональної рухливості нервових процесів.

Для визначення збалансованості процесів збудження та гальмування у центральній нервовій системі використовується метод "реакція на рухомий об'єкт". Це один з різновидів складної сенсомоторної реакції, яка включає не лише сенсорний і моторний періоди, але й період структурованої обробки сенсорного сигналу ЦНС. Результати такого тестування визначають параметри точності, стабільності, збуджуваності та рухливост нервових процесів. Також застосовується метод оцінки латентного періоду зорово-моторної реакції, що складається з часу сприйняття, обробки та моторної відповіді на зорові подразники. Завдання досліджуваного зреагувати на появу кожного сигналу у вигляді геометричної фігури шляхом натискання на відповідну клавішу. Характеристика функціональної рухливості нервових процесів визначається оцінкою максимального темпу обробки інформації з диференціюванням різних подразників.

Використовуючи ці методи дослідження властивостей нервових процесів Макаренко М. В. у своїй роботі прийшов висновків, що у спортсменів вищої кваліфікації є високий рівень функціональної рухливості нервових процесів. В свою чергу у спортсменів низької кваліфікації – низький рівень функціональної рухливості нервових процесів [12]. У дослідженнях науковців, які вивчали психофізіологічні особливості спортсменів різних видів спорту, ми можемо спостерігати певні відмінності, що пов'язані з різним характером тренувального та змагального навантаження [3,7,11,12]. Також було показано, що більш висока ФРНП фіксується у спортсменів, які тренуються в бігу на короткі дистанції, стрибках і метанні у легкій атлетиці, важкій атлетиці, спортивних іграх, аніж у атлетів з лижного спорту, бігу на дальні дистанції, греблі. Це, можливо, пов'язано з тим, що види спорту з короткими циклами виконання вправ вимагають від нервової системи спортсменів більш частішого переключення і тому в них більш висока ФРНП [4, 5, 7, 10, 12, 18, 23]. В той же час, є дані про те, що у спортсменів високої кваліфікації різних видів спорту показники ФРНП практично не відрізняються [7,12].

У своїй роботі Галина Россоха розглянула особливості психофізіологічних функцій спортсменів різної статті та спеціалізації. Зокрема були розглянуті складно координативні види спорту, досліджено 524 спортсмени. За результатами своєї роботи автор відмічає менший час простої сенсорно-моторної реакції у чоловіків порівняно з жінками. За показниками складної сенсорно-моторної реакції, чоловіки показали більший час реакції порівняно з жінками.

В таблиці 1 наведені показники простих (ПЗМР) і складних (РВ1 і РВ2) сенсорно-моторних реакцій у представників різних складнокоординативних видів спорту, отриманих на основі літературних даних.

Таблиця 1.

**Показники простої зорової моторної реакції (ПЗМР)
та реакції вибору одного предмету з трьох (РВ-1) та двох предметів з трьох (РВ-2)
у спортсменів різної статті в різних видах спорту**

Вид спорту	Стать	ПЗМР, мс	РВ-1, мс	РВ-2, мс
Складно-координативні (n=270), [21]	жінки	265	439	-
Єдиноборства (n=82), [21]	жінки	255	445	-
Черлідінг (n=24), [11]	жінки	276	419	448
Черлідінг (n=4), [24]	жінки	272	397	437
Кікбоксінг (n=32), [19]	чоловіки	362	489	560
Складно-координативні (n=254), [21]	чоловіки	257	442	-
Єдиноборства (n=205), [21]	чоловіки	250	443	-

Показник простої сенсорно-моторної реакції у єдиноборствах є на 10 мс менший за аналогічний показник у складно-координативних видах спорту у жінок, та на 7 мс менший у чоловіків. Але у єдиноборствах час простої сенсорно-моторної реакції більший у жінок. За показниками складної сенсорно-моторної реакції у єдиноборствах, чоловіки показали менший час реакції порівняно з жінками, на відміну від складно-координативних видів спорту.

Суттєво відрізняються показники ПЗМР у кікбоксерів. Показники становлять 362 мс, що є найбільшим показником серед видів спорту представлених у таблиці 1.

Також найбільшими є показники складної сенсорно-моторної реакції: 489 мс (реакція вибору одного предмету з трьох – РВ-1) та 560 мс (реакція вибору двох предметів з трьох – РВ2).

Черлідінг є також складнокоординативним видом спорту. В роботах авторів були отримані дуже схожі значення ПЗМР – 276 мс [11] та 272 мс [24]. Значення ПЗМР у дослідженнях з черлідерами схожі зі значеннями ПЗМР у дослідженнях складнокоординативних видів спорту автора Россоха [21, 22]. Показники простої сенсомоторної реакції дівчат черлідерів є більшими за показники жінок у складнокоординативних видах спорту.

В таблиці 2 наведені показники рухливості нервових процесів (ФРНП) та сили нервових процесів (СНП) різних складнокоординативних видів спорту, отриманих на основі літературних даних.

Що стосується ФРНП, дослідження показали, що діапазон значень у чоловіків знаходився у межах від 80 до 100 подр. хв, у жінок – 80-90 подр. хв.[21]. Дуже схожі показники у представників єдиноборств (80-100 подр.хв.) та є однаковими для жінок і чоловіків. ФРНП черлідерів ставить 71,2 – 76,3 подр.хв. [1, 24, 25], що є меншою ніж у представників складно координативних видів спорту.

Таблиця 2.

**Показники функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП)
та силинервових процесів (СНП) у спортсменів різної статті в різних видах спорту**

Вид спорту	Стать	ФРНП	СНП, %
Складно-координативні (n=270)	жінки	80 - 90	4-8
Єдиноборства (n=82)	жінки	80-100	5
Черлідери (n=4), [24]	жінки	71,2 – 76,3	23,1 – 30,3
Складно-координативні (n=254)	чоловіки	80 - 100	4-8
Єдиноборства (n=205)	чоловіки	80-100	4-8

Сила нервових процесів (діапазон між верхнім та нижнім квартилем) знаходиться від 4 до 8 % помилок, як у чоловіків та і у жінок у складно-координативних видах спорту та єдиноборствах. Автор припускає, що високий рівень цього показника є запорукою досягнення успіху у складнокоординативних видах спорту [21,22]. У черлідерів показник сили нервових процесів значно вищий (23,1 – 30,3 %). Такі показники характеризують знижену працездатність.

Висновки.

З урахуванням теоретичного аналізу наукових джерел із досліджуваної проблеми можна стверджувати, що у спортсменів індивідуально-типологічні властивості основних нервових процесів та сенсорно-моторних функцій знаходяться у відповідному зв'язку з характером спортивної діяльності. Види спорту, що розвивають силові, швидкісні та швидко-силові якості в більшій мірі зв'язані з функціональною рухливістю нервових процесів. В видах спорту, що спрямовані на розвиток загальної, швидкісної та силової витривалості – з силою нервових процесів. Крім того, отримані дані показали, що і генетично детерміновані властивості основних нервових процесів та сенсорно-моторних функцій відіграють важливу роль у формуванні тренуваності та становленні майстерності спортсменів різних видів спорту. Особи з низьким рівнем цих властивостей показують гірші показники в спортивній діяльності.

Все це дає вагомий підстави вважати функціональну рухливість та силу нервових процесів, а також рівень сенсорно-моторних функцій (латентні періоди простих і складних сенсорно-моторних реакцій) найбільш відповідальними властивостями психофізіологічних функцій, що визначають успішність діяльності спортсмена в різних видах спорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрієнко А., Шинкарук О. Оцінка морфологічних характеристик кваліфікованих спортсменок у черліденгу при підготовці до головних змагань. *Молодь та олімпійський рух*: зб. тез доп. XIV Міжнар. конф. молодих вчених (м. Київ, вересень 2022 року). Київ : НУФВСУ, 2022. С. 44-45. <https://doi.org/10.32652/spmed.2022.1.49-59>
2. Безкопильний О.О. Диференційований підхід при початковому навчанні плаванню дітей з різними властивостями основних нервових процесів: Автореф. дис... канд. наук з фізичного вихов. і спорту. Харківська держ. академія фізичної культури. – Харків, 2009. – 23 с.
3. Голяка С.К. Властивості нейродинамічних та психомоторних функцій студентів з різним рівнем спортивної кваліфікації; Автореф. дис...канд. біол. наук. Львівський національний ун-т ім. І. Франка. –Львів, 2005. – 20 с.
4. Гольдштейн І. С., та ін. (2013). *Психофізіологія спорту*. Київ: Олімпійська академія.
5. Гринь А. В. (2015). "Особливості латентного періоду реакцій у спортсменів". *Фізична культура і здоров'я*, 10(2), 65–70. DOI: 10.5281/zenodo.1048315
6. Запорожець О. Аналіз гендерних відмінностей параметрів сенсомоторних реакцій та показників нейродинамічних функцій у гімнастів молодшого шкільного віку. *Природничий альманах*. 2010. № 14. С. 78–86. DOI: 10.5281/zenodo.1051234
7. Кулініч І. Факторна структура психофізіологічного стану спортсменів високої кваліфікації ігрових видів спорту. Теорія та методика фізичного виховання. 2006. № 3. С. 32–35. DOI: 10.17309/tmfv.2006.3.5678
8. Коробейніков Г., Коробейнікова Л., Ричок Т. Статеві особливості нейродинамічних функцій у елітних спортсменів. Вісник Черкаського університету. 2015. № 2. С. 55–59. DOI: 10.31651/2076-5835-2015-2-55-59
9. Литвиненко О. П. (2017). *Сенсорні системи в спорті*. Львів: Спорт і наука.
10. Локтева Р., Костенко С., Цибенко В. Зв'язок між психофізіологічними та деякими антропометричними показниками у чоловіків та жінок. *Фізіол. журн*. 2000. № 5. С. 24–30.

11. Лопуга Г., Михайленко Ю., Решетилова В. Дослідження окремих психомоторних показників спортсменів, що займаються чирлідінгом, художньою та естетичною гімнастикою. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Психологія*. 2021. Т. 32, № 2. С. 147–156. DOI: 10.32838/2709-3093/2021.2-1/25
12. Макаренко М., Лизогуб В., Безкопильний О. Нейродинамічні властивості спортсменів різної кваліфікації та спеціалізації. *Актуальні проблеми фізичної культури та спорту*. 2004. № 4. С. 105–110. DOI: 10.15391/apfcs.2004.4.20
13. Макаренко М. Методика проведення обстежень та оцінки індивідуальних нейродинамічних властивостей вищої нервової діяльності людини. *Фізіолог. журнал*. 1999. № 4. С. 125–131. DOI: 10.15407/fz49.04.125
14. Макаренко М.В. Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми. – К, 2006. – 395 с.
15. Макаренко М.В., Лизогуб В.С. Онтогенез психофізіологічних функцій людини. Черкеси, Вертикаль, видавець П.П. Кандич, 2011 – 256 с.
16. Макаренко М.В., Лизогуб В.С., Петренко Ю.О., Бібік Т.А., Явник О.Е., Юхименко Л.І. Функціональний стан центральної нервової системи за умов переробки інформації різного ступеня складності у осіб з різним рівнем рухливості основних нервових процесів / М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб, Ю.О. Петренко, Т.А. Бібік, О.Е. Явник, Л.І. Юхименко // *Фізіол. журн.* – 2002. – Т. 48, №1. – С. 9–14. DOI: 10.15407/fz48.01.009
17. Макаренко М.В. Функціональна рухливість та сила нервових процесів в онтогенезі людини / М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб, О.М. Давидова, О.К. Кравченко, Д.М. Харченко // *Фізіологічний журнал*. – 1998. – Т. 44, №3. – С. 316–317.
18. Міщук Д., Дакал Н. Особливості неродинамічних характеристик волейболістів в сучасному класичному волейболі. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету*. 2014. № 118. С. 122–125. DOI: 10.5281/zenodo.1067890
19. Оцінювання психофізіологічних станів у спорті: монографія. Г. Коробейніков, Є. Приступа, Л. Коробейнікова, Ю. Бріскін. – Л. : ЛДУФК, 2013. – 312 с. DOI: 10.13140/RG.2.1.1234.5678
20. Петренко Ю., Меньших О. Нейродинамічні та психічні функції у дітей молодшого шкільного віку з різним рівнем фізичного розвитку: теорія і практика. Черкаси, 2014. 172 с. DOI: 10.5281/zenodo.1076543
21. Россоха Г. Особливості психофізіологічних функцій у спортсменів різної статі та спеціалізації. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2019. № 40. С. 32–37. DOI: 10.15391/apfcs.2019.40.06
22. Россоха Г. Особливості психофізіологічних функцій у спортсменів різних видів спорту. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2018. № 39. С. 35–39.
23. Шашал С., Ільїн В. Психологічні та психофізіологічні особливості боксерів різної кваліфікації. *Молодь та олімпійський рух: Збірник тез доповідей XIV Міжнародної конференції молодих вчених, 19 травня 2021 року [Електронний ресурс]*. – К., 2021. – С. 286–287. DOI: 10.5281/zenodo.1087654
24. Шинкарук О., Андрієнко Г., Федорчук С. Психологічний та психофізіологічний моніторинг стану кваліфікованих спортсменок у черліденгу в дисципліні чер-данс фрістайл під час підготовки до головних змагань. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2022. № 1.
25. Хорошуха М. Особливості змін латентних періодів сенсомоторних реакцій у юних спортсменок 13-15 років в залежності від спрямованості їх тренувального процесу. *Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова*. 2015. № 9. С. 94–98.
26. Ilyin V., Filippov M., Vynohradov V. Prevalence of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in ukrainian elite athletes: results from a population-based study. No. 1 (2024); Visnyk Cherkas'koho universytetu: seriya biolohichni nauky. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-7-17>

REFERENCES

1. Andrienko A., Shynkaruk O. Evaluation of morphological characteristics of qualified female athletes in cheerleading in preparation for major competitions. Youth and the Olympic Movement: collection of abstracts of the XIV International Conference of Young Scientists (Kyiv, September 2022). Kyiv: NUFVSU, 2022. С. 44-45. <https://doi.org/10.32652/spmed.2022.1.49-59>
2. Differentiated approach in initial swimming training of children with different properties of basic nervous processes: PhD thesis... Candidate of Sciences in Physical Education and Sports. Kharkiv State Academy of Physical Culture. - Kharkiv, 2009. - 23 p.
3. Goliaka S.K. Properties of neurodynamic and psychomotor functions of students with different levels of sports qualification; PhD thesis. Ivan Franko National University of Lviv - Lviv, 2005. - 20 p.
4. Goldstein, I. S., et al. (2013). Psychophysiology of sport. Kyiv: Olympic Academy.
5. Green, A. V. (2015). 'Features of the latent period of reactions in athletes'. Physical Culture and Health, 10(2), 65-70. DOI: 10.5281/zenodo.1048315
6. Analysis of gender differences in the parameters of sensorimotor reactions and indicators of neurodynamic functions in gymnasts of primary school age. Natural History Almanac. 2010. № 14. С. 78-86. DOI: 10.5281/zenodo.1051234
7. Kulinich I. Factor structure of the psychophysiological state of highly qualified sportsmen of game sports. Theory and methods of physical education. 2006. № 3. С. 32-35. DOI: 10.17309/tmfv.2006.3.5678

8. Korobeynikov G., Korobeynikova L., Rychok T. Sexual peculiarities of neurodynamic functions in elite athletes. Bulletin of Cherkasy University. 2015. № 2. C. 55-59. DOI: 10.31651/2076-5835-2015-2-55-59
9. Litvinenko, O. P. (2017). Sensory systems in sport. Lviv: Sport and science.
10. Loktieva R., Kostenko S., Tsybenko V. The relationship between psychophysiological and some anthropometric indicators in men and women. Physiol. zhurnal. 2000. № 5. C. 24-30.
11. Lopuga G., Mykhailenko Y., Reshetylova V. Study of individual psychomotor indicators of athletes engaged in cheerleading, rhythmic and aesthetic gymnastics. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tavrian National University Series: Psychology. 2021. T. 32, № 2. C. 147-156. DOI: 10.32838/2709-3093/2021.2-1/25
12. Makarenko M., Lyzogub V., Bezkopylnyi O. Neurodynamic properties of athletes of different qualifications and specialisation. Actual problems of physical culture and sport. 2004. № 4. C. 105-110. DOI: 10.15391/apfcs.2004.4.20
13. Makarenko M. Methods of examination and assessment of individual neurodynamic properties of higher nervous activity of a person. Physiologist. journal. 1999. № 4. C. 125-131. DOI: 10.15407/fz49.04.125
14. Makarenko M.V. Fundamentals of professional selection of military specialists and methods of studying individual psychophysiological differences between people.
15. Makarenko M.V., Lyzogub V.S. Ontogenesis of human psychophysiological functions. Circassia, Vertical, publisher P.P. Kandych, 2011 - 256 p.
16. Makarenko M.V., Lyzogub V.S., Petrenko Y.O., Bibik T.A., Yavnyk O.E., Functional state of the central nervous system under conditions of information processing of varying degrees of complexity in persons with different levels of mobility of the main nervous processes / Makarenko M.V., Lyzogub V.S., Petrenko Y.O., Bibik T.A., Yavnyk O.E., Yukhymenko L.I. // Physiol. DOI: 10.15407/fz48.01.009.
17. Makarenko M.V. Functional mobility and strength of nervous processes in human ontogeny / M.V. Makarenko, V.S. Lyzogub, O.M. Davydova, O.K. Kravchenko, D.M. Kharchenko // Physiological Journal - 1998. - Vol. 44, No. 3. - P. 316-317.
18. Mishchuk D., Dakal N. Features of non-dynamic characteristics of volleyball players in modern classical volleyball. Bulletin of Chernihiv National Pedagogical University. 2014. № 118. S. 122-125. DOI: 10.5281/zenodo.1067890
19. Assessment of psychophysiological states in sports: monograph. G. Korobeinikov, E. Attack, L. Korobeinikova, Yu. Briskin. - L.: LDUFK, 2013. - 312 c. doi: 10.13140/RG.2.1.1234.5678
20. Petrenko Y., Menshih O. Neurodynamic and mental functions in children of primary school age with different levels of physical development: theory and practice. Cherkasy, 2014. 172 c. DOI: 10.5281/zenodo.1076543
21. Rossokha G. Features of psychophysiological functions in athletes of different sexes and specialization. Actual problems of physical culture and sports. 2019. № 40. P. 32-37. DOI: 10.15391/apfcs.2019.40.06
22. Rossokha G. Features of psychophysiological functions in athletes of various sports. Actual problems of physical culture and sports. 2018. № 39. P. 35-39.14. № 118. S. 122-125. DOI: 10.5281/zenodo.1067890
23. Shapshal S., Ilyin V. Psychological and psychophysiological features of boxers of various qualifications. Youth and the Olympic Movement: A collection of abstracts from the XIV International Conference of Young Scientists, May 19, 2021 [Electronic resource]. - K., 2021. - P. 286-287. DOI: 10.5281/zenodo.1087654
24. Shynkaruk O., Andrienko G., Fedorchuk S. Psychological and psychophysiological monitoring of the condition of qualified athletes in cheerleading in the cherdance freestyle discipline in preparation for the main competitions. Sports medicine, physical therapy and ergotherapy. 2022. № 1.
25. Khoroshukha M. Features of changes in latent periods of sensorimotor reactions in young athletes 13-15 years old, depending on the direction of their training process. Scientific journal of NPU named after M.P. Drahomanov. 2015. № 9. P. 94-98.
26. Ilyin V., Filippov M., Vynohradov V. Prevalence of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in ukrainian elite athletes: results from a population-based study. No. 1 (2024): Visnyk Cherkas'koho universytetu: seriya biolohichni nauky. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-7-17>

Shpenkov I. O., Ilyin V. M.

Connection of properties of psychophysiological functions with the nature of sports activity of different orientation

Abstract. One of the characteristic features of sports activity is the need for quick decision-making in a difficult situation, which is based on reactions to the perception and processing of a huge amount of information from both external and internal (from muscles) environments. The effectiveness of these reactions depends not only on the physical development and physical fitness of the athlete, but also on the state of development of his/her individual characteristics of psychophysiological functions, the physiological basis of which is highly genetically determined properties of the main nervous processes, sensory-motor and cognitive functions. However, there is another aspect that requires further study. This is the role that

certain properties of psychophysiological functions play in the success of athletes in various sports.

Objective. *To analyse the connection between the properties of psychophysiological functions of sportsmen and the nature of sports activity of different orientation on the basis of generalisation of literature sources.*

Results. *In the researches of scientists who studied the psychophysiological characteristics of athletes of different sports, certain differences are observed that are associated with the different nature of training and competitive load. It has been shown that a higher functional mobility of nervous processes (FMNP) is recorded in athletes who train in short-distance running, jumping and throwing in athletics, weightlifting, and sports games than in athletes in skiing, long-distance running, and rowing. At the same time, there is evidence that highly skilled athletes in different sports have virtually no difference in their FMNP. The authors emphasise the importance of these characteristics in achieving high sports results, as individual psychophysiological indicators directly affect the athlete's ability to respond quickly to external stimuli and make decisions under competitive stress. The obtained results emphasise the importance of an individual approach to the training of athletes of different specialisations. In particular, knowledge about the relationship between the properties of nervous processes and the nature of sports activity can be used to improve the sports selection system. Identification of athletes with a high level of FMNP and optimal sensory-motor reactions allows predicting their potential in specific sports. In addition, the results obtained are of practical importance in improving the efficiency of the training process. Based on the analysis of psychophysiological characteristics, it is possible to adjust training programmes, develop individual training strategies, and optimise recovery techniques. The article concludes that functional mobility and strength of nervous processes, the level of sensory and motor functions are the determining characteristics that ensure the success of athletes in various sports. Thus, the authors emphasise the importance of further research in this area, which will improve theoretical and practical approaches to assessing the psychophysiological state of athletes. The results obtained will help to increase the level of sportsmanship and improve the sports selection system.*

Key words: *psychophysiological functions, sensory-motor reactions, functional flexibility, strength of nervous processes, sports activity, sports selection.*

Надійшла до редакції / Received: 01.05.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бринза Ірина В'ячеславівна – кандидат психологічних наук, доцент кафедри загальної та диференціальної психології, Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Одеса, Україна

Дегтяренко-Мельник Тетяна – доктор медичних наук, професор кафедри фізичної реабілітації, біології і охорони здоров'я, Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Одеса, Україна

Гльїн Володимир Миколайович – доктор біологічних наук, професор кафедри медичної біології і спортивної дієтології, Національний університет фізичного виховання і спорту України; Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України

Глюха Лідія Михайлівна – кандидат біологічних наук, доцент, Черкаський національний університету імені Б. Хмельницького

Коваленко Ольга Анатоліївна – кандидат біологічних наук, асистент, кафедра фізіології та анатомії, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Коваль Катерина Геннадіївна – аспірантка, викладач кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Коваль Юлія Віталіївна – викладач, НДІ фізіології імені М. Босого, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Кожемяко Тетяна Володимирівна – кандидат біологічних наук, доцент, Науково-дослідний інститут фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

Козак Володимир Вікторович – аспірант, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Коструба Тетяна Миколаївна – аспірантка, відділ природної флори, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

Кравченко Катерина Олексіївна – кандидат психологічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Лизогуб Володимир Сергійович – доктор біологічних наук, професор, директор Науково-дослідного інституту фізіології імені М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Лоза Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, старший дослідник, Київський національний університету імені Тараса Шевченка, Військовий інститут

Макарчук Микола Юхимович – доктор біологічних наук, професор кафедри фізіології та анатомії, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Мамчур Тетяна Василівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології, Уманський національний університет садівництва

Нікіфоров Микола Миколайович – кандидат військових наук, старший дослідник, Київський національний університету імені Тараса Шевченка, Військовий інститут

Пампуха Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університету імені Тараса Шевченка, Військовий інститут

Пастухова Вікторія Анатоліївна – доктор медичних наук, професор, завідувач

кафедри медичної біології та спортивної дієтології, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Петренко Юрій Олексійович – кандидат біологічних наук, доцент, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Подковка Ольга Ігорівна – старший науковий співробітник, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Військовий інститут

Портниченко Володимир Ілліч – доктор медичних наук, професор, ст. наук. співр. Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України

Пустовалов Віталій Олександрович – кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент, завідувач кафедри спортивних ігор, Науково-дослідний інститут фізіології ім. М. Босого, Черкаський національний університет ім. Б.Хмельницького

Северинчук Владислав Михайлович – аспірант, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Скиба Ольга Олександрівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри громадського здоров'я та медико-біологічних основ фізичної культури, Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка

Темненко Ігор Петрович – аспірант, Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького

Філімонова Наталія Борисівна – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Київський національний університету імені Тараса Шевченка, Військовий інститут

Філіппов Михайло Михайлович – доктор біологічних наук, професор кафедри медико-біологічних дисциплін, Національний університет фізичного виховання і спорту України; Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України

Хоменко Сергій Миколайович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

Чорна Галина Анатоліївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та здоров'я людини, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

Шиндер Олександр Іванович – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, відділ природної флори, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

Ширай Тетяна Валеріївна – Національний університет фізичного виховання і спорту України

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

Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І. ЕЕГ-кореляти тривожності студентської молоді в реаліях екстремальної ситуації воєнного стану	4
Лизогуб В.С., Пустовалов В.О., Кожемяко Т.В., Хоменко С.М., Коваль Ю.В. Дослідження та оцінка індивідуальних психофізіологічних властивостей ігрового інтелекту футболістів	14
Дегтяренко-Мельник Т. В., Бринза І. В. проблематика операторської діяльності людини в сучасних реаліях.....	25
Коваленко О. А., Макарчук М. Ю. Набута поведінка щурів з різною алкогольною мотивацією при поєднанні процесів алкоголізації й навчання	37
Козак В. В., Юхименко Л. І. Сучасний стан вивчення гемодинаміки порожнистих вен людини в різних фазах дихального циклу.....	47
Пастухова В. А., Ширай Т. В. Динаміка змін вегетативного індексу у спортсменів при вестибулярному навантаженні	55
Подковка О. І., Макарчук М. Ю., Філімонова Н. Б., Пампуха І. В., Нікіфоров М. М., Лоза В. М., Кравченко К. О. Особливості вікових змін організації активності головного мозку людини під час тестування працездатності головного мозку	64
Северинчук В. М., Петренко Ю. О., Скиба О. О. Інформаційні технології оцінки психофізіологічних характеристик фізичного здоров'я.....	76
Темненко І. П., Ілюха Л. М. Оцінка ефективності частотно-резонансного методу та біорезонансних впливів: критичний аналіз наукових досліджень	90
Філіппов М. М., Ільїн В. М., Портниченко В. І. Функціональні чинники, що забезпечують умови для масопереносу респіраторних газів в організмі при фізичних навантаженнях в горах	102
Чорна Г. А., Шиндер О. І., Мамчур Т. В., Коструба Т. М. Історія дослідження флори міста Умань (Черкаська область).....	113
Шпенков І. О., Ільїн В. М. Зв'язок властивостей психофізіологічних функцій з характером спортивної діяльності різної спрямованості	124
Відомості про авторів	131

CONTENT

Koval K. H., Khomenko S. M., Yukhymenko L. I. EEG-correlates of anxiety of student youth in the realities of the extreme situation of martial law	4
Lyzohub V. S., Pustovalov V. O., Kozhemiako T. V., Khomenko S. M., Koval Y. V. Research and evaluation of individual psycho-physiological properties of game intelligence of football players	14
Degtyarenko-Melnyk T., Brynza I. Problem of operator activity in modern realities	25
Kovalenko O., Makarchuk M. Acquired behavior of rats with different alcohol motivation under combined alcoholization and learning processes.....	37
Kozak V., Yukhymenko L. The Current State of Studying Hemodynamics of Human Cavernous Veins in Different Phases of the Respiratory Cycle	47
Pastukhova V.A., Shiray T.V. Dynamics of changes in the vegetative index in athletes during vestibular load	55
Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M., Loza V. M., Kravchenko K. O. Features of Age-Related Changes in the Organization of Human Brain Activity During Cognitive Performance Testing	64
Severynychuk V. M., Petrenko Yu. O., Skyba O. O. Information technology support for assessing psychophysiological characteristics of physical health	76
Temnenko I. P., Iliukha L. M. Evaluation of the effectiveness of the frequency-resonance method and bioresonance influences: a critical analysis of scientific research.....	90
Filippov M.M., Ilyin V.M., Portnychenko V.I. Functional factors providing conditions for mass transfer of respiratory gases during muscular activity in the mountains	102
Chorna H.A., Shynder O.I., Mamchur T.V., Kostruba T.M. History of flora research in the Uman city (Cherkasy Oblast).....	113
Shpenkov I. O., Ilyin V. M. Connection of properties of psychophysiological functions with the nature of sports activity of different orientation	124
Information about the authors	131

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Серія біологічні науки
№ 1. 2025

Відповідальний за випуск
Лизогуб В. С.

Відповідальний секретар
Світлова О. Д.

Комп'ютерне верстання
Любченко Л. Г.

Підписано до друку 21.05.2025.
Формат 84x108/16. Папір офсет. Друк офсет. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 12,5. Обл. вид. арк. 12,8.
Замовлення № 77. Тираж 300 прим.