

(96 hours), but the difference was not statistically significant ($p=0.059$). Exudation lasted longer in groups I and III compared to group II ($p=0.044$). Sympathomimetic doses were significantly lower in group II – 5 (4-5) mcg/kg/min ($p<0.001$), while the duration of their use was the shortest in group II – 48 (24-72) hours ($p=0.048$). The duration of hospitalization was also shortest in group II – 19 (15-24) days, unlike groups I (21 days) and III (22 days), the difference was statistically significant ($p<0.001$). The level of saturation after surgery and at discharge gradually increased from group I to group III, with significant differences observed only at discharge ($p=0.026$). Thus, the most favorable postoperative course according to most indicators was observed in patients of group II, which manifested itself in faster extubation, lower CVP, less need for sympathomimetics, and shorter hospital stay. An uncomplicated early postoperative period was observed in 77% ($n=142$ patients). The other 23% ($n=43$ patients) had 56 complications, distributed as follows: group I – 19 complications in 15 patients, group II – 14 complications in 13 patients, group III – 23 complications in 14 patients. The average observation period was 58 ± 7 months (from 6 to 192 months). Patient survival was: after 6 months – 98.9%, after 1 year – 97.3% and remained stable until the final stage of hemodynamic correction. The next, or final stage of hemodynamic correction of TCC in the main study group ($n=185$ patients) was performed in 140 patients, which is 75.6%. Contact was lost with 7 patients.

The contribution of the SVC flow directly depends on the patient's age and gradually decreases in older patients, therefore the clinical effect of BCPA is significantly better when the operation is performed in early childhood (from 1 to 3 years).

Key words: congenital heart defects, single-ventricle heart physiology, decreased pulmonary blood flow, increased pulmonary blood flow, bidirectional cavapulmonary anastomosis, hemodynamic correction.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Dziuryi I. V.: <https://orcid.org/0000-0002-1073-7060>^{ABCDEF}

Truba Ia. P.: <https://orcid.org/0000-0001-5214-408X>^{ADEF}

Maistriuk H. V.: <https://orcid.org/0009-0006-0613-1732>^D

Yakimishen O. O.: <https://orcid.org/0000-0002-0634-3579>^D

Lazoryshynets V. V.: <https://orcid.org/0000-0002-1748-561X>^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Dziuryi Ivan Vasylyovych / Дзюрий Іван Васильович

National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery, National Academy of Medical Sciences of Ukraine / ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України»

Ukraine, 03038, Kyiv, 6 N. Amosov str. / Адреса: Україна, 03038, м. Київ, вул. М. Амосова 6

Tel.: +380994818512 / Тел.: +380994818512

E-mail: ivandzyurii@gmail.com

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

Received 29.07.2025 / Стаття надійшла 29.07.2025 року

Accepted 12.11.2025 / Стаття прийнята до друку 12.11.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-140-148

UDC 612.66

¹Kobal I. V., ²Sokolenko V. L.

SIGNS OF IMMUNOSENESCENCE AT THE LEVEL OF THE LEUKOGRAM IN TEACHERS OF DIFFERENT AGES DURING THE PERIOD OF MARTIAL LAW

¹Cherkasy Medical Academy (Cherkasy, Ukraine)

²Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (Cherkasy, Ukraine)

sokolenko@ukr.net

The study of the signs and mechanisms of immunosenescence is one of the current research areas of modern biology and medicine. Among the factors influencing the development of immunosenescence, psychological stress is indicated. Available studies show an increased level of stress among school teachers caused by martial law factors. The aim of the study is to determine the presence of changes in the leukocyte formula, as signs of immunosenescence, in education workers of different ages during martial law.

The analysis of the leukocyte formula was carried out in 2023/2024. The control group was formed by students of 2-3 years of the Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (40 people). The research group was formed by 60 pedagogical workers of secondary education institutions of the city of Cherkasy and Cherkasy district, who underwent routine medical examinations. Within the groups, subgroups of the first mature age (26-34 years, 30 people) and the second mature age (35-52 years, 30 people) were distinguished. The studies were conducted in compliance

with the rules of bioethics. Leukogram indicators were determined on the Diagon D-cell 60 analyzer (Diagon Ltd, Hungary). Additional analysis of granulocyte populations was performed using a blood smear stained according to Pappenheim.

It was established that during the period of martial law, people working in the field of education show signs of stress, which are manifested by changes in the quantitative indicators of leukocyte populations and their ratio. Some of the stress-induced changes in natural resistance, especially pronounced among educators of the second mature age, are signs of mobilization of inflammatory processes and hypersensitivity reactions and can be characterized as primary markers of immunosenescence.

Key words: immunosenescence, leukocyte formula, psychological stress, martial law, educational activity.

Connection of the publication with planned research work.

The research was carried out within the scientific theme of the Department of Cell Biology and Methods of Teaching Biological Disciplines of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy: "Immunological and Microbiological Criteria for the Formation of Allostatic Load" (state registration number 0121U107531).

Introduction.

Immunosenescence, or immune aging, is a universal and irreversible biological process characterized by dysfunction of the innate and adaptive immune response, increased susceptibility to infections, low efficacy of vaccination, and intensification of inflammatory, oncological, and autoimmune processes [1-4]. Research on the relationship between social stress and immunity has shown that people who experience chronic psychological stress in a social environment experience depletion of the T-cell component of immunity. However, the consequences largely depend on social determinants such as ethnicity, education level, and socioeconomic status. In this case, chronic stress can lead to cortisol resistance and stimulate the development of inflammatory processes [5-7]. As a result, patients with depressive states and post-traumatic stress disorders often have elevated levels of inflammatory markers. A critically important component is also immune resistance, as an individual feature of the immune system's ability to maintain or quickly restore its functions after negative influences [8]. The presence of elderly people with a higher level of immune resistance calls into question traditional ideas about the inevitable development of immunosenescence in the aging process [4].

In Ukraine, the first stress among a significant proportion of the population, in particular, educators, from the COVID-19 pandemic was supplemented by stress from the war in 2022. Available publications show a significantly increased level of stress among school teachers caused by martial law factors [9-11].

Studies of immune resistance in the aging process are largely limited to basic immunophenotyping of common immune populations, cytokine analysis, or transcriptomic studies of leukocytes. It is believed that additional studies are needed to correctly assess immunocompetence and its changes in response to age, immune problems, or various forms of stress [4].

The aim of the study.

To determine the presence of changes in the leukocyte formula as signs of immunosenescence in education workers of different ages during martial law.

Object and research methods.

The examination was conducted in 2023/2024 (the period of martial law in Ukraine). Blood tests were

performed on 100 people without signs of acute or chronic diseases. The conclusion on the state of health was made by medical specialists of the Cherkasy Central District Hospital of the Chervonoslobodsk Village Council.

The studies were conducted in compliance with the rules of bioethics. All examinees gave their consent to participate in the study, and in the case of professional examinations – to the analysis of the obtained clinical data with the observance of anonymity.

The control group was formed by students of the 2nd-3rd year of the Bohdan Khmelnytskyi Cherkasy National University (40 people). The research group was formed by 60 pedagogical workers of secondary education institutions of the city of Cherkasy and Cherkasy district aged 26-52 years, who underwent routine medical examinations on the basis of the Cherkasy Central District Hospital. Within the groups, subgroups of the first mature age (26-34 years, 30 people) and the second mature age (35-52 years, 30 people) were distinguished. Individuals of the first mature age worked in the industry for less than 10 years, individuals of the second mature age – for more than 10 years.

Leukogram indicators were determined on the Diagon D-cell 60 analyzer (Diagon Ltd, Hungary). Additional analysis of granulocyte populations was performed on a blood smear stained according to Pappenheim.

Statistical processing of the material was carried out using the Microsoft Excel program. The mean value and its error were determined ($X \pm m$). The difference between different groups was determined by the Student t-test (after checking the samples for normal distribution). When assessing reliability, compliance with three confidence intervals was taken into account: $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$.

Research results and their discussion.

It was found that the indicator of the total number of leukocytes is shifted to the upper limit of the norm in persons of the first mature age, in persons of the second mature age there is no such shift. As a result, the total number of leukocytes does not have a significant difference with the control in persons of the first age group and is significantly lower than the control values in persons of the second age group. At the same time, there is no significant difference between the groups divided by age (**table**). Thus, in both the control and the experimental groups, a certain mobilization of leukopoiesis is observed, the least pronounced in teachers of the second mature age.

The relative and total number of lymphocytes in all subjects (both in the control and experimental groups) showed a tendency to shift to the lower value of the reference range. At the same time, in individuals of the first mature age, the indicator did not differ significantly

Table – Leukocyte indices in education workers of different age groups ($\bar{X} \pm m$)

Indicators / normal reference values	Control group, n=40	Teachers of the first mature age, n=30	Teachers of the second mature age, n=30
Leukocytes, x 10 ⁹ /L / 4.0-9.6	8.64±0.162	8.24±0.329	7.41±0.319 **
Lymphocytes, % / 20-40	21.83±0.582	22.17±0.569	19.27±0.567 */ ###
Lymphocytes, x 10 ⁹ /L / 1.5-4.0	1.90±0.074	1.86±0.070	1.45±0.077 *** / ####
Monocytes, % / 4.0-10.0	7.30±0.243	6.87±0.431	11.67±0.517 *** / ####
Monocytes, x 10 ⁹ /L / 0.2-0.8	0.63±0.026	0.58±0.048	0.87±0.050 *** / ####
Neutrophils band, % / 1.0-6.0	6.75±0.223	7.67±0.419	5.20±0.354 *** / ####
Neutrophils band, x 10 ⁹ /L / 0.04-0.4	0.59±0.027	0.63±0.039	0.40 ± 0.037 *** / ####
Neutrophils segm., % / 47.0-65.0	61.48±0.692	55.87±0.990 ***	59.10±1.385 ***
Neutrophils segm., x 10 ⁹ /L / 2.0-6.5	5.29±0.088	4.62±0.217 **	4.37±0.220 ***
Eosinophils, % / 0.5-3.0	1.90±0.128	2.77±0.348 *	2.93±0.262 **
Eosinophils, x 10 ⁹ /L / 0.05-0.45	0.16±0.012	0.24±0.036 *	0.22±0.024 *
Basophils, % / 0.0-1.0	0.75±0.128	2.00±0.173 ***	2.47±0.124 *** / #
Basophils, x 10 ⁹ /L / 0.00-0.02	0.06±0.010	0.17±0.016 ***	0.16±0.011***

Notes: * – P<0.05; ** – P<0.01; *** – P<0.001 – compared with the indicators in the control group; # – P<0.05; ## – P<0.01; ### – P<0.001 – compared with the indicators in individuals of the first mature age.

from the control, and in individuals of the second mature age it was significantly lower than the control values. As a result, the relative and total number of lymphocytes in individuals of the second mature age was significantly lower than in the subjects of the first mature age (table). In general, a reduced number of lymphocytes, with cases of exceeding the lower limit of the reference range, as a recognized biomarker of chronic stress, indicates the presence of a stress effect for all subjects. A particularly pronounced effect is observed in educators of the second mature age.

In all the examined, there is a tendency for the average relative and total number of monocytes to shift to the upper limit of the reference values, in both analyzed age groups of educators, cases of the indicator exceeding the upper limit were detected. In the examined first mature age, there is no significant difference between the indicator and the control, in the educational workers of the second mature age the indicator is significantly higher than the control and than the indicator in the examined first mature age (table). Thus, with age, mobilization of the monocytic link of innate immunity is observed as a potential factor in the formation of pro-inflammatory phenomena.

The relative and total number of band neutrophils demonstrated a pronounced tendency to shift to the upper limit of the norm with frequent cases of exceeding this limit in all examined. Moreover, among persons of the first mature age, such cases were observed more often, the indicators in this subgroup did not differ significantly from the control. In education workers of the second mature age, the indicators were significantly lower than in the control group and in the examined persons of the first mature age (table). Thus, despite the general tendency to increase the number of band neutrophils, such an effect is more characteristic of educators of the first mature age.

In all education workers, both of the first and second mature age, the relative number of segmented neutrophils by the average value was within the recommended limits of the reference range and was significantly lower than in the control group. There was no significant difference between the groups divided by age (table).

The relative and total number of eosinophils in education workers of both the first and second mature age were significantly higher than the indicators in the control group, the relative number by the average value was shifted to the upper limit of the reference range. There was no significant difference between the groups divided by age (table).

Thus, there is a significant mobilization of the pro-inflammatory fraction of the nonspecific link of cellular immunity in educators of all age groups in all years of the study.

The relative and total number of basophils in workers of the first and second mature age on average exceeded the upper limit of the reference range and were significantly higher than the indicators in the control group. This is due to the indicator exceeding the upper limit in a significant part of the examined from each group. In the examined second mature age, the relative number is significantly higher than in the examined first mature age (table).

In general, the detected decrease in the number of lymphocytes in the subgroup of educators of the second mature age, as a classic sign of a stress reaction, in the absence of a similar pattern in the subgroup of the first mature age, can be considered a consequence of prolonged professional exposure. However, in educators of the first mature age, a significant increase in the number of rod-shaped neutrophils (a shift of the formula to the left) is observed, which, in the absence of pronounced inflammatory pathologies, can be characterized as a compensatory reaction to stress exposure. That is, in both age subgroups of educators there are signs of stress-induced changes in natural resistance, but they are implemented by different mechanisms. Most neutrophils are short-lived cells, however, they are extremely sensitive to changes in the physiological state of the organism, as well as its circadian rhythms, gender and age [12, 13]. One of the signs of immunosenescence is indicated by structural changes in neutrophils. Involutional changes in surface structures and decreased expression of chemokine receptors inhibit the migratory potential of neutrophils to inflammatory foci to perform their functions [14-17]. Accordingly, an increased number of neutrophils in the

peripheral blood, characteristic of stressful conditions, may also be a sign of impaired migration into the extravascular space.

A characteristic feature of this phenomenon is the increase in basic inflammation. This phenomenon is often called "inflammatory aging", which, in turn, affects various parts of the immune system, causing its remodeling [13, 18, 19]. The aging process of the body is accompanied by a shift of hematopoietic stem cells to the myeloid cell lineage. This contributes to the fact that the size of neutrophil populations in the peripheral blood of elderly people without concomitant diseases remains quite stable [20]. An increase in the number of neutrophils with age is considered evidence of the risks of age-induced imbalance in the functioning of the immune system [21]. Environmental factors associated with aging are likely to affect the dysregulation, infiltration and activation of neutrophils [13].

One of the classic signs of aging is chronic low-grade inflammation, which is formed due to the activation of innate immune factors against the background of suppression of the adaptive immune response [22]. The development of a low-level inflammatory process can be promoted by changes in the interaction of neutrophils and macrophages [13]. In healthy elderly adults, an increased number of monocytes in the peripheral blood is a fairly typical phenomenon [23, 24]. However, it is generally accepted that monocytes are one of the central components of inflammation, especially in elderly people [25, 26].

Another sign of mobilization of inflammatory processes is increased eosinopoiesis in the bone marrow, which leads to an increase in the number of mature eosinophils in the peripheral blood [27]. Eosinophils play an important homeostatic role in the body's immune reactions. At the same time, they play a pathological role

in diseases characterized by pronounced inflammatory phenomena. Therefore, an elevated blood eosinophil count is a reason for further investigation [28].

Eosinophils modulate immune responses through their interactions with various immune cells. Therefore, in the clinic, parallel assessment of the number of eosinophils and neutrophils in the blood is important to characterize inflammatory processes and identify important clinical manifestations [29].

Persistent inflammation, which is a classic sign of immunosenescence, is often a consequence of chronic stress and the resulting accumulated damage [30, 31]. These signs can be associated with both chronological and biological age. Biological age is quite variable and can depend on many factors, in particular, environmental influences [4, 32]. Such factors for educators in Ukraine at this time can be both the conditions of long-term professional activity and the stress factors of martial law.

Conclusions.

Thus, during the period of martial law, individuals working in the field of education show signs of stress, manifested by changes in the quantitative indicators of leukocyte populations and their ratios. These changes have their own characteristics depending on age and duration of work in the field. Some of the stress-induced changes in natural resistance, especially pronounced among teachers of the second mature age, are signs of mobilization of inflammatory processes and hypersensitivity reactions and can be characterized as primary markers of immunosenescence.

Prospects for further research.

An assessment of indicators taking into account the gender factor, as well as an analysis of the subpopulation composition of peripheral blood lymphocytes, is planned.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-140-148

УДК 612.66

Кобаль І. В., Соколенко В. Л.

ОЗНАКИ ІМУНОСЕНЕСЦЕНЦІЇ НА РІВНІ ЛЕЙКОГРАМИ В ОСВІТЯН РІЗНОГО ВІКУ У ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ

¹Черкаська медична академія (м. Черкаси, Україна)

²Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (м. Черкаси, Україна)

sokolenko@ukr.net

Вивчення ознак та механізмів імуносенесценції є одним з актуальних напрямів досліджень сучасної біології та медицини. Серед факторів, що впливають на розвиток імуносенесценції, вказують психологічний стрес. Наявні дослідження, які показують підвищений рівень стресу серед учителів шкіл, викликаний факторами воєнного стану. Мета дослідження – з'ясувати наявність змін лейкоцитарної формули, як ознак імуносенесценції, у працівників галузі освіти різного віку у період воєнного стану.

Аналіз лейкоцитарної формули проводили в 2023/2024 роках. Контрольну групу сформували студенти 2-3 курсів Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (40 осіб). Дослідну групу сформували 60 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району, котрі проходили планові медичні огляди. В межах груп виділили підгрупи першого зрілого віку (26-34 років, 30 осіб) та другого зрілого віку (35-52 років, 30 осіб). Дослідження проводилися з дотриманням правил біоетики. Показники лейкограми визначали на аналізаторі Diagon D-cell 60 (Diagon Ltd, Угорщина). Додатковий аналіз популяцій гранулоцитів проводили за мазком крові, фарбованим за Паппенгеймом.

Встановлено, що в осіб, котрі працюють в галузі освіти, в період воєнного стану спостерігаються ознаки стресового впливу, які проявляються змінами кількісних показників популяцій лейкоцитів та їх співвідношення. Окремі зі стрес-індукованих змін природної резистентності, особливо виражені серед освітян другого зрілого віку, є ознаками мобілізації запальних процесів та реакцій гіперчутливості і можуть характеризуватися як первинні маркери імуносенесценції.

Ключові слова: імуносенесценція, лейкоцитарна формула, психологічний стрес, воєнний стан, освітня діяльність.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження виконувались в межах наукової теми кафедри клітинної біології та методики викладання біологічних дисциплін Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького: «Імунологічні та мікробіологічні критерії формування аллостатичного навантаження» (номер державної реєстрації 0121U107531).

Вступ.

Імуносенесценція, або імунне старіння, є універсальним і невідворотним біологічним процесом, який характеризується дисфункцією вродженої та адаптивної імунної відповіді, підвищеною чутливістю до інфекцій, низькою ефективністю вакцинації та інтенсифікацією запальних, онкологічних та аутоімунних процесів [1-4]. Дослідження зв'язку між соціальним стресом та імунітетом показало, що у людей, які зазнають хронічного психологічного стресу в умовах соціального середовища, спостерігається виснаження Т-клітинної ланки імунітету. Проте, наслідки значною мірою залежать від таких соціальних детермінант, як етнічна належність, рівень освіти, соціально-економічний статус. При цьому хронічний стрес може призвести до резистентності до кортизолу і стимулювати розвиток процесів запалення [5-7]. Як наслідок, у пацієнтів з депресивними станами та посттравматичними стресовими розладами часто спостерігається підвищений рівень запальних маркерів. Критично важливим компонентом є також імунна стійкість, як індивідуальна особливість здатності імунної системи підтримувати або швидко відновлювати свої функції після негативних впливів [8]. Наявність осіб похилого віку, які мають вищий рівень імунної стійкості, ставить під сумнів традиційні уявлення про неминучий розвиток імуносенесценції в процесі старіння організму [4].

В Україні перший стрес серед значної частки населення, зокрема, освітян, від пандемії COVID-19 доповнився стресом від війни у 2022 році. Наявні публікації, які показують істотно підвищений рівень стресу серед учителів шкіл, викликаний факторами воєнного стану [9-11].

Дослідження імунної стійкості у процесі старіння організму значною мірою обмежуються базовим імунотипуванням поширених імунних популяцій, аналізом цитокінів або транскриптомними дослідженнями лейкоцитів. Є думка, що для правильної оцінки імунотипування та її змін у відповідь на вік, імунні проблеми чи різні форми стресу необхідні додаткові дослідження [4].

Мета дослідження.

З'ясувати наявність змін лейкоцитарної формули, як ознак імуносенесценції, у працівників галузі освіти різного віку у період воєнного стану

Об'єкт і методи дослідження.

Обстеження проводили у 2023/2024 роках (період воєнного стану в Україні). Аналіз показників крові проведено у 100 осіб без ознак гострих чи хронічних захворювань. Висновок про стан здоров'я робили

медичні фахівці КНП «Черкаська центральна районна лікарня» Червонослобідської сільської ради.

Дослідження проводилися з дотриманням правил біоетики. Всі обстежені давали погодження на участь в дослідженні, а у випадку професійних оглядів – на аналіз отриманих клінічних даних з дотриманням анонімності.

Контрольну групу сформували студенти 2-3 курсів Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (40 осіб). Дослідну групу сформували 60 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району віком 26-52 років, котрі проходили планові медичні огляди на базі КНП «Черкаська центральна районна лікарня». В межах груп виділили підгрупи першого зрілого віку (26-34 років, 30 осіб) та другого зрілого віку (35-52 років, 30 осіб). Особи першого зрілого віку працювали в галузі менше 10 років, особи другого зрілого віку – більше 10 років.

Показники лейкограми визначали на аналізаторі Diagon D-cell 60 (Diagon Ltd, Угорщина). Додатковий аналіз популяцій гранулоцитів проводили за мазком крові, фарбованим за Паппенгеймом.

Статистичну обробку матеріалу здійснювали з допомогою програми Microsoft Excel. Визначали середнє значення та його похибку. Різницю між різними групами визначали за t-критерієм Стьюдента (після перевірки вибірок на нормальність розподілу). При оцінці достовірності враховували відповідність трьом довірчим інтервалам: $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$.

Результати дослідження та їх обговорення.

Встановлено, що показник загальної кількості лейкоцитів зміщений до верхньої межі норми в осіб першого зрілого віку, в осіб другого зрілого віку таке зміщення відсутнє. Як наслідок, загальна кількість лейкоцитів не має достовірної різниці з контролем в осіб з першої вікової групи і достовірно нижча від контрольних значень в осіб з другої вікової групи. При цьому між групами, розділеними за віком достовірна різниця відсутня (**табл.**). Таким чином, і в контрольній, і в дослідних групах спостерігається певна мобілізація лейкопоезу, найменше виражена в освітян другого зрілого віку.

Відносна та загальна кількість лімфоцитів в усіх обстежених (і в контрольній, і в дослідній групах) демонструвала тенденцію зміщення до нижнього значення референтного діапазону. При цьому в осіб першого зрілого віку показник не відрізнявся достовірно від контролю, а в осіб другого зрілого віку був достовірно нижчим від контрольних значень. Як наслідок, відносна та загальна кількість лімфоцитів в осіб другого зрілого віку була достовірно нижчою, ніж в обстежених першого зрілого віку (**табл.**). Загалом, знижена кількість лімфоцитів, з випадками виходу за нижню межу референтного діапазону, як визначний біомаркер хронічних стресових впливів, свідчить про наявність стресового ефекту для всіх обстежених. Особливо виражений ефект спостерігається у освітян другого зрілого віку.

В усіх обстежених спостерігається тенденція зміщення середнього показника відносної та загальної кількості моноцитів до верхньої межі референтних

значень, в обох аналізованих вікових групах освітан виявлено випадки виходу показника за верхню межу. В обстежених першого зрілого віку відсутня достовірна різниця показника з контролем, у працівників освіти другого зрілого віку показник достовірно вищий від контролю і від показника в обстежених першого зрілого віку (табл.). Таким чином, з віком спостерігається мобілізація моноцитарної ланки вродженого імунітету, як потенційного фактора формування прозапальних явищ.

Відносна та загальна кількість паличкоядерних нейтрофілів демонстрували виражену тенденцію зміщення до верхньої межі норми з частими випадками виходу за цю межу у всіх обстежених. Причому, серед осіб першого зрілого віку такі випадки спостерігалися частіше, показники в цій підгрупі не відрізнялися достовірно від контролю. У працівників освіти другого зрілого віку показники були достовірно нижчими, ніж в контрольній групі і в обстежених першого зрілого віку (табл.). Таким чином, попри загальну тенденцію до підвищення кількості паличкоядерних нейтрофілів, такий ефект більше характерний для освітан першого зрілого віку.

У всіх працівників освіти, як першого, так і другого зрілого віку, відносна кількість сегментоядерних нейтрофілів за середнім значенням перебувала в рекомендованих межах референтного діапазону і була достовірно нижчою, ніж в контрольній групі. Між групами, розділеними за віком, достовірної різниці не виявлено (табл.).

Відносна та загальна кількість еозинофілів у працівників освіти і першого, і другого зрілого віку достовірно вищі від показників в контрольній групі, відносна кількість за середнім значенням була зміщена до верхньої межі референтного діапазону. Між групами, розділеними за віком, достовірної різниці не було (табл.).

Таким чином, спостерігається істотна мобілізація прозапальної фракції неспецифічної ланки клітинного імунітету в освітан усіх вікових груп в усі роки дослідження.

Відносна та загальна кількість базофілів у працівників першого й другого зрілого віку за середнім

значенням вийшли за верхню межу референтного діапазону і були достовірно вищими від показників в контрольній групі. Це зумовлено виходом показника за верхню межу у значної частини обстежених з кожної групи. В обстежених другого зрілого віку відносна кількість достовірно вища, ніж в обстежених першого зрілого віку (табл.).

Загалом, виявлене зниження кількості лімфоцитів в підгрупі освітан другого зрілого віку, як класична ознака стресової реакції, при відсутності подібної закономірності в підгрупі першого зрілого віку, можна вважати наслідком тривалого професійного впливу. Проте, в освітан першого зрілого віку спостерігається істотне підвищення кількості паличкоядерних нейтрофілів (зсув формули вліво), яке, при відсутності виражених запальних патологій, можна схарактеризувати як компенсаторну реакцію на стресовий вплив. Тобто, в обох вікових підгрупах освітан наявні ознаки стрес-індукованих змін природної резистентності, але вони реалізуються за різними механізмами. Більшість нейтрофілів є короткоживучими клітинами, проте, вони надзвичайно чутливі до змін фізіологічного стану організму, а також його циркадних ритмів, статі та віку [12, 13]. Однією з ознак імуносенесценції вказують структурні зміни нейтрофілів. Інволюційні зміни поверхневих структур і зниження експресії хемокінових рецепторів гальмує міграційний потенціал нейтрофілів до осередків запалення для виконання своїх функцій [14-17]. Відповідно, підвищена кількість нейтрофілів у периферійній крові, характерна для стресових станів, може бути також ознакою порушення міграції у позасудинний простір.

Характерною ознакою такого явища є посилення базового запалення. Це явище часто називають «запальним старінням», воно, своєю чергою, впливає на різні ланки імунної системи, викликає її ремоделювання [13, 18, 19]. Процес старіння організму супроводжується зміщенням гематопоетичних стовбурових клітин до мієлоїдної клітинної лінії. Ц сприяє тому, що розмір популяції нейтрофілів у периферійній крові літніх людей без супутніх захворювань залишається досить стабільним [20]. Збільшення кількості нейтрофілів з віком вважають свідченням ризиків

Таблиця – Лейкоцитарні показники у працівників освіти різних вікових груп (M±m)

Показники / Референтні значення норми	Контрольна група, n=40	Працівники освіти першого зрілого віку, n=30	Працівники освіти другого зрілого віку, n=30
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$ / 4,0-9,6	8.64±0.162	8.24±0.329	7.41±0.319 **
Лімфоцити, % / 20-40	21.83±0.582	22.17±0.569	19.27±0.567 * / ##
Лімфоцити, $\times 10^9/\text{л}$ / 1,5-4,0	1.90±0.074	1.86±0.070	1.45±0.077 *** / ###
Моноцити, % / 4,0-10,0	7.30±0.243	6.87±0.431	11.67±0.517 *** / ###
Моноцити, $\times 10^9/\text{л}$ / 0,2-0,8	0.63±0.026	0.58±0.048	0.87±0.050 *** / ###
Нейтрофіли пал., % / 1,0-6,0	6.75±0.223	7.67±0.419	5.20±0.354 *** / ###
Нейтр. пал., $\times 10^9/\text{л}$ / 0,04-0,4	0.59±0.027	0.63±0.039	0.40 ± 0.037 *** / ###
Нейтрофіли сегм., % / 47,0-65,0	61.48±0.692	55.87±0.990 ***	59.10±1.385 ***
Нейтр. сегм., $\times 10^9/\text{л}$ / 2,0-6,5	5.29±0.088	4.62±0.217 **	4.37±0.220 ***
Еозинофіли, % / 0,5-3,0	1.90±0.128	2.77±0.348 *	2.93±0.262 **
Еозинофіли, $\times 10^9/\text{л}$ / 0,05-0,45	0.16±0.012	0.24±0.036 *	0.22±0.024 *
Базофіли, % / 0,0-1,0	0.75±0.128	2.00±0.173 ***	2.47±0.124 *** / #
Базофіли, $\times 10^9/\text{л}$ / 0,00-0,02	0.06±0.010	0.17±0.016 ***	0.16±0.011***

Примітки: * – P<0,05; ** – P<0,01; *** – P<0,001 – у порівнянні з показниками в контрольній групі; # – P<0,05; ## – P<0,01; ### – P<0,001 – у порівнянні з показниками в осіб першого зрілого віку

індукованого старінням дисбалансу у роботі імунної системи [21]. Супутні старінню екологічні фактори, ймовірно, впливають на порушення регуляції, інфільтрації та активації нейтрофілів [13].

Однією з класичних ознак старіння є хронічне запалення низького ступеня, яке формується унаслідок активації факторів вродженого імунітету на фоні пригнічення адаптивної імунної відповіді [22]. Розвитку низькорівневого запального процесу можуть сприяти зміни взаємодія нейтрофілів і макрофагів [13]. У здорових дорослих людей похилого віку підвищена кількість моноцитів у периферійній крові є досить типовим явищем [23, 24]. Проте, загально визнано, що саме моноцити є одним із центральних компонентів запалення, особливо, в осіб похилого віку [25, 26].

Ще однією ознакою мобілізації запальних процесів є посилення еозинопоєзу в кістковому, що призводить до збільшення кількості зрілих еозинофілів у периферійній крові [27]. Еозинофіли відіграють важливу гомеостатичну роль в імунних реакціях організму. Водночас вони чинять патологічну роль у захворюваннях, що характеризуються вираженими запальними явищами. Тому підвищений рівень еозинофілів у крові є підставою для додаткових обстежень [28].

Еозинофіли модулюють імунні відповіді через їхню взаємодію з різними імунними клітинами. Тому в клініці важлива паралельна оцінка кількості еозинофілів та нейтрофілів у крові для характеристики

запальних процесів і виявлення важливих клінічних проявів [29].

Стійке запалення, що є класичною ознакою імуносенесценції, часто є наслідком хронічного стресу та накопичених унаслідок нього пошкоджень [30, 31]. Ці ознаки можуть асоціюватися як з хронологічним, так і з біологічним віком. Біологічний вік досить варіативний і може залежати від багатьох факторів, зокрема, впливу навколишнього середовища [4, 32]. Такими факторами для освітян в Україні на цей час можуть бути як умови тривалої професійної діяльності, так і стресові фактори воєнного стану.

Висновки.

Таким чином, в осіб, котрі працюють в галузі освіти, в період воєнного стану спостерігаються ознаки стресового впливу, що проявляються змінами кількісних показників популяції лейкоцитів та їх співвідношення. Ці зміни мають свої особливості залежно від віку та тривалості роботи в галузі. Окремі зі стрес-індукованих змін природної резистентності, особливо виражені серед освітян другого зрілого віку, є ознаками мобілізації запальних процесів та реакцій гіперчутливості і можуть характеризуватися як первинні маркери імуносенесценції.

Перспективи подальших досліджень.

Передбачено оцінку показників з урахуванням статевго фактора, а також аналіз субпопуляційного складу лімфоцитів периферійної крові.

References / Література

- Goyani P, Christodoulou R, Vassiliou E. Immunosenescence: aging and immune system decline. *Vaccines*. 2024;12(12):1314. DOI: [10.3390/vaccines12121314](https://doi.org/10.3390/vaccines12121314).
- Liu Z, Liang Q, Ren Y, Guo C, Ge X, Wang L, et al. Immunosenescence: molecular mechanisms and diseases. *Signal Transduct Target Ther*. 2023;8(1):200. DOI: [10.1038/s41392-023-01451-2](https://doi.org/10.1038/s41392-023-01451-2).
- Moqri M, Herzog C, Poganik JR, Justice J, Belsky DW, Higgins-Chen A, et al. Biomarkers of aging for the identification and evaluation of longevity interventions. *Cell*. 2023;186:3758-75. DOI: [10.1016/j.cell.2023.08.003](https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.08.003).
- Wrona MV, Ghosh R, Coll K, Chun C, Yousefzadeh MJ. The 3 I's of immunity and aging: immunosenescence, inflammaging, and immune resilience. *Front Aging*. 2024;5:1490302. DOI: [10.3389/fragi.2024.1490302](https://doi.org/10.3389/fragi.2024.1490302).
- Klopac ET, Crimmins EM, Cole SW, Seeman TE, Carroll JE. Social stressors associated with age-related T lymphocyte percentages in older US adults: evidence from the US Health and Retirement Study. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2022;119:e2202780119. DOI: [10.1073/pnas.2202780119](https://doi.org/10.1073/pnas.2202780119).
- Noppert GA, Stebbins RC, Dowd JB, Aiello AE. Socioeconomic and race/ethnic differences in immunosenescence: evidence from the health and retirement study. *Brain Behav Immun*. 2023;107:361-8. DOI: [10.1016/j.bbi.2022.10.019](https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.10.019).
- Sokolenko VL, Sokolenko SV. Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18–24 years. *Regul Mech Biosyst*. 2019;10(4): 422-31. DOI: [10.15421/021963](https://doi.org/10.15421/021963).
- Lee GC, Restrepo MI, Harper N, Manoharan MS, Smith AM, Meunier JA, et al. Immunologic resilience and COVID-19 survival advantage. *J Allergy Clin Immunol*. 2021;148(5):1176-91. DOI: [10.1016/j.jaci.2021.08.021](https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.08.021).
- Kostikova I, Holubnycha L, Sytnykova Y, Shchokina T, Soroka N, Tarasova S. University Teachers' Psychological State During the Stress of Online Education After Pandemic in Wartime in Ukraine. *Int J Emerg Technol Learn*. 2023;18(13):152-162. DOI: [10.3991/ijet.v18i13.39825](https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39825).
- Lavrysh Y, Lytovchenko I, Lukianenko V, Golub T. Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. *Educ Philos Theory*. 2025;57(3):197-204. DOI: [10.1080/00131857.2022.2098714](https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714).
- Nadyukova I, Frenzel AC. Ukrainian teachers' stress and coping during the war: Results from a mixed methods study. *Teach Teach Educ*. 2025;157:104941. DOI: [10.1016/j.tate.2025.104941](https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.104941).
- Simmons SR, Tchalla EYI, Bhalla M, Bou Ghanem EN. The Age-Driven Decline in Neutrophil Function Contributes to the Reduced Efficacy of the Pneumococcal Conjugate Vaccine in Old Hosts. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022; 12:849224. DOI: [10.3389/fcimb.2022.849224](https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.849224).
- Van Avondt K, Strecker JK, Tulotta C, Minnerup J, Schulz C, Soehnlein O. Neutrophils in aging and aging-related pathologies. *Immunol Rev*. 2023;314(1):357-75. DOI: [10.1111/imr.13153](https://doi.org/10.1111/imr.13153).
- Barkaway A, Rolas L, Joullia R, Bodkin J, Lenn T, Owen-Woods C, et al. Age-related changes in the local milieu of inflamed tissues cause aberrant neutrophil trafficking and subsequent remote organ damage. *Immunity*. 2021;54:1494-510. DOI: [10.1016/j.immuni.2021.04.025](https://doi.org/10.1016/j.immuni.2021.04.025).
- Gullotta GS, De Feo D, Friebel E, Semerano A, Scotti GM, Bergamaschi A, et al. Age-induced alterations of granulopoiesis generate atypical neutrophils that aggravate stroke pathology. *Nat Immunol*. 2023;24:925-40. DOI: [10.1038/s41590-023-01505-1](https://doi.org/10.1038/s41590-023-01505-1).
- Hornigold K, Chu JY, Chetwynd SA, Machin PA, Crossland L, Pantarelli C, et al. Age-related decline in the resistance of mice to bacterial infection and in LPS/TLR4 pathway-dependent neutrophil responses. *Front Immunol*. 2022;13:888415. DOI: [10.3389/fimmu.2022.888415](https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.888415).
- Wang Y, Dong C, Han Y, Gu Z, Sun C. Immunosenescence, aging and successful aging. *Front Immunol*. 2022;13:942796. DOI: [10.3389/fimmu.2022.942796](https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.942796).
- Mannick JB, Morris M, Hockey HUP, Roma G, Beibel M, Kulmatycki K, et al. TORC1 inhibition enhances immune function and reduces infections in the elderly. *Sci Transl Med*. 2018;10(449):eaq1564. DOI: [10.1126/scitranslmed.aq1564](https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aq1564).
- Parmigiani A, Alcaide ML, Freguja R, Pallikkuth S, Frasca D, Fischl MA, Pahwa S. Impaired antibody response to influenza vaccine in HIV-infected and uninfected aging women is associated with immune activation and inflammation. *PLoS One*. 2013;8(11):e79816. DOI: [10.1371/journal.pone.0079816](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079816).
- De Martinis M, Modesti M, Ginaldi L. Phenotypic and functional changes of circulating monocytes and polymorphonuclear leucocytes from elderly persons. *Immunol Cell Biol*. 2004;82(4):415-420. DOI: [10.1111/j.0818-9641.2004.01242.x](https://doi.org/10.1111/j.0818-9641.2004.01242.x).

21. Fernández-Garrido J, Navarro-Martínez R, Buigues-González C, Martínez-Martínez M, Ruiz-Ros V, Cauli O. The value of neutrophil and lymphocyte count in frail older women. *Exp Gerontol.* 2014;54:35-41. DOI: [10.1016/j.exger.2013.11.019](https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.019).
22. Liu Z, Liang Q, Ren Y, Guo C, Ge X, Wang L, et al. Immunosenescence: molecular mechanisms and diseases. *Signal Transduct Target Ther.* 2023;8(1):200. DOI: [10.1038/s41392-023-01451-2](https://doi.org/10.1038/s41392-023-01451-2).
23. Barman PK, Shin JE, Lewis SA, Kang S, Wu D, Wang Y, et al. Production of MHCII-expressing classical monocytes increases during aging in mice and humans. *Aging Cell.* 2022;21:e13701. DOI: [10.1111/acer.v21.10](https://doi.org/10.1111/acer.v21.10).
24. Reitsema RD, Kumawat AK, Hesselink BC, van Baarle D, van Sleen Y. Effects of ageing and frailty on circulating monocyte and dendritic cell subsets. *NPJ Aging.* 2024;10:17. DOI: [10.1038/s41514-024-00144-6](https://doi.org/10.1038/s41514-024-00144-6).
25. Blevé A, Motta F, Durante B, Pandolfo C, Selmi C, Sica A. Immunosenescence, Inflammaging, and Frailty: Role of Myeloid Cells in Age-Related Diseases. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2023;64:123-44. DOI: [10.1007/s12016-021-08909-7](https://doi.org/10.1007/s12016-021-08909-7).
26. Cao Y, Fan Y, Li F, Hao Y, Kong Y, Chen C, et al. Phenotypic and functional alterations of monocyte subsets with aging. *Immun Ageing.* 2022;19(1):63. DOI: [10.1186/s12979-022-00321-9](https://doi.org/10.1186/s12979-022-00321-9).
27. Gigon L, Fettelet T, Yousefi S, Simon D, Simon HU. Eosinophils from A to Z. *Allergy.* 2023;78(7):1810-46. DOI: [10.1111/all.15751](https://doi.org/10.1111/all.15751).
28. Wechsler ME, Munitz A, Ackerman SJ, Drake MG, Jackson DJ, Wardlaw AJ, et al. Eosinophils in health and disease: a state-of-the-art review. *Mayo Clin Proc.* 2021;96(10):2694-2707. DOI: [10.1016/j.mayocp.2021.04.025](https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.04.025).
29. Flinkman E, Vähätalo I, Tuomisto LE, Lehtimäki L, Nieminen P, Niemelä O, et al. Association between blood eosinophils and neutrophils with clinical features in adult-onset asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2023;11(3):811-21. DOI: [10.1016/j.jaip.2022.11.025](https://doi.org/10.1016/j.jaip.2022.11.025).
30. Borgoni S, Kudryashova KS, Burka K, Magalhães JPD. Targeting immune dysfunction in aging. *Ageing Res Rev.* 2021;70:101410. DOI: [10.1016/j.ar.2021.101410](https://doi.org/10.1016/j.ar.2021.101410).
31. López-Otin C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. The hallmarks of aging. *Cell.* 2013;153:1194-217. DOI: [10.1016/j.cell.2013.05.039](https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039).
32. Moqri M, Herzog C, Poganik JR, Justice J, Belsky DW, Higgins-Chen A, et al. Biomarkers of aging for the identification and evaluation of longevity interventions. *Cell.* 2023;186:3758-75. DOI: [10.1016/j.cell.2023.08.003](https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.08.003).

ОЗНАКИ ІМУНОСЕНЕСЦЕНЦІЇ НА РІВНІ ЛЕЙКОГРАМИ В ОСВІТЯН РІЗНОГО ВІКУ У ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ

Кобаль І. В., Соколенко В. Л.

Резюме. Одним з актуальних напрямів досліджень сучасної біології та медицини є вивчення ознак та механізмів імуносенесценції – процесу, який характеризується дисфункцією вродженої та адаптивної імунної відповіді, підвищеною чутливістю до інфекцій тощо. На розвиток імуносенесценції можуть впливати численні фактори, одним з яких є психологічний стрес. В Україні стрес від пандемії COVID-19 доповнився стресом від війни у 2022 році. Численні дослідження показують значно підвищений рівень стресу серед учителів шкіл, викликаний факторами воєнного стану.

Мета дослідження – з'ясувати наявність змін лейкоцитарної формули, як ознак імуносенесценції, у працівників галузі освіти різного віку у період воєнного стану.

Аналіз лейкоцитарної формули проводили в 2023/2024 роках у 100 осіб без ознак гострих чи хронічних захворювань. Контрольну групу сформували студенти 2-3 курсів Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (40 осіб). Дослідну групу сформували 60 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району, котрі проходили планові медичні огляди. В межах груп виділили підгрупи першого зрілого віку (26-34 років, 30 осіб) та другого зрілого віку (35-52 років, 30 осіб). Дослідження проводилися з дотриманням правил біоетики. Всі обстежені давали погодження на участь в дослідженні, а у випадку професійних оглядів – на аналіз отриманих клінічних даних з дотриманням анонімності. Показники лейкограми визначали на аналізаторі Diagon D-cell 60 (Diagon Ltd, Угорщина). Додатковий аналіз популяцій гранулоцитів проводили за мазком крові, фарбованим за Паппенгеймом.

Встановлено, що в осіб, котрі працюють в галузі освіти, в період воєнного стану спостерігаються ознаки стресового впливу, які проявляються змінами кількісних показників популяцій лейкоцитів та їх співвідношення. Ці зміни мають свої особливості залежно від віку та тривалості роботи в галузі. Окремі зі стрес-індукованих змін природної резистентності, особливо виражені серед освітян другого зрілого віку, є ознаками мобілізації запальних процесів та реакцій гіперчутливості і можуть характеризуватися як первинні маркери імуносенесценції.

Ключові слова: імуносенесценція, лейкоцитарна формула, психологічний стрес, воєнний стан, освітня діяльність.

SIGNS OF IMMUNOSENESCENCE AT THE LEVEL OF THE LEUKOGRAM IN TEACHERS OF DIFFERENT AGES DURING THE PERIOD OF MARTIAL LAW

Kobal I. V., Sokolenko V. L.

Abstract. One of the current research areas of modern biology and medicine is the study of the signs and mechanisms of immunosenescence – a process characterized by dysfunction of the innate and adaptive immune response, increased susceptibility to infections, etc. The development of immunosenescence can be influenced by numerous factors, one of which is psychological stress. In Ukraine, the stress from the COVID-19 pandemic was supplemented by the stress from the war in 2022. Numerous studies show a significantly increased level of stress among school teachers caused by martial law factors.

The aim of the study is to determine the presence of changes in the leukocyte formula, as signs of immunosenescence, in education workers of different ages during martial law.

The analysis of the leukocyte formula was carried out in 2023/2024 in 100 people without signs of acute or chronic diseases. The control group was formed by students of 2-3 years of the Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (40 people). The study group was formed by 60 pedagogical workers of secondary education institutions of the city of Cherkasy and Cherkasy district, who underwent routine medical examinations. Within the groups, subgroups of the first mature age (26-34 years, 30 people) and the second mature age (35-52 years, 30 people) were distinguished. The studies were conducted in compliance with the rules of bioethics. All examined gave consent to participate in the study, and in the case of professional examinations – to the analysis of the obtained clinical data

with respect for anonymity. Leukogram indicators were determined on the Diagon D-cell 60 analyzer (Diagon Ltd, Hungary). Additional analysis of granulocyte populations was performed on a Pappenheim-stained blood smear.

It has been established that during the period of martial law, individuals working in the field of education show signs of stress, which are manifested by changes in the quantitative indicators of leukocyte populations and their ratios. These changes have their own characteristics depending on age and duration of work in the field. Some of the stress-induced changes in natural resistance, especially pronounced among educators of the second mature age, are signs of mobilization of inflammatory processes and hypersensitivity reactions and can be characterized as primary markers of immunosenescence.

Key words: immunosenescence, leukocyte formula, psychological stress, martial law, educational activity.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Kobal I. V.: <https://orcid.org/0000-0001-8618-9251>^{BCD}
Sokolenko V. L.: <https://orcid.org/0000-0002-3096-8245>^{ADEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Sokolenko Vadym Leonidovich / Соколенко Вадим Леонідович
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy / Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Ukraine, 18031, Cherkasy, 81 Shevchenko str. / Адреса: Україна, 18031, м. Черкаси, бульв. Шевченка 81

Tel.: 0678691791 / Тел.: 0678691791

E-mail: sokolenko@ukr.net

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

Received 27.07.2025 / Стаття надійшла 27.07.2025 року
Accepted 10.11.2025 / Стаття прийнята до друку 10.11.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-148-159

UDC 577.1:612.015.3:616-056.52:591.3

Kravchuk Y. S., Korda M. M.

**MODULATING EFFECT OF MOLECULAR HYDROGEN ON THE GLYCEMIC PROFILE
IN RATS WITH METABOLIC SYNDROME**

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University (Ternopil, Ukraine)

kravchuk_ius@tdmu.edu.ua

Metabolic syndrome (MS) is a complex metabolic disorder in which carbohydrate metabolism disorders and insulin resistance play an important role in its pathogenesis. Molecular hydrogen is considered a promising modulator of metabolic processes, capable of influencing carbohydrate metabolism and the body's adaptive responses. The aim of the study was to evaluate the effect of water enriched with molecular hydrogen on carbohydrate metabolism parameters in rats with experimentally induced MS. The MS model was reproduced by prolonged feeding of a high-calorie diet. Some of the animals received water containing 0.6 ppm hydrogen. Blood serum glucose, insulin, HOMA-IR index, fructosamine, and glycated hemoglobin levels were determined; assessments were performed after 6, 12, and 20 weeks. Rats with MS showed a progressive increase in glucose, insulin, and HOMA-IR, reflecting increased insulin resistance, as well as an increase in fructosamine and HbA1c in the later stages of the experiment. The use of hydrogen-enriched water was stage-dependent. In the early period (6 weeks), no corrective effect was observed. At week 12, a moderate decrease in insulin and HOMA-IR was recorded. The most significant changes were observed at week 20: a decrease in glucose, insulin, HOMA-IR, and HbA1c concentrations compared to uncorrected animals, indicating a reduction in insulin resistance and partial stabilization of metabolic status. Thus, long-term use of molecular hydrogen contributes to a moderate improvement in carbohydrate metabolism and a reduction in insulin resistance in MS, although it does not completely normalize metabolic disorders. The results confirm the potential of molecular hydrogen as an auxiliary metabolic modulator.

Key words: metabolic syndrome, carbohydrate metabolism, molecular hydrogen.

Connection of the publication with planned research work.

The work is part of the SRW “Features of metabolic processes under the influence of exogenous toxicants

and in pathological conditions,” state registration number 0123U100060.

Introduction.

Metabolic syndrome is a complex metabolic disorder that includes insulin resistance, abdominal obesity, dys-