



УДК 612.66

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.6>

ЗНАЧЕННЯ СТАТЕВОГО ФАКТОРУ У ФОРМУВАННІ ОЗНАК ІМУНОСЕНЕСЦЕНЦІЇ У ПРАЦІВНИКІВ ОСВІТИ ЗА УМОВ ТРИВАЛИХ СТРЕСОВИХ ВПЛИВІВ

І. В. Кобаль¹, С. В. Соколенко²

Імуносенесценція – характерні вікові зміни різних аспектів діяльності імунної системи. Наявні дослідження, які демонструють значення у таких змінах статевого фактору. При цьому важливо враховувати, що старіння імунної системи є наслідком складної взаємодії між внутрішніми змінами клітинного старіння та факторами зовнішнього середовища, зокрема, хронічним стресом. Мета роботи: оцінити вплив статевого фактору на формування ознак імуносенесценції в осіб, що працюють у галузі освіти, в періоди тривалих стресових впливів.

Показники лейкоцитарної формули та С-реактивного білка визначали у 2021 році (на другому році пандемії COVID-19), та у 2023/2024 роках (під час воєнного стану). Проаналізовано показники 110 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району віком 26–52 років, котрі проходили планові медичні огляди. Враховували стать обстежених та вікову групу. Показники оцінювали на біохімічних аналізаторах Diagon D-cell 60 (Угорщина) та Biossays 240 Plus (Китай), додатково використали аналіз фарбованого за Паппенгеймом мазка крові. Статистичну обробку результатів проводили за t-критерієм Стьюдента з довірчими інтервалами $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$. Як показники норми використали референтні значення, прийняті в клініко-діагностичній лабораторії.

Встановлено, що у 2023/2024 роках у працівників освіти чоловічої статі першого зрілого віку спостерігалось більше виражене зниження кількості лімфоцитів та зростання кількості паличкочерних нейтрофілів, ніж в осіб жіночої статі. Як наслідок, у період воєнного стану чоловіча стать є потенційним фактором підвищеного ризику розвитку початкових ознак стрес-індукованої імуносенесценції у відносно молодому віці. Статева варіативність формування прозапальних явищ найбільше проявилася на рівні кількості моноцитів. Для прогнозування передчасного старіння імунної системи в періоди тривалих стресових впливів доцільно проводити регулярний моніторинг її доступних біомаркерів. Зокрема, це показники лейкоцитарної формули.

Ключові слова: старіння імунної системи, стать, лейкоцитарна формула, прозапальні фактори, освітня діяльність, воєнний стан.

¹ аспірант кафедри біології

(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин);

викладач кафедри фармацевтичних дисциплін

(Черкаська медична академія, м. Черкаси)

e-mail: ivan.kobal2017@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8618-9251

² кандидат біологічних наук, доцент,

доцент кафедри клітинної біології та методики викладання біологічних дисциплін

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

e-mail: sokolenko@i.ua

ORCID: 0000-0002-7341-1762

THE SIGNIFICANCE OF THE SEX FACTOR IN THE FORMATION OF SIGNS OF IMMUNOSENESCENCE IN EDUCATIONAL WORKERS UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM STRESS INFLUENCE

I. V. Kobal, S. V. Sokolenko

Immunosenescence is a characteristic age-related change in various aspects of the immune system. There are studies that demonstrate the importance of the sex factor in such changes. It is important to consider that the aging of the immune system is a consequence of a complex interaction between internal changes in cellular aging and environmental factors, in particular, chronic stress. The purpose of the work: to assess the influence of the sex factor on the formation of signs of immunosenescence in individuals working in the field of education during periods of prolonged stress.

The indicators of the leukocyte formula and C-reactive protein were determined in 2021 (in the second year of the COVID-19 pandemic), and in 2023/2024 (during martial law). The indicators of 110 pedagogical workers of secondary education institutions of the city of Cherkasy and Cherkasy district aged 26–52 years, who underwent routine medical examinations, were analyzed. The gender of the examined and the age group were taken into account. The indicators were evaluated on biochemical analyzers Diagon D-cell 60 (Hungary) and Biossays 240 Plus (China), additionally used the analysis of a Pappenheim-stained blood smear. Statistical processing of the results was carried out using the Student's t-test with confidence intervals $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$. As indicators of the norm, reference values adopted in the clinical diagnostic laboratory were used. It was found that in 2023/2024, male education workers of the first mature age had a more pronounced decrease in the number of lymphocytes and an increase in the number of band neutrophils than in female individuals. As a result, during the period of martial law, the male gender is a potential factor for increased risk of developing initial signs of stress-induced immunosenescence at a relatively young age. Sexual variability in the formation of pro-inflammatory phenomena was most pronounced at the level of the number of monocytes. To predict premature aging of the immune system during periods of prolonged stress, it is advisable to regularly monitor its available biomarkers. In particular, these are indicators of the leukocyte formula.

Key words: *aging of the immune system, sex, leukocyte formula, pro-inflammatory factors, educational activities, martial law.*

Вступ

Імуносенесценція (імуноне старіння) – характерні вікові зміни різних аспектів діяльності імунної системи, що проявляються на рівні кількості імунних клітин, їх фенотипів та функцій (Borgoni et al., 2021). Наявні дослідження, які демонструють значення у таких змінах статевого фактора. Зокрема, для осіб чоловічої статі більш характерним є сповільнення з віком сили Т-клітинної відповіді та інтенсивності дозрівання Т-лімфоцитів на фоні вищої кількості моноцитів. В осіб жіночої статі в процесі старіння зберігається вищим базовий рівень цитокінів (Takahashi et al., 2020; McGill & Benayoun, 2022; Mkhikian et al., 2022). У чоловіків похилого віку нижча ефективність вакцинації, що робить їх чутливішими до таких інфекцій, як грип, COVID-19 та бактеріальна пневмонія (Pinti et al., 2016; Ravichandran et al., 2024).

Зростання кількості населення похилого та старечого віку у світі зумовлює цілий ряд проблем у клінічній практиці і багато питань щодо профілактики захворювань,

асоційованих з віком. При цьому важливо враховувати, що організм функціонує як відкрита система. Відповідно, розвиток імуносенесценції є наслідком складної взаємодії між внутрішніми змінами клітинного старіння та факторами зовнішнього середовища (Goyani et al., 2024). Одним з факторів, які істотно впливають на функції імунної системи, вказують стрес – психофізіологічну реакцію на уявні чи реальні загрози для організму. Хронічний стрес викликає фізіологічні та гормональні адаптації, які часто призводять до поведінкових і когнітивних порушень. Причинами є зниження нейрогенезу та зміни синаптичної пластичності у відповідь на посилення продукції запальних цитокінів, фагоцитоз нейрональних елементів тощо (Puzianowska-Kuznicka et al., 2016; Wohleb et al., 2016; Koo et al., 2019; Koo & Wohleb, 2021). Тобто, це явища, типові для старіння імунної системи: хронічна імуноактивація та мобілізація процесів запалення (Franceschi et al., 2018; Omarjee et al., 2020; Santoro et al., 2021; Blevé et al., 2023).

Важливим фактором розвитку дисбалансу між імунною та нервовою регуляцією вказують статеві особливості, зокрема, різні прозапальні профілі в осіб чоловічої та жіночої статі з ознаками депресії (Labonté et al., 2017; Seney et al., 2018). Особи жіночої статі мають більше виражені ознаки нейрозапалення після імунної відповіді або стресу. Відповідно, для них можливий вищий ризик формування депресивних симптомів порівняно з чоловіками. Проте, ці статеві відмінності ще недостатньо вивчені (Derry et al., 2015; Moieni et al., 2015; Koo & Wohleb, 2021). Зокрема, паралельно потрібно враховувати соціальні детермінанти, які супроводжують певну особу (McClure et al., 2018; Klorack et al., 2022). До таких детермінант належить і професійна діяльність (Ndjaboué et al., 2012; Terzioglu et al., 2016).

Для впровадження превентивних заходів щодо ризиків розвитку певних патологій, асоційованих з професією, важливою є рання діагностика вже визнаних біомаркерів та виявлення потенційних нових, здатних чинити синергичний вплив. Необхідно також враховувати, що негативні фактори професійної діяльності не завжди є безпосередніми причинами розвитку захворювань, проте, вони можуть посилювати чи прискорювати їх прояви (Lei & Grammer, 2019; Cestonaro et al., 2020).

На ризик розвитку професійних захворювань можуть впливати соціально-економічні умови, в яких ця діяльність реалізується. Проте, релевантність такого впливу підтверджується лише при виражених клінічних проявах (Schaap et al., Dieker et al., 2019). Для працівників галузі освіти ці прояви можуть бути тривалий час замасковані. Зазвичай вони є наслідками перевантаження голосового та опорно-рухового апарату. Проте, ще одним вагомим фактором вказують постійну психологічну напругу, зумовлену особливостями роботи (Vertanen-Greis et al., 2020; De Oliveira D. R. et al., 2021; Fahmy et al., 2022).

Визнаною причиною додаткового стресу для всього населення стала пандемія COVID-19. У випадку освітнього простору одними з її наслідків були спорадичні закриття шкіл, перехід до онлайн-викладання і, як наслідок, значні зміни у роботі вчителів, які мали потенціювати інші стресові впливи. На цей час додатковий емоційний пресинг створюють фактори воєнного стану (Kostikova et al., 2023; Lavrysh et al., 2025; Nadyukova & Frenzel, 2025).

Мета роботи: оцінити вплив статевого фактора на формування ознак імуносенесценції в осіб, що працюють у галузі освіти, в періоди тривалих стресових впливів.

Матеріал і методи

Показники лейкоцитарної формули та С-реактивного білка (CRP) визначали у 2021 році (надругому році пандемії COVID-19), та у 2023/2024 роках (під час воєнного стану). Проаналізовано результати лабораторних досліджень 110 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» Червонослобідської сільської ради. В анамнезі обстежених не було випадків захворювання на COVID-19 щонайменша за рік до огляду. Серед них у 2021 році було 20 осіб першого зрілого віку (8 осіб чоловічої статі, 12 осіб жіночої статі) та 30 осіб другого зрілого віку (10 осіб чоловічої статі, 20 осіб жіночої статі). У 2023/2024 роках обстежено 30 осіб першого зрілого віку (14 осіб чоловічої статі, 16 осіб жіночої статі) та 30 осіб другого зрілого віку (12 осіб чоловічої статі, 18 осіб жіночої статі). Для аналізу показників в осіб жіночої статі відбирали дані, отримані у фолікулярну стадію менструального циклу обстежених.

Показники оцінювали на біохімічних аналізаторах Diagon D-cell 60 (Угорщина) та Biossays 240 Plus (Китай), додатково використали аналіз фарбованого за Паппенгеймом мазка крові. Статистичну обробку результатів проводили після перевірки на нормальність розподілу, шляхом порівняння вибірок за t-критерієм Стьюдента (довірчими інтервалами $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$). Як показники норми використали референтні значення, прийняті в клініко-діагностичній лабораторії КНП «Черкаська центральна районна лікарня».

Робота виконана у межах наукової теми кафедри клітинної біології та методики викладання біологічних дисциплін Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького «Імунологічні та мікробіологічні критерії формування аллостатичного навантаження» (№ державної реєстрації 0121U107531).

Результати

Встановлено, що у 2021 році показник загальної кількості лейкоцитів, незалежно від статі та віку, відповідав рекомендованим референтним межах. Відносна та загальна кількість лімфоцитів в усіх обсте-

жених демонструвала тенденцію зміщення до нижнього значення референтного діапазону, з окремими випадками виходу за цю межу серед осіб другого зрілого віку.

Відносна та загальна кількість паличко-ядерних нейтрофілів наближалася до верхньої межі норми з окремими випадками виходу перевищення референтних значень. Причому, серед осіб першого зрілого віку такі випадки спостерігалися частіше.

Відносна та загальна кількість сегменто-ядерних нейтрофілів за середнім значенням перебувала в рекомендованих межах референтного діапазону. Показники моноцитів наближалися до верхньої референтного діапазону, особливо, в осіб другого зрілого віку (табл. 1, 2).

Відносна кількість еозинофілів наближалася до верхньої межі референтного діапазону. Середні значення кількості базофілів перевищували верхнє значення референтного діапазону, що зумовлено виходом за нього показника більше ніж у 50% обстежених з кожної групи. Концентрація С-реактивного протеїну (CRP) відповідала верхній межі норми (див. табл. 1, 2). При цьому у 2021 році статистично достовірної різниці за жодним з аналізованих показників між особами чоловічої та жіночої статі не простежувалася (як для працівників освіти першого зрілого віку (див. табл. 1), так і для працівників освіти другого зрілого віку (див. табл. 2)).

У 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку середнє значення

Таблиця 1

Клініко-біохімічні показники в обстежених першого зрілого віку різної статі, отримані у 2021 році (M ± m)

Показники	Референтні значення норми	Чоловіча стать, n = 8	Жіноча стать, n = 12
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$	4,0-9,6	7,46 ± 0,59	7,14 ± 0,33
Лімфоцити, %	20-40	25,25 ± 1,71	25,92 ± 1,21
Лімфоцити, $\times 10^9/\text{л}$	1,5-4,0	1,86 ± 0,15	1,81 ± 0,11
Моноцити, %	4,0-10,0	8,38 ± 1,25	7,17 ± 0,89
Моноцити, $\times 10^9/\text{л}$	0,2-0,8	0,64 ± 0,10	0,53 ± 0,08
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	7,75 ± 1,00	8,00 ± 0,77
Нейтр. пал., $\times 10^9/\text{л}$	0,04-0,4	0,50 ± 0,08	0,55 ± 0,07
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	53,75 ± 2,16	54,50 ± 1,21
Нейтр. сегм., $\times 10^9/\text{л}$	2,0-6,5	3,94 ± 0,48	3,74 ± 0,19
Еозинофіли, %	0,5-3,0	2,75 ± 0,77	2,25 ± 0,41
Еозинофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,05-0,45	0,22 ± 0,08	0,16 ± 0,03
Базофіли, %	0,0-1,0	2,13 ± 0,35	1,92 ± 0,29
Базофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,00-0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,09 ± 0,63	2,67 ± 0,27

Таблиця 2

Клініко-біохімічні показники в обстежених другого зрілого віку різної статі, отримані у 2021 році (M ± m)

Показники	Референтні значення норми	Чоловіча стать, n = 10	Жіноча стать, n = 20
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$	4,0-9,6	7,38 ± 0,64	7,31 ± 0,34
Лімфоцити, %	20-40	19,60 ± 1,16	21,10 ± 1,14
Лімфоцити, $\times 10^9/\text{л}$	1,5-4,0	1,51 ± 0,16	1,46 ± 0,09
Моноцити, %	4,0-10,0	11,70 ± 1,13	10,70 ± 0,87
Моноцити, $\times 10^9/\text{л}$	0,2-0,8	0,88 ± 0,11	0,78 ± 0,0770
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	6,00 ± 0,63	6,20 ± 0,65
Нейтр. пал., $\times 10^9/\text{л}$	0,04-0,4	0,46 ± 0,07	0,44 ± 0,05
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	54,00 ± 2,33	54,00 ± 1,20
Нейтр. сегм., $\times 10^9/\text{л}$	2,0-6,5	4,20 ± 0,44	3,96 ± 0,19
Еозинофіли, %	0,5-3,0	3,00 ± 0,63	2,60 ± 0,27
Еозинофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,05-0,45	0,24 ± 0,06	0,19 ± 0,02
Базофіли, %	0,0-1,0	2,30 ± 0,26	2,20 ± 0,20
Базофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,00-0,02	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,55 ± 0,40	3,03 ± 0,24

загальної кількості лейкоцитів перебувало в межах рекомендованих референтних значень і було достовірно нижчим, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку ($P < 0,05$), у яких середній показник наближався до верхньої межі норми (табл. 3).

Відносна кількість лімфоцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку перебувала за середнім значенням в межах рекомендованих референтних значень і була достовірно вищою, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку ($P < 0,01$), у яких середній показник наближався до нижньої межі норми (табл. 3).

Загальна кількість моноцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку за середнім значенням перебувала в межах рекомендованої норми і була достовірно нижчою, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку ($P < 0,05$), у яких середній показник наближався до верхньої референтної межі (див. табл. 3).

І відносна, і загальна кількість паличкоядерних нейтрофілів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку за середнім значенням дещо перевищили максимальні референтні значення, але, при цьому, були достовірно нижчими, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку ($P < 0,05$ і $P < 0,05$ відповідно), у яких перевищення більше виражене (табл. 3).

За іншими показниками статистично достовірної різниці між даними, отриманими у 2023/2024 роках для осіб чоловічої і жіночої статі першого зрілого віку, не виявлено (табл. 3).

Відносна кількість лімфоцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі другого зрілого віку вийшла за середнім значенням за нижню референтну межу і була достовірно нижчою, ніж в осіб чоловічої статі другого зрілого віку ($P < 0,05$), у яких середній показник відповідає нижній межі норми (табл. 4).

За іншими показниками статистично достовірної різниці між даними, отриманими у 2023/2024 роках для осіб чоловічої і жіночої статі другого зрілого віку, не виявлено (табл. 4).

Обговорення

Наявні окремі дані щодо особливостей імунних показників у працівників освіти в умовах стресу. Основними ознаками вказують мобілізацію прозапальної активності та зниження показників протизапальних факторів, що корелює з отриманими нами результатами. Причому, зв'язки між емоційним вигоранням, зумовленим професійною діяльністю, та прозапальними маркерами, досить варіативні (McGee et al., 2023).

Одним з факторів, який впливає на здоров'я освітян, є належний баланс між роботою та особистим життям, який може змінитися в період воєнного стану. Для осіб жіночої статі описано вищу частку емоційного виснаження, зумовленого обмеження особистого часу. Водночас дані щодо особливостей реакції на емоційний стрес серед учителів різної статі досить варіативні, а іноді й суперечливі (Peris-Ramos et al., 2024; Wohid et al., 2024). На ці реакції, окрім розміру робочого навантаження та статі,

Таблиця 3

Клініко-біохімічні показники в обстежених першого зрілого віку різної статі, отримані у 2023/2024 роках ($M \pm m$)

Показники	Референтні значення норми	Чоловіча стать, n = 14	Жіноча стать, n = 16
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$	4,0-9,6	$9,11 \pm 0,52$	$7,48 \pm 0,32$ *
Лімфоцити, %	20-40	$20,43 \pm 0,66$	$23,69 \pm 0,71$ **
Лімфоцити, $\times 10^9/\text{л}$	1,5-4,0	$1,89 \pm 0,15$	$1,77 \pm 0,08$
Моноцити, %	4,0-10,0	$7,50 \pm 0,48$	$6,31 \pm 0,66$
Моноцити, $\times 10^9/\text{л}$	0,2-0,8	$0,70 \pm 0,07$	$0,47 \pm 0,05$ *
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	$8,71 \pm 0,67$	$6,75 \pm 0,41$ *
Нейтр. пал., $\times 10^9/\text{л}$	0,04-0,4	$0,76 \pm 0,05$	$0,51 \pm 0,04$ **
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	$55,14 \pm 1,76$	$56,50 \pm 1,07$
Нейтр. сегм., $\times 10^9/\text{л}$	2,0-6,5	$5,08 \pm 0,39$	$4,21 \pm 0,18$
Еозинофіли, %	0,5-3,0	$3,29 \pm 0,61$	$2,31 \pm 0,36$
Еозинофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,05-0,45	$0,31 \pm 0,06$	$0,17 \pm 0,03$
Базофіли, %	0,0-1,0	$2,07 \pm 0,25$	$1,94 \pm 0,25$
Базофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,00-0,02	$0,19 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$
CRP, мг/л	< 3	$2,40 \pm 0,32$	$2,63 \pm 0,37$

Примітка: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$ порівняно з іншою статтю

Таблиця 4

Клініко-біохімічні показники в обстежених другого зрілого віку різної статі, отримані у 2023/2024 роках (M ± m)

Показники	Референтні значення норми	Чоловіча стать, n = 12	Жіноча стать, n = 18
Лейкоцити, $\times 10^9/\text{л}$	4,0-9,6	7,63 ± 0,57	7,26 ± 0,38
Лімфоцити, %	20-40	20,83 ± 0,96	18,22 ± 0,59 *
Лімфоцити, $\times 10^9/\text{л}$	1,5-4,0	1,62 ± 0,13	1,34 ± 0,09
Моноцити, %	4,0-10,0	11,83 ± 0,94	11,56 ± 0,62
Моноцити, $\times 10^9/\text{л}$	0,2-0,8	0,92 ± 0,09	0,83 ± 0,06
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	5,17 ± 0,44	5,22 ± 0,52
Нейтр. пал., $\times 10^9/\text{л}$	0,04-0,4	0,43 ± 0,06	0,37 ± 0,05
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	60,08 ± 2,19	58,44 ± 1,82
Нейтр. сегм., $\times 10^9/\text{л}$	2,0-6,5	4,63 ± 0,40	4,19 ± 0,25
Еозинофіли, %	0,5-3,0	3,25 ± 0,52	2,72 ± 0,27
Еозинофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,05-0,45	0,26 ± 0,05	0,20 ± 0,02
Базофіли, %	0,0-1,0	2,42 ± 0,19	2,50 ± 0,17
Базофіли, $\times 10^9/\text{л}$	0,00-0,02	0,15 ± 0,02	0,17 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,62 ± 0,37	3,36 ± 0,28

Примітка: * – $P < 0,05$ порівняно з іншою статтю

впливають також досвід викладання і задоволення своєю роботою. Досвідчені вчителі можуть мати вищу ефективність діяльності, але, при цьому, вищий рівень емоційного виснаження. З іншого боку, на прояви занепокоєння і схильність до стресу на роботі впливає невпевненість у готовності до своєї ролі серед учителів-початківців (Herburn et al., 2021; Singh & Gautam, 2024; Reinke et al., 2025).

Знижену кількість лімфоцитів, виявлену у значної частини обстежених педагогічних працівників у всі роки аналізу, можна характеризувати як біомаркер стресу на робочому місці (Wright et al., 2022). Особливо вираженим такий ефект спостерігався в освітян другого зрілого віку, котрі працювали в галузі більше ніж 10 років. Хронічний соціальний стрес виснажує клітинну ланку адаптивного імунітету і чинить на неї супресорний вплив, що може стати причиною передчасної імуносенесценції (McClure et al., 2018; Sokolenko & Sokolenko, 2019; Klopach et al., 2022; Noppert et al., 2023). Очевидно, додатковим пресинговим фактором був попередній карантин по COVID-19 (Minihan et al., 2022). Проте, у 2021 році статистично достовірної варіативності показників лімфоцитарної ланки не спостерігалось. Водночас у 2023/2024 роках імуносупресія за кількістю лімфоцитів була більше виражена в осіб чоловічої статі першого зрілого віку та осіб жіночої статі другого зрілого віку. Імовірно, ефект зумовлений різним

емоційним сприйняттям воєнного стану залежно від віку та статі. Це підтверджує аналіз кількості нейтрофілів, другого важливого маркера стресових впливів. Попри загальну тенденцію до підвищення як відносної, так і загальної кількості паличкоядерних нейтрофілів, у 2023/2024 роках такий ефект більше характерний для освітян чоловічої статі першого зрілого віку.

На кількість нейтрофілів можуть впливати вік та стать (Simell et al., 2011; Simmons et al., 2022). Їх підвищена кількість у відносно молодих осіб може свідчити не лише про стресові стани, але й бути проявами ранньої імуносенесценції, як наслідку порушення міграції у позасудинний простір (Serre-Miranda et al., 2022; Van Avondt et al., 2023), зміщення кровотворення у бік мієлоїдного ряду (Pang et al., 2011; Helbling et al., 2019), дисбалансу у роботі імунної системи та мобілізації прозапальних факторів (Collerton et al., 2012; Fernández-Garrido et al., 2014).

Зростання кількості нейтрофілів є лише однією з ознак передчасної мобілізації запальних процесів. Ще одним показником, який продемонстрував статеву варіативність у 2023/2024 роках, була загальна кількість моноцитів, достовірно вища в осіб чоловічої статі першого зрілого віку, ніж в осіб жіночої статі цього ж віку. Підвищена кількість моноцитів у периферійній крові є типовою ознакою для здорових дорослих людей похилого віку. Проте, саме моноцити є одними з центральних медіаторів розвитку

запалення (Barman et al., 2022; Cao et al., 2022; Blevé et al., 2023; Reitsema et al., 2024).

Хоча дослідження показали мобілізацію й інших прозапальних факторів у обстежених (зростання кількості еозинофілів, базофілів, концентрації С-реактивного білка), варіативності залежно від статі для цих показників не виявлено. Отримані результати узгоджуються з даними літератури про більше виражені ознаки імуносенесценції в осіб чоловічої статі на рівні супресії лімфоцитарної ланки та мобілізації моноцитарної (Takahashi et al., 2020; McGill et al., 2022; Minihan et al., 2022). Проте, наявні також дані щодо більше виражених прозапальних профілів після стресових впливів в осіб жіночої статі (Labonté et al., 2017; Seney et al., 2018). Можливо, відсутність такої варіативності щодо кількості еозинофілів, базофілів

та концентрації С-реактивного білка зумовлена тим, що у наших дослідженнях не спостерігалося патофізіологічних ознак депресивних симптомів.

Висновки

1. У період воєнного стану чоловіча стать асоційована з вищим фактором ризику розвитку початкових ознак стрес-індукованої імуносенесценції у відносно молодому віці.

2. Статева варіативність формування прозапальних явищ найбільше проявляється на рівні кількості моноцитів.

3. Для прогнозування передчасної імуносенесценції в періоди поєднання професійної діяльності та тривалих стресових впливів доцільно проводити регулярний моніторинг доступних біомаркерів імунного старіння, зокрема, показників лейкоцитарної формули.

Список використаної літератури

Barman P.K., Shin J.E., Lewis S.A., Kang S., Wu D., Wang Y., Yang X., Nagarkatti P.S., Nagarkatti M., Messaoudi I., Benayoun Bérénice A., Goodridge H.S. Production of MHC II-expressing classical monocytes increases during aging in mice and humans. *Aging Cell*. 2022. Vol. 21. P.e13701. <https://doi.org/10.1111/acel.v21.10>

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. Vol. 64. P. 123–144. <https://doi.org/10.1007/s12016-021-08909-7>

Borgoni S., Kudryashova K.S., Burka K., Magalhães J.Pd. Targeting immune dysfunction in aging. *Ageing research reviews*. 2021. Vol. 70. P. 101410. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101410>

Cao Y., Fan Y., Li F., Hao Y., Kong Y., Chen C., Hao X., Han D., Li G., Wang Z., Song Ch., Han J., Zeng H. Phenotypic and functional alterations of monocyte subsets with aging. *Immun. Ageing A*. 2022. Vol. 19, №1. P. 63. <https://doi.org/10.1186/s12979-022-00321-9>

Cestonaro L.V., Garcia S.C., Nascimento S., Gauer B., Sauer E., Göethel G., Peruzzi C., Nardi J., Fão N., Piton Y., Braga W., Rocha R., Saint-Pierre T., Gioda A., Arbo M. D. Biochemical, hematological and immunological parameters and relationship with occupational exposure to pesticides and metals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27, №23. P. 29291–29302. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09203-3>

Collerton J., Martin-Ruiz C., Davies K., Hilkins C.M., Isaacs J., Kolenda C., Parker C., Dunn M., Catt M., Jagger C., von Zglinicki, Th., Kirkwood T.B. Frailty and the role of inflammation, immunosenescence and cellular ageing in the very old: cross-sectional findings from the Newcastle 85+ Study. *Mech. Ageing. Dev*. 2012. Vol. 133, № 6. P. 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2012.05.005>

De Oliveira D.R., Wilson D., Palace-Berl F., de Mello Ponteciano B., Rissatti L.F., de Miranda F.S., Pollizi V.P., Fuscilla J.C.A., Terzi M., Lepique A. P., D'Almeida V., Demarzo M. Mindfulness meditation training effects on quality of life, immune function and glutathione metabolism in service healthy female teachers: A randomized pilot clinical trial. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*. 2021. Vol. 18. P. 100372. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2021.100372>

Derry H.M., Padin A.C., Kuo J.L., Hughes S., Kiecolt-Glaser J.K. Sex differences in depression: does inflammation play a role?. *Current Psychiatry Reports*. 2015. Vol. 17. P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11920-015-0618-5>

Dieker A.C., IJzelenberg W., Proper K.I., Burdorf A., Ket J.C., van der Beek A.J., Hulsege G. The contribution of work and lifestyle factors to socioeconomic inequalities in self-rated health – A systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2019. Vol. 45, № 2. P. 114–125. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3772>

Fahmy V.F., Momen M.A.M.T., Mostafa N.S., Elawady M.Y. Prevalence, risk factors and quality of life impact of work-related musculoskeletal disorders among school teachers in Cairo, Egypt. *BMC Public Health*. 2022. Vol. 22, №1. P. 2257. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14712-6>

- 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. Vol. 54. P. 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.019>
- Franceschi C., Garagnani P., Parini P., Giuliani C., Santoro A. Inflammaging: a new immune-metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2018. Vol. 14, №10. P. 576–590. <https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4>
- Goyani P., Christodoulou R., Vassiliou E. Immunosenescence: aging and immune system decline. *Vaccines.* 2024. Vol. 12, №12. P. 1314. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121314>
- Helbling P.M., Piñeiro-Yáñez E., Gerosa R., Boettcher S., Al-Shahrour F., Manz M.G., Nombela-Arrieta C. Global Transcriptomic Profiling of the Bone Marrow Stromal Microenvironment during Postnatal Development, Aging, and Inflammation. *Cell. Rep.* 2019. Vol. 29, №10. P. 3313–3330. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.004>
- Hepburn S-J., Carroll A., McCuaig-Holcroft L. A complementary intervention to promote wellbeing and stress management for early career teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2021. Vol.18, №12. P. 6320. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126320>
- Klopach E.T., Crimmins E.M., Cole S.W., Seeman T.E., Carroll J.E. 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. U. S. A.* 2022. Vol. 119, № 25. P. e2202780119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2202780119>
- Koo J.W., Chaudhury D., Han M.H., Nestler E J. Role of mesolimbic brain-derived neurotrophic factor in depression. *Biological Psychiatry.* 2019. Vol. 86, №10. P. 738–748. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.05.020>
- Koo J.W., Wohleb E.S. How stress shapes neuroimmune function: implications for the neurobiology of psychiatric disorders. *Biological Psychiatry.* 2021. Vol. 90, №2. P. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.11.007>
- 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. Vol.18, № 13. <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39825>
- Labonté B., Engmann O., Purushothaman I., Menard C., Wang J., Tan C., Scarpa J.R., Moy G., Loh Y-H.E., Cahill M., Lorsch Z.S., Hamilton P.J., Calipari E.S., Hodes G.E., Issler O., Kronman H., Pfau M., Obradovic A.L.J., Dong Y., Neve R.L., Russo S., Kasarskis A., Tamminga C., Mechawar N., Turecki G., Zhang B., Shen Li., Nestler E.J. Sex-specific transcriptional signatures in human depression. *Nature Medicine.* 2017. Vol. 23, №9. P. 1102–1111. <https://doi.org/10.1038/nm.4386>
- Lavrysh Y., Lytovchenko I., Lukianenko V., Golub T. Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. *Educ. Philos. Theory.* 2025. Vol. 57, №3. P. 197–204. <https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714>
- Lei D. K., Grammer L. C. Occupational immunologic lung disease. *Allergy Asthma Proc.* 2019. Vol. 40, №6. P. 418–420. <https://doi.org/10.2500/aap.2019.40.4261>
- McClure E., Feinstein L., Ferrando-Martínez S., Leal M., Galea S., Aiello A. E. The great recession and immune function. *RSF.* 2018. Vol. 4, №4. P. 62–81. <https://doi.org/10.7758/rsf.2018.4.4.04>
- McGee A.B., Scott S.R., Manczak E.M., Watamura S.E. Associations between the Psychophysiological Impacts of Teacher Occupational Stress and Stress Biomarkers: A Systematic Review. *Psychoneuroimmunology Journal.* 2023. Vol. 4. <https://doi.org/10.32371/pnij/246145>
- McGill C.J., Benayoun B.A. Time isn't kind to female T-cells. *Nat. Aging.* 2022. Vol. 2, №2. P. 189–191. <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00185-0>
- Minihan E., Adamis D., Dunleavy M., Martin A., Gavin B., McNicholas F. COVID-19 related occupational stress in teachers in Ireland. *International Journal of Educational Research Open.* 2022. Vol. 3. P. 100114. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100114>
- Mkhikian H., Hayama K.L., Khachikyan K., Li C., Zhou R.W., Pawling J., Klaus S., Tran P.Q.N., Ly K.M., Gong A.D., Saryan H., Hai J.L., Grigoryan D., Lee P.L., Newton B.L., Raffatellu M., Dennis J.W., Demetriou M. Age-associated impairment of T cell immunity is linked to sex-dimorphic elevation of N-glycan branching. *Nat. Aging.* 2022. Vol. 2, №3. P. 231–42. <https://doi.org/10.1038/s43587-021-00086-8>
- Moieni M., Irwin M.R., Jevtic I., Olmstead R., Breen E.C., Eisenberger N.I. Sex differences in depressive and socioemotional responses to an inflammatory challenge: implications for sex differences in depression. *Neuropsychopharmacology.* 2015. Vol. 40, №7. P. 1709–1716. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.17>

Nadyukova I., Frenzel A.C. Ukrainian teachers' stress and coping during the war: Results from a mixed methods study. *Teach. Teach. Educ.* 2025. Vol. 157. P. 104941. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.104941>

Ndjaboué R., Brisson C., Vézina M. Organisational justice and mental health: a systematic review of prospective studies. *Occupational and Environmental Medicine.* 2012. Vol. 69, №10. P. 694–700. <https://doi.org/10.1136/oemed-2011-100595>

Noppert G.A., Stebbins R.C., Dowd J.B., Aiello A.E. Socioeconomic and race/ethnic differences in immunosenescence: evidence from the health and retirement study. *Brain Behav. Immun.* 2023. Vol. 107. P. 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.10.019>

Omarjee L., Perrot F., Meilhac O., Mahe G., Bousquet G., Janin A. Immunometabolism at the cornerstone of inflammaging, immunosenescence, and autoimmunity in COVID-19. *Aging.* 2020. Vol. 12, №24. P. 26263–26278. <https://doi.org/10.18632/aging.202422>

Pang W.W., Price E.A., Sahoo D., Beerman I., Maloney W.J., Rossi D.J., Schrier S.L., Weissman, I.L. Human bone marrow hematopoietic stem cells are increased in frequency and myeloid-biased with age. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 2011. Vol. 108, №50. P. 20012–20017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116110108>

Peris-Ramos H.C., Miguez M.C., Rodriguez-Besteiro S., David-Fernandez S., Clemente-Suárez V.J. Gender-Based Differences in Psychological, Nutritional, Physical Activity, and Oral Health Factors Associated with Stress in Teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2024. Vol. 21, №4. P. 385. <https://doi.org/10.3390/ijerph21040385>

Pinti M., Appay V., Campisi J., Frasca D., Fülöp T., Sauce D., Larbi A., Weinberger B., Cossarizza A. Aging of the immune system: focus on inflammation and vaccination. *Eur. J. Immunol.* 2016. Vol. 46, №10. P. 2286–2301. <https://doi.org/10.1002/eji.201546178>

Puzianowska-Kuźnicka M., Owczarż M., Wieczorowska-Tobis K., Nadrowski P., Chudek J., Slusarczyk P., Skalska A., Jonas M., Franek E., Mossakowska M. Interleukin-6 and C-reactive protein, successful aging, and mortality: the PolSenior study. *Immun Ageing.* 2016. Vol. 13, №1. P. 21. <https://doi.org/10.1186/s12979-016-0076-x>

Ravichandran S., Erra-Diaz F., Karakaslar O.E., Marches R., Kenyon-Pesce L., Rossi R., Chaussabel D., Nehar-Belaid D., LaFon D. C., Pascual V., Palucka K., Paust S., Nahm M.H., Kuchel G.A., Banchereau J., Ucar D. Distinct baseline immune characteristics associated with responses to conjugated and unconjugated pneumococcal polysaccharide vaccines in older adults. *Nat. Immunol.* 2024. Vol. 25, №2. P. 316–329. <https://doi.org/10.1038/s41590-023-01717-5>

Reinke W.M., Herman K.C., Stormont M., Ghasemi F. Teacher Stress, Coping, Burnout, and Plans to Leave the Field: A Post-Pandemic Survey. *School Mental Health.* 2025. Vol. 17, №1. P. 32–44. <https://doi.org/10.1007/s12310-024-09738-7>

Reitsema R.D., Kumawat A.K., Hesselink B.C., van Baarle D., van Sleen Y. Effects of ageing and frailty on circulating monocyte and dendritic cell subsets. *NPJ Aging.* 2024. Vol. 10, №1. P. 17. <https://doi.org/10.1038/s41514-024-00144-6>

Santoro A., Bientinesi E., Monti D. Immunosenescence and inflammaging in the aging process: age-related diseases or longevity? *Ageing Res. Rev.* 2021. Vol. 71. P. 101422. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422>

Schaap R., de Wind A., Coenen P., Proper K., Boot C. The effects of exit from work on health across different socioeconomic groups: A systematic literature review. *Social Science & Medicine.* 2017. Vol. 198. P. 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.12.015>

Seney M.L., Huo Z., Cahill K., French L., Puralewski R., Zhang J., Logan R. W., Tseng G., Lewis D.A., Sibille E. Opposite molecular signatures of depression in men and women. *Biological Psychiatry.* 2018. Vol. 84, №1. P. 18–27.

Serre-Miranda C., Roque S., Barreira-Silva P., Nobrega C., Vieira N., Costa P., Palha J.A., Correia-Neves M. Age-Related Sexual Dimorphism on the Longitudinal Progression of Blood Immune Cells in BALB/cByJ Mice. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2022. Vol. 77, №5. P. 883–891. <https://doi.org/10.1093/gerona/glab330>

Simell B., Vuorela A., Ekström N., Palmu A., Reunanen A., Meri S., Käyhty H., Väkeväinen M. Aging reduces the functionality of anti-pneumococcal antibodies and the killing of *Streptococcus pneumoniae* by neutrophil phagocytosis. *Vaccine.* 2011. Vol. 29, №10. P. 1929–1934. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.12.121>

Simmons S.R., Tchalla E.Y.I., Bhalla M., Bou Ghanem E.N. 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. Vol. 12. P.849224. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.849224>

Singh Y.K., Gautam D.N.S. The impact of job satisfaction on teacher mental health: A call to action for educational policymakers. *Open Education Studies*. 2024. Vol. 6, №1. P. 20240008. <https://doi.org/10.1515/edu-2024-0008>

Sokolenko V.L., Sokolenko S.V. Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18-24 years. *Regul. Mech. Biosyst.* 2019. Vol. 10, №4. P. 422–431. <https://doi.org/10.15421/021963>

Takahashi T., Ellingson M.K., Wong P., Israelow B., Lucas C., Klein J., Silva J., Mao T., Oh J.E., Tokuyama M., Lu P., Venkataraman A., Park A., Liu F., Meir A., Sun J., Wang E.Y., Casanovas-Massana A., Wyllie A.L., Vogels Ch.B. F., Earnest R., Lapidus S., Ott I.M., Moore A.J., Yale IMPACT Research Team, Iwasaki A. Sex differences in immune responses that underlie COVID-19 disease outcomes. *Nature*. 2020. Vol. 588, №7837. P. 315–320. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2700-3>

Terzioglu F., Temel S., Uslu Sahan F. Factors affecting performance and productivity of nurses: professional attitude, organisational justice, organisational culture and mobbing. *Journal of Nursing Management*. 2016. Vol. 24, № 6. P. 735–744. <https://doi.org/10.1111/jonm.12377>

Van Avondt K., Strecker J.K., Tulotta C., Minnerup J., Schulz C., Soehnlein O. Neutrophils in aging and aging-related pathologies. *Immunological Reviews*, 2023. Vol. 314, №1. P. 357–375. <https://doi.org/10.1111/imr.13153>

Vertanen-Greis H., Löyttyniemi E., Uitti J. Voice disorders are associated with stress among teachers: a cross-sectional study in Finland. *Journal of Voice*. 2020. Vol. 34, №3. P. 488-e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.08.021>

Wohid F., Eme F.W., Fahim I.H., Mim M., Ferdaus F. Work Life Balance and Its Influence on Physical and Mental Health Among Female Teachers of Public University in Bangladesh. *Asia Pacific Journal of Medical Innovations*. 2024. Vol. 1, №2. P. 68–75. <https://doi.org/10.70818/apjmi.2024.v01i02.011>

Wohleb E.S., Franklin T., Iwata M., Duman R.S. Integrating neuroimmune systems in the neurobiology of depression. *Nature Reviews Neuroscience*. 2016. Vol. 17, № 8. P. 497–511. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.69>

Wright B.J., Eddy P.J., Kent S. Work stress, immune, and inflammatory markers. In: *Handbook of Socioeconomic Determinants of Occupational Health: From Macro-level to Micro-level Evidence*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 657–675. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31438-5_28

References

Barman, P.K., Shin, J.E., Lewis, S.A., Kang, S., Wu, D., Wang, Y., Yang, X., Nagarkatti, P.S., Nagarkatti, M., Messaoudi, I., Benayoun, Bérénice A., & Goodridge, H.S. (2022). Production of MHCII-expressing classical monocytes increases during aging in mice and humans. *Ageing cell*, 21(10), e13701. <https://doi.org/10.1111/accel.13701> [in English].

Bleve, A., Motta, F., Durante, B., Pandolfo, C., Selmi, C., & Sica, A. (2023). Immunosenescence, inflammaging, and frailty: role of myeloid cells in age-related diseases. *Clinical reviews in allergy & immunology*, 64(2), 123–144. <https://doi.org/10.1007/s12016-021-08909-7> [in English].

Borgoni, S., Kudryashova, K.S., Burka, K., & De Magalhães, J.P. (2021). Targeting immune dysfunction in aging. *Ageing research reviews*, 70, 101410. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101410> [in English].

Cao, Y., Fan, Y., Li, F., Hao, Y., Kong, Y., Chen, C., Hao, X., Han, D., Li, G., Wang, Z., Song, Ch., Han, J., & Zeng, H. (2022). Phenotypic and functional alterations of monocyte subsets with aging. *Immunity & Ageing*, 19(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12979-022-00321-9> [in English].

Cestonaro, L.V., Garcia, S.C., Nascimento, S., Gauer, B., Sauer, E., Göethel, G., Peruzzi, C., Nardi, J., Fão, N., Piton, Y., Braga, W., Rocha, R., Saint-Pierre, T., Gioda, A., & Arbo, M.D. (2020). Biochemical, hematological and immunological parameters and relationship with occupational exposure to pesticides and metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29291–29302. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09203-3> [in English].

Collerton, J., Martin-Ruiz, C., Davies, K., Hilkins, C. M., Isaacs, J., Kolenda, C., Parker, C., Dunn, M., Catt, M., Jagger, C., von Zglinicki, Th., & Kirkwood, T.B. (2012). Frailty and the role of inflammation, immunosenescence and cellular ageing in the very old: cross-sectional findings from the Newcastle 85+ Study. *Mechanisms of ageing and development*, 133(6), 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2012.05.005> [in English].

- De Oliveira, D.R., Wilson, D., Palace-Berl, F., de Mello Ponteciano, B., Rissatti, L.F., de Miranda, F.S., Pollizi, V.P., Fuscella, J.C.A., Terzi, M., Lepique, A.P., D'Almeida, V., & Demarzo, M. (2021). Mindfulness meditation training effects on quality of life, immune function and glutathione metabolism in service healthy female teachers: A randomized pilot clinical trial. *Brain, behavior, & immunity-health*, 18, 100372. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2021.100372> [in English].
- Derry, H.M., Padin, A.C., Kuo, J.L., Hughes, S., & Kiecolt-Glaser, J.K. (2015). Sex differences in depression: does inflammation play a role? *Current psychiatry reports*, 17(10), 78. <https://doi.org/10.1007/s11920-015-0618-5> [in English].
- Dieker, A.C., IJzelenberg, W., Proper, K.I., Burdorf, A., Ket, J.C., van der Beek, A.J., & Hulsege, G. (2019). The contribution of work and lifestyle factors to socioeconomic inequalities in self-rated health—a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 45(2), 114–125. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3772> [in English].
- Fahmy, V.F., Momen, M.A.M.T., Mostafa, N.S., & Elawady, M.Y. (2022). Prevalence, risk factors and quality of life impact of work-related musculoskeletal disorders among school teachers in Cairo, Egypt. *BMC Public Health*, 22(1), 2257. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14712-6> [in English].
- Fernández-Garrido, J., Navarro-Martínez, R., Buigues-González, C., Martínez-Martínez, M., Ruiz-Ros, V., & Cauli, O. (2014). The value of neutrophil and lymphocyte count in frail older women. *Experimental gerontology*, 54, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.019> [in English].
- Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P., Giuliani, C., & Santoro, A. (2018). Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 576–590. <https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4> [in English].
- Goyani, P., Christodoulou, R., & Vassiliou, E. (2024). Immunosenescence: aging and immune system decline. *Vaccines*, 12(12), 1314. <https://doi.org/10.3390/vaccines12121314> [in English].
- Helbling, P.M., Piñero-Yáñez, E., Gerosa, R., Boettcher, S., Al-Shahrour, F., Manz, M.G., & Nombela-Arrieta, C. (2019). Global transcriptomic profiling of the bone marrow stromal microenvironment during postnatal development, aging, and inflammation. *Cell reports*, 29(10), 3313–3330. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.004> [in English].
- Hepburn, S.J., Carroll, A., & McCuaig-Holcroft, L. (2021). A complementary intervention to promote wellbeing and stress management for early career teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6320. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126320> [in English].
- Klopach, E.T., Crimmins, E.M., Cole, S.W., Seeman, T.E., & Carroll, J.E. (2022). Social stressors associated with age-related T lymphocyte percentages in older US adults: Evidence from the US Health and Retirement Study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(25), e2202780119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2202780119> [in English].
- Koo, J.W., & Wohleb, E.S. (2021). How stress shapes neuroimmune function: Implications for the neurobiology of psychiatric disorders. *Biological psychiatry*, 90(2), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.11.007> [in English].
- Koo, J.W., Chaudhury, D., Han, M.H., & Nestler, E.J. (2019). Role of mesolimbic brain-derived neurotrophic factor in depression. *Biological psychiatry*, 86(10), 738–748. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.05.020> [in English].
- Kostikova, I., Holubnycha, L., Sytnykova, Y., Shchokina, T., Soroka, N., & Tarasova, S. (2023). University Teachers' Psychological State During the Stress of Online Education After Pandemic in Wartime in Ukraine. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(13). <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39825> [in English].
- Labonté, B., Engmann, O., Purushothaman, I., Menard, C., Wang, J., Tan, C., Scarpa, J.R., Moy, G., Loh, Y-H. E., Cahill, M., Lorsch, Z. S., Hamilton, P.J., Calipari, E.S., Hodes, G.E., Issler, O., Kronman, H., Pfau, M., Obradovic, A.L.J., Dong, Y., Neve, R.L., Russo, S., Kasarskis, A., Tamminga, C., Mechawar, N., Turecki, G., Zhang, B., Shen, Li., & Nestler, E.J. (2017). Sex-specific transcriptional signatures in human depression. *Nature medicine*, 23(9), 1102–1111. <https://doi.org/10.1038/nm.4386> [in English].
- Lavrysh, Y., Lytovchenko, I., Lukianenko, V., & Golub, T. (2025). Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. *Educational Philosophy and Theory*, 57(3), 197–204. <https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714> [in English].
- Lei, D.K., & Grammer, L.C. (2019). Occupational immunologic lung disease. In *Allergy & Asthma Proceedings*, 40(6), 418–420. <https://doi.org/10.2500/aap.2019.40.4261> [in English].
- McClure, E., Feinstein, L., Ferrando-Martínez, S., Leal, M., Galea, S., & Aiello, A.E. (2018). The Great Recession and immune function. *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, 4(4), 62–81. <https://doi.org/10.7758/rsf.2018.4.4.04> [in English].

- McGee, A.B., Scott, S.R., Manczak, E.M., & Watamura, S.E. (2023). Associations between the psychophysiological impacts of teacher occupational stress and stress biomarkers: A systematic review. *Psychoneuroimmunol. J*, 4, 1–16. <https://doi.org/10.32371/pnij/246145> [in English].
- McGill, C.J., & Benayoun, B.A. (2022). Time isn't kind to female T cells. *Nature aging*, 2(3), 189–191. <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00185-0> [in English].
- Minihan, E., Adamis, D., Dunleavy, M., Martin, A., Gavin, B., & McNicholas, F. (2022). COVID-19 related occupational stress in teachers in Ireland. *International Journal of Educational Research Open*, 3, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100114> [in English].
- Mkhikian, H., Hayama, K. L., Khachikyan, K., Li, C., Zhou, R.W., Pawling, J., Klaus, S., Tran, P.Q.N., Ly, K.M., Gong, A.D., Saryan, H., Hai, J.L., Grigoryan, D., Lee, P.L., Newton, B.L., Raffatellu, M., Dennis, J.W., & Demetriou, M. (2022). Age-associated impairment of T cell immunity is linked to sex-dimorphic elevation of N-glycan branching. *Nature aging*, 2(3), 231–242. <https://doi.org/10.1038/s43587-021-00086-8> [in English].
- Moieni, M., Irwin, M.R., Jevtic, I., Olmstead, R., Breen, E.C., & Eisenberger, N.I. (2015). Sex differences in depressive and socioemotional responses to an inflammatory challenge: implications for sex differences in depression. *Neuropsychopharmacology*, 40(7), 1709–1716. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.17> [in English].
- Nadyukova, I., & Frenzel, A.C. (2025). Ukrainian teachers' stress and coping during the war: Results from a mixed methods study. *Teaching and Teacher Education*, 157, 104941. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.104941> [in English].
- Ndjaboué, R., Brisson, C., & Vézina, M. (2012). Organisational justice and mental health: a systematic review of prospective studies. *Occupational and environmental medicine*, 69(10), 694–700. <https://doi.org/10.1136/oemed-2011-100595> [in English].
- Noppert, G.A., Stebbins, R.C., Dowd, J.B., & Aiello, A.E. (2023). Socioeconomic and race/ethnic differences in immunosenescence: Evidence from the Health and Retirement Study. *Brain, Behavior, and Immunity*, 107, 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.10.019> [in English].
- Omarjee, L., Perrot, F., Meilhac, O., Mahe, G., Bousquet, G., & Janin, A. (2020). Immunometabolism at the cornerstone of inflammaging, immunosenescence, and autoimmunity in COVID-19. *Aging (Albany NY)*, 12(24), 26263. <https://doi.org/10.18632/aging.202422> [in English].
- Pang, W.W., Price, E.A., Sahoo, D., Berman, I., Maloney, W.J., Rossi, D.J., Schrier, S.L., & Weissman, I.L. (2011). Human bone marrow hematopoietic stem cells are increased in frequency and myeloid-biased with age. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20012–20017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116110108> [in English].
- Peris-Ramos, H.C., Míguez, M.C., Rodriguez-Besteiro, S., David-Fernandez, S., & Clemente-Suárez, V.J. (2024). Gender-based differences in psychological, nutritional, physical activity, and oral health factors associated with stress in teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(4), 385. <https://doi.org/10.3390/ijerph21040385> [in English].
- Pinti, M., Appay, V., Campisi, J., Frasca, D., Fülöp, T., Sauce, D., Larbi, A., Weinberger, B., & Cossarizza, A. (2016). Aging of the immune system: focus on inflammation and vaccination. *European journal of immunology*, 46(10), 2286–2301. <https://doi.org/10.1002/eji.201546178> [in English].
- Puzianowska-Kuźnicka, M., Owczarż, M., Wieczorowska-Tobis, K., Nadrowski, P., Chudek, J., Slusarczyk, P., Skalska, A., Jonas, M., Franek, E., & Mossakowska, M. (2016). Interleukin-6 and C-reactive protein, successful aging, and mortality: the PolSenior study. *Immunity & Ageing*, 13(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s12979-016-0076-x> [in English].
- Ravichandran, S., Erra-Diaz, F., Karakaslar, O. E., Marches, R., Kenyon-Pesce, L., Rossi, R., Chaussabel, D., Nehar-Belaid, D., LaFon, D. C., Pascual, V., Palucka, K., Paust, S., Nahm, M. H., Kuchel, G. A., Banchereau, J., & Ucar, D. (2024). Distinct baseline immune characteristics associated with responses to conjugated and unconjugated pneumococcal polysaccharide vaccines in older adults. *Nature immunology*, 25(2), 316–329. <https://doi.org/10.1038/s41590-023-01717-5> [in English].
- Reinke, W.M., Herman, K.C., Stormont, M., & Ghasemi, F. (2025). Teacher stress, coping, burnout, and plans to leave the field: A post-pandemic survey. *School Mental Health*, 17(1), 32–44. <https://doi.org/10.1007/s12310-024-09738-7> [in English].
- Reitsemā, R.D., Kumawat, A.K., Hesselink, B.C., van Baarle, D., & van Sleen, Y. (2024). Effects of ageing and frailty on circulating monocyte and dendritic cell subsets. *npj Aging*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41514-024-00144-6> [in English].
- Santoro, A., Bientinesi, E., & Monti, D. (2021). Immunosenescence and inflammaging in the aging process: age-related diseases or longevity?. *Ageing research reviews*, 71, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422>

Schaap, R., de Wind, A., Coenen, P., Proper, K., & Boot, C. (2018). The effects of exit from work on health across different socioeconomic groups: a systematic literature review. *Social Science & Medicine*, 198, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.12.015> [in English].

Seney, M.L., Huo, Z., Cahill, K., French, L., Puralewski, R., Zhang, J., Logan, R.W., Tseng, G., Lewis, D.A., & Sibille, E. (2018). Opposite molecular signatures of depression in men and women. *Biological psychiatry*, 84(1), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422> [in English].

Serre-Miranda, C., Roque, S., Barreira-Silva, P., Nobrega, C., Vieira, N., Costa, P., Palha, J. A., & Correia-Neves, M. (2022). Age-related sexual dimorphism on the longitudinal progression of blood immune cells in BALB/cByJ mice. *The Journals of Gerontology: Series A*, 77(5), 883–891. <https://doi.org/10.1093/gerona/glab330> [in English].

Simell, B., Vuorela, A., Ekström, N., Palmu, A., Reunanen, A., Meri, S., Käyhty, H., & Väkeväinen, M. (2011). Aging reduces the functionality of anti-pneumococcal antibodies and the killing of *Streptococcus pneumoniae* by neutrophil phagocytosis. *Vaccine*, 29(10), 1929–1934. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.12.121> [in English].

Simmons, S.R., Tchalla, E.Y., Bhalla, M., & Bou Ghanem, E.N. (2022). The age-driven decline in neutrophil function contributes to the reduced efficacy of the pneumococcal conjugate vaccine in old hosts. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 849224. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.849224> [in English].

Singh, Y.K., & Gautam, D.N.S. (2024). The impact of job satisfaction on teacher mental health: A call to action for educational policymakers. *Open Education Studies*, 6(1), 20240008. <https://doi.org/10.1515/edu-2024-0008> [in English].

Sokolenko, V.L., & Sokolenko, S.V. (2019). Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18-24 years. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(4), 422–431. <https://doi.org/10.15421/021963> [in English].

Takahashi, T., Ellingson, M.K., Wong, P., Israelow, B., Lucas, C., Klein, J., Silva, J., Mao, T., Oh, J.E., Tokuyama, M., Lu, P., Venkataraman, A., Park, A., Liu, F., Meir, A., Sun, J., Wang, E.Y., Casanovas-Massana, A., Wyllie, A.L., Vogels, Ch.B.F., Earnest, R., Lapidus, S., Ott, I.M., Moore, A.J., Yale IMPACT Research Team, & Iwasaki, A. (2020). Sex differences in immune responses that underlie COVID-19 disease outcomes. *Nature*, 588(7837), 315–320. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2700-3> [in English].

Terzioglu, F., Temel, S., & Uslu Sahan, F. (2016). Factors affecting performance and productivity of nurses: professional attitude, organisational justice, organisational culture and mobbing. *Journal of nursing management*, 24(6), 735–744. <https://doi.org/10.1111/jonm.12377> [in English].

Van Avondt, K., Strecker, J. K., Tulotta, C., Minnerup, J., Schulz, C., & Soehnlein, O. (2023). Neutrophils in aging and aging-related pathologies. *Immunological Reviews*, 314(1), 357–375. <https://doi.org/10.1111/imr.13153> [in English].

Vertanen-Greis, H., Löyttyniemi, E., & Uitti, J. (2020). Voice disorders are associated with stress among teachers: a cross-sectional study in Finland. *Journal of Voice*, 34(3), 488–e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.08.021> [in English].

Wohid, F., Eme, F.W., Fahim, I.H., Mim, M., & Ferdaus, F. (2024). Work Life Balance and Its Influence on Physical and Mental Health Among Female Teachers of Public University in Bangladesh. *Asia Pacific Journal of Medical Innovations*, 1(2), 68–75. <https://doi.org/10.70818/apjmi.2024.v01i02.011> [in English].

Wohleb, E.S., Franklin, T., Iwata, M., & Duman, R.S. (2016). Integrating neuroimmune systems in the neurobiology of depression. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(8), 497–511. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.69> [in English].

Wright, B.J., Eddy, P.J., & Kent, S. (2022). Work stress, immune, and inflammatory markers. In *Handbook of Socioeconomic Determinants of Occupational Health: From Macro-level to Micro-level Evidence* (pp. 657–675). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31438-5_28 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

