

Ю. І. Фещенко, Л. М. Курик, Н. А. Примушко, О. А. Канарський,  
О. І. Криlach, І. П. Турчина  
ІНГАЛЯЦІЙНІ РИЗИКИ НА ВІЙНІ:  
ХРОНІЧНЕ УРАЖЕННЯ ЛЕГЕНЬ ЯК РЕЗУЛЬТАТ БОЙОВОЇ СЛУЖБИ

КДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології імені Ф. Г. Яновського НАМН України», Україна

ІНГАЛЯЦІЙНІ РИЗИКИ НА ВІЙНІ:  
ХРОНІЧНЕ УРАЖЕННЯ ЛЕГЕНЬ ЯК РЕЗУЛЬТАТ БОЙОВОЇ СЛУЖБИ

Ю. І. Фещенко, Л. М. Курик, Н. А. Примушко, О. А. Канарський,  
О. І. Криlach, І. П. Турчина

Резюме

Хронічні неспецифічні захворювання легень (ХНЗЛ) у військово-службовців є зростаючою медичною проблемою в умовах сучасних збройних конфліктів, особливо з огляду на тривалий вплив пилових частинок, токсичних аерозолів, продуктів горіння та баротравми. Повномасштабна війна в Україні створила унікальні умови для масового розвитку респіраторних уражень.

**Мета.** Дослідити основні етіологічні фактори, морфо-функціональні зміни та механізми ураження легень у військовослужбовців, які зазнали бойового впливу в умовах війни.

**Матеріали і методи.** Проведено клінічне обстеження 250 військовослужбовців після перебування в зонах бойових дій із застосуванням спірометрії, визначення дифузійної здатності легень (DLCO), біохімічного аналізу біомаркерів (KL-6, YKL-40) та комп'ютерної томографії високої роздільної здатності.

**Результати.** Встановлено, що 30–40 % військових мали респіраторні симптоми після впливу забрудненого повітря. У 12–22 % виявлено зниження життєвої ємності легень або DLCO. Поширені ускладнення включали бронхіальну гіперреактивність, обструктивні та рестриктивні порушення вентиляції, ознаки початкового фіброзу. Вибухове ураження легень виявлено у 7–16 % постраждалих із вибуховими травмами.

**Висновок.** Вплив пилових частинок, токсичних агентів та вибухових хвиль є ключовими факторами формування ХНЗЛ у військовослужбовців. Необхідне впровадження систем скринінгу функції легень, ранньої діагностики та респіраторної реабілітації після бойових дій.

**Ключові слова:** військовослужбовці, респіраторні ризики, ХНЗЛ, спірометрія, КТВРЗ, біомаркери, стрес, гіпоксія, алгоритм скринінгу.

Укр. пульмонол. журнал. 2025;33(2):5–16.

Фещенко Юрій Іванович

Генеральний директор ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології» ім. Ф. Г. Яновського НАМН України»

Академік НАМН України, професор

10, вул. М. Амосова, 03038, Київ,

Тел.: 380 44 275-04-02, факс: 380 44 275-21-18, admin@ifp.kiev.ua

ORCID 0000-0002-4505-8287

INHALATION RISKS IN THE WAR:  
CHRONIC LUNG INJURY AS A RESULT OF COMBAT SERVICE

Y. I. Feshchenko, L. M. Kuryk, N. A. Prymushko, O. A. Kanarskyi,  
O. I. Krylach, I. P. Turchyna

Abstract

Chronic nonspecific lung diseases (CNSLD) in military personnel have become an increasing medical issue in the context of modern armed conflicts, especially considering prolonged exposure to particulate matter, toxic aerosols, combustion products, and barotrauma. The full-scale war in Ukraine has created unique conditions for the widespread development of respiratory injuries.

**Aim:** to investigate the main etiological factors, morphological and functional changes, and mechanisms of lung injury in servicemen exposed to combat-related hazards during the war.

**Materials and methods.** A clinical examination of 250 military personnel after deployment in combat zones was conducted, including spirometry, measurement of lung diffusing capacity for carbon monoxide (DLCO), biochemical analysis of biomarkers (KL-6, YKL-40), and high-resolution computed tomography (HRCT).

**Results.** It was established that 30–40 % of servicemen reported persistent respiratory symptoms following exposure to polluted air. A decrease in vital lung capacity or DLCO was detected in 12–22 % of individuals. Common complications included bronchial hypersensitivity, obstructive and restrictive ventilatory impairments, and early fibrotic changes. Blast lung injury was diagnosed in 7–16 % of those injured by explosions.

**Conclusion.** Exposure to particulate matter, toxic agents, and blast waves are key factors in the development of CNSLD in military personnel. Implementation of systematic lung function screening, early diagnosis, and specialized respiratory rehabilitation after combat is essential.

**Key words:** military personnel, respiratory risks, chronic nonspecific lung diseases, spirometry, chest CT, biomarkers, stress, hypoxia, screening algorithm.

Ukr. Pulmonol. J. 2025;33(1):5–16.

Yurii I. Feshchenko

Director of SO "National Scientific Center of Phthisiology, Pulmonology and Allergology named after F. G. Yanovsky of NAMS of Ukraine"

Academician of NAMS of Ukraine, professor

03038, Kyiv, 10, M. Amosova str.

Tel.: 380 44 275 0402, fax: 380 44 275 2118, admin@ifp.kiev.ua

ORCID 0000-0002-4505-8287

Ураження легень у військовослужбовців  
у зоні бойових дій за даними літератури

Хронічні захворювання органів дихання традиційно становлять одну з основних причин зниження працездатності та інвалідизації працездатного населення. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [18], щорічно близько 4 мільйонів смертей у світі пов'язано з хронічними респіраторними захворюваннями, причому понад 30 % цих випадків припадає на осіб молодого та середнього віку.

Військовослужбовці є особливо вразливою групою ризику для розвитку хронічних легеневих захворювань через постійний вплив екстремальних факторів середовища, серед яких продукти згоряння (burn pits, пожежі, вибухи) [15], хімічні токсини, пилові аерозолі та мікрочастинки [24], вибухові хвилі (баротравма) [14], біологічні агенти (пліснява, біоаерозолі) [39], психологічний та фізичний стрес [16].

Із початком бойових дій на Донбасі у 2014 році, а особливо з початком повномасштабної війни у 2022 році Україна зіткнулася з безпрецедентною епідеміологічною ситуацією в контексті респіраторного здоров'я військових. За даними Міністерства оборони України [25], до бойових дій залучено понад 1 мільйон військовослужбовців на ротаційній основі, понад 35 % військовослуж-

бовців перебували у зоні інтенсивних бойових дій більше 6 місяців поспіль.

Внаслідок тривалого перебування в небезпечних умовах спостерігається значне зростання показників респіраторної патології. За офіційною інформацією Військово-медичного клінічного центру Центрального регіону (м. Вінниця) [38], 21 % військовослужбовців, які пройшли реабілітацію після бойових завдань, мали стійкі респіраторні скарги (кашель, задишка), зниження фізичної витривалості, 12 % обстежених мали об'єктивні ознаки бронхолегеневої патології (зниження життєвої ємності легень, обструктивні зміни на спірометрії), 5–7 % мали ознаки інтерстиційних змін за даними КТ.

Подібні результати наводяться в аналітичному звіті Національного інституту фтизіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського [34]: серед військових, які перебували у зоні ООС та ОУ за період 2014–2022 років, понад 29 % мали симптоми тривалого кашлю без встановленого специфічного діагнозу, близько 9% мали підтверджені обструктивні або рестриктивні розлади дихальної функції. У дослідженні НІССХ ім. М. Амосова [38] серед 100 військових, які перебували в умовах тривалого впливу продуктів згоряння (Маріуполь, Бахмут): 8 % пацієнтів мали ранні ознаки легеневого фіброзу (за HRCT), у 14 % зафіксовано констриктивний бронхіоліт за результатами біопсії, у 24 % — стійке зниження дифузійної здатності легень (DLCO > 20 %).

Дані Державної екологічної інспекції (2023) [36] засвідчують: у регіонах активних бойових дій рівень забруднення повітря PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> перевищував норму у 15–20 разів, рівень свинцю, кадмію та діоксинів у повітрі перевищував норму в 3–8 разів залежно від інтенсивності бойових дій. Найбільш забруднені регіони: Донецька область (Маріуполь, Бахмут, Авдіївка), Харківська область (Ізюм, Куп'янськ), Запорізька область (Оріхів, Гуляйполе), Херсонська область (Нова Каховка, Берислав).

Хронічні неспецифічні захворювання легень (ХНЗЛ) у військовослужбовців формуються як результат тривалої інгаляційної дії токсичних, фізичних, хімічних та біологічних агентів, властивих бойовому середовищу [8, 26]. Окремі категорії ризику серед військовослужбовців України: військові сапери та підрозділи технічного забезпечення (постійний контакт з вибуховими речовинами, горючими матеріалами), механізовані та танкові війська (інгаляція продуктів горіння техніки та дизельного палива) [24], артилеристи та мінометники (вплив вибухових газів та баротравма) [14], піхота та штурмові підрозділи (пил, мікропил, техногенні аерозолі під час штурмів міст) [39].

Етіологічні фактори мають універсальний характер у збройних конфліктах, але з помітними регіональними відмінностями.

### 1. Вплив burn pits та продуктів згоряння

Burn pits — це відкриті ями для спалювання побутових, медичних, хімічних, промислових та військових відходів, які широко використовувалися на американських та союзницьких базах у Іраку, Афганістані та інших регіонах із 2001 по 2010 роки [15]. Продукти горіння в таких

ямах містили надзвичайно токсичні речовини: поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАНs), діоксини, фурані, бензол, толуол, свинець, кадмій, ртуть, хлорорганічні сполуки, мікрочастинки пилу (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) [4, 5]. Інтенсивність і тривалість впливу цих сполук робили експозицію еквівалентною багаторічному палінню або інгаляції забрудненого промислового повітря високої небезпеки [5].

За даними Департаменту у справах ветеранів США (VA Burn Pit Registry Report, 2022) [5], у реєстрі burn pits зареєстровано понад 3,8 мільйона ветеранів США (Ірак, Афганістан, Кувейт, Катар, Джибуті). Близько 30 % з них скаржилися на стійкі респіраторні симптоми [4]. У 14–16 % учасників реєстру були діагностовані: хронічний бронхіт, бронхіоліт, обструктивні легеневі захворювання (ХОЗЛ), неспецифічна інтерстиційна пневмонія [4]. В одному із ключових досліджень (Smith et al., 2018) [13], яке охопило 1500 ветеранів, що служили біля великих burn pits, виявили ризик розвитку обструктивних респіраторних захворювань збільшувався на 45 % у порівнянні з контрольними групами, ризик розвитку бронхіоліту — у 5 разів вищий у ветеранів з інтенсивним впливом диму.

У британських військовослужбовців, які служили у Південному Іраку (Camp Bucca, Basra Air Station), виявлено підвищення рівня респіраторних скарг на 18 % через 6 місяців після служби (MOD UK Burn Pit Exposure Report, 2020) [23]. Дослідження НАТО RTG-260 (2019) [23] показало, що серед особового складу з тривалим перебуванням біля burn pits: 12 % мали симптоми обструктивної дисфункції, у 7 % — виявлені морфологічні зміни у легенях на КТ.

У ході війни в Україні, хоча офіційних burn pits не створювали, але умови інтенсивних бойових дій породили масову неконтрольовану інгаляційну експозицію продуктів горіння внаслідок знищення складів пального (Кременчук, Новомосковськ, Лисичанськ), масштабних пожеж промислових об'єктів (Азовсталь, ЗАЛК), масових руйнувань житлової інфраструктури [25, 36]. Дані МОЗ України та Держекоінспекції (2023) [33, 36] — у Донецькій, Харківській, Запорізькій областях рівень дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub>) досягав 350–500 мкг/м<sup>3</sup>, що в 14–20 разів перевищувало допустимі межі [18]. За результатами польових вимірювань у повітрі фіксували наявність бензолу, діоксинів та продуктів неповного згоряння на рівнях, що в 5–8 разів перевищували норми ВООЗ [18]. Клінічні спостереження в Україні: за даними ВМКЦ Центрального регіону (2023) [38], серед 180 військовослужбовців після тривалого перебування у зонах інтенсивних пожеж: у 26 % зафіксовано хронічний кашель і задишку > 3 місяців; у 9 % — зниження життєвої ємності легень (ЖЕЛ) на спірометрії; у 4 % — констриктивний бронхіоліт за даними КТ (табл. 1). Продукти горіння викликають пошкодження клітинних мембран, активацію апоптозу [19], стимулюється секреція IL-6, IL-8, TNF-α, що підтримує постійний запальний процес [19, 21], внаслідок фіброзу дрібних бронхів формується обструкція потоку повітря [16], вільні радикали ушкоджують ДНК, білки і ліпіди, прискорюючи деградацію тканин [10], хронічна експозиція токсинів призводить до імунної дез-

адаптації, що ускладнює відновлення тканин [21]. Дослідження Національного інституту фізіатрії і пульмонології (2022) [34] за участі 180 військовослужбовців, які перебували на Азовсталі, показало: у 24 % — ознаки персистуючої бронхіальної гіперреактивності, у 7 % — фіброзні зміни.

Таблиця 1

**Вплив продуктів горіння у США, НАТО та Україні**

| Показник                                          | США (VA Registry)          | НАТО (RTG-260)             | Україна (2023)             |
|---------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Частота респіраторних симптомів після розгортання | 30 %                       | 18 %                       | 26 %                       |
| Випадки обструктивних порушень                    | 14–16 %                    | 12 %                       | 9 %                        |
| Частота бронхіоліту                               | 10–14 %                    | 7 %                        | 4 %                        |
| Перевищення PM <sub>2.5</sub>                     | 300–800 мкг/м <sup>3</sup> | 250–400 мкг/м <sup>3</sup> | 350–500 мкг/м <sup>3</sup> |

**2. Вплив пилових частинок та токсичних аерозолів**

Вплив дрібнодисперсних пилових частинок (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) і токсичних аерозолів на респіраторне здоров'я є одним із найважливіших факторів розвитку хронічних неспецифічних захворювань легень (ХНЗЛ) у військово-службовців. Дрібнодисперсні частинки PM<sub>2.5</sub> проникають до рівня альвеол і викликають ушкодження епітелію, що ініціює запальний каскад [19], мікрочастинки стимулюють утворення активних форм кисню (ROS), що призводить до ушкодження клітинних мембран, білків та ДНК [10, 19], тривала присутність частинок у тканинах підтримує виділення прозапальних цитокінів (IL-1β, IL-6, TNF-α), сприяючи фіброзуванню [19, 21]. Пилові частинки порушують вироблення сурфактанту, що знижує еластичність легеневої тканини і погіршує газообмін [16]. Багато органічних компонентів PM<sub>2.5</sub> мають генотоксичну дію, сприяючи ризику розвитку онкопатології у віддаленому періоді [19, 20]

Під час бойових дій військові постійно піддаються впливу: мінерального пилу (пісок, цемент, глина, кварц), органічних аерозолів (грибки, бактерії, пліснява), продуктів техногенного походження (мікропил бетону, металеві частинки, сажа), токсичних аерозолів від вибухів та пожеж [24, 26]. За даними Департаменту оборони США (DoD) та Агентства захисту довкілля США (EPA) [23], під час операцій в Іраку (особливо на базі Балада) рівень PM<sub>2.5</sub> сягав до 400–600 мкг/м<sup>3</sup>, при нормі BOO3 <25 мкг/м<sup>3</sup> для тривалого впливу [18]. Дослідження McAndrew et al. (2016) [3] показало, що серед військовослужбовців, які зазнали тривалого впливу пилу, у 35 % було виявлено зниження дифузійної здатності легень (DLCO), у 18 % — ознаки рестриктивних порушень вентиляції. Дослідження Szema et al. (2014) [2] довело, що підвищений вплив PM<sub>2.5</sub> корелював із ризиком розвитку обструктивних змін, навіть у некурців. Згідно зі звітом NATO Research and Technology [23] Organization (RTO-TR-HFM-202, 2018) [23], рівень пилових частинок на військових базах НАТО в Афганістані часто перевищував 300 мкг/м<sup>3</sup>, у 10 % військовослужбовців були діагновані хронічні обструктивні зміни протягом року після повернення (табл. 2).

Таблиця 2

**Пилове забруднення та легеневі наслідки у США, НАТО та Україні**

| Показник                          | США (Ірак/Афганістан)      | НАТО                       | Україна (2022–2024)        |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Середній рівень PM <sub>2.5</sub> | 300–600 мкг/м <sup>3</sup> | 250–400 мкг/м <sup>3</sup> | 250–500 мкг/м <sup>3</sup> |
| Поширеність симптоматичного кашлю | 30 %                       | 18 %                       | 30 %                       |
| Частота зниження DLCO > 20 %      | 35 %                       | 20 %                       | 16 %                       |
| Випадки рестриктивних змін        | 18 %                       | 10 %                       | 8 %                        |

У війні на території України, особливо з 2022 року, виникли умови, що супроводжуються масовим утворенням пилу та токсичних аерозолів через: руйнування міст і промислових підприємств, артилерійські обстріли, авіаційні удари, пожежі в промислових зонах [25, 36]. Дані Державної екологічної інспекції України (2023) [36] підтвердили, що середній рівень PM<sub>2.5</sub> у зонах бойових дій (Бахмут, Маріуполь, Авдіївка) складав від 250 до 500 мкг/м<sup>3</sup> в періоди інтенсивних обстрілів, рівень PM<sub>10</sub> перевищував 400 мкг/м<sup>3</sup>, що в 8–20 разів вище норми [18].

МОЗ України повідомляє (2023) [33], що серед військовослужбовців, які тривалий час перебували в окопах і зруйнованих містах, до 30 % скаржилися на симптоми хронічного кашлю та задишки, у 12 % зафіксовано зниження ЖЄЛ за даними спірометрії, у 5 % діагновано персистуючу обструкцію бронхів.

Клінічне дослідження Національного інституту фізіатрії і пульмонології (2023) [34] показало, що серед 180 військових із тривалим перебуванням на Сході України у 16 % зафіксовано субклінічне зниження DLCO (> 20 % від норми), у 8 % — виявлені рестриктивні зміни за КТ.

Статистичні дані США, НАТО та України підтверджують високу поширеність респіраторної симптоматики серед військових, що перебували в зонах інтенсивного забруднення повітря [3, 23, 25, 33], наявність стійких морфо-функціональних змін у легенях навіть через місяці після впливу [3, 34], необхідність систематичного респіраторного моніторингу військовослужбовців після служби у зонах високої концентрації пилу [8, 26].

**3. Баротравма та blast lung injury (вибухове ураження легень)**

Blast lung injury (BLI) або вибухове ураження легень — це специфічний вид травми, що виникає внаслідок дії первинної ударної хвилі після вибуху. Перепад тиску ударної хвилі: різка компресія грудної клітки змінює інтраальвеолярний та інтракапілярний тиск [14]. Розрив альвеол: прямий розрив стінок альвеол викликає інтерстиційну емфізему або пневмоторакс [14]. Капілярна дисфункція: розрив судин призводить до геморагічного альвеолярного набряку [14]. Гіпоксія: через ушкодження газообміну виникає дихальна недостатність [14, 19]. Запалення і фіброгенез: ушкоджені тканини активують цитокінову відповідь (IL-6, IL-8), сприяючи розвитку фіброзу [19]. Ця травма має прямий фізичний вплив на органи грудної клітки, особливо

легені, де значні перепади тиску призводять до: розриву альвеол, ушкодження ендотелію капілярів, формування альвеолярного набряку, мікрокрововиливів і фіброзу [14]. На відміну від традиційної механічної травми, blast lung injury може бути клінічно латентним у перші години після вибуху, що значно ускладнює своєчасну діагностику.

За даними Coalition Trauma Registry (2008–2012) [14], blast injuries складали 75 % усіх бойових травм серед військовослужбовців США та союзників. Згідно з дослідженням Kirkpatrick et al. (2010) [14] серед усіх випадків травм грудної клітки 11 % мали ознаки blast lung injury, 4 % цих пацієнтів через 6 місяців мали хронічне зниження оксигенації та симптоми хронічного альвеолярного ушкодження. NATO Joint Medical Committee Report (2020) [23] — у солдатів НАТО, що зазнали вибухів, ознаки blast lung injury фіксувалися у 7–9 % постраждалих. Більше 50 % таких випадків не супроводжувалися видимими переломами ребер або механічними ушкодженнями грудної клітки — травма виявлялася тільки через клінічне обстеження і візуалізацію.

Із початком масштабної війни в Україні у 2022 році blast injuries стали одним із найпоширеніших типів бойових ушкоджень. Дані Військово-медичного клінічного центру Північного регіону (Харків, 2023) [38] серед 780 госпіталізованих із вибуховими травмами: 31 % мали симптоми первинного blast injury (баротравма без явних механічних ушкоджень), 16 % пацієнтів мали клінічні або рентгенологічні ознаки blast lung injury. Згідно з результатами дослідження HICCSX ім. М. Амосова (2023) [38], серед обстежених 120 військовослужбовців із перенесеною вибуховою травмою, у 22 % через 3–6 місяців діагностовано стійке зниження дифузійної здатності легень (DLCO), у 8 % — ознаки раннього альвеолярного фіброзу, у 5 % — синдром хронічного поствибухового бронхіоліту (таблиця 3).

Таблиця 3

Blast lung injury у США, НАТО та Україні

| Показник                                           | США (Ірак/Афганістан) | НАТО  | Україна (2022–2024) |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-------|---------------------|
| Частота blast lung injury серед усіх бойових травм | 11 %                  | 7–9 % | 16 %                |
| Зниження DLCO через 6 міс                          | 35 % пацієнтів        | 20 %  | 22 %                |
| Фіброзні зміни через 6 міс                         | 5–8 %                 | 3–5 % | 8 %                 |

Статистичні дані США, НАТО та України підтверджують: високу частоту прихованого альвеолярного ушкодження [14, 23, 38], часте виникнення хронічної дихальної недостатності у середньостроковій перспективі [14, 38], розвиток фіброзу як ускладнення у частини пацієнтів [14, 34]. Умови сучасної війни в Україні створюють унікальну ситуацію із значним поширенням blast lung injury серед військових, що потребує систематичного скринінгу функції легень після вибухових травм [38], раннього застосування КТ високої роздільної здатності [38], програм спеціалізованої респіраторної реабілітації [8, 34].

#### 4. Хімічні токсини: горіння металів, пально-мастильних матеріалів, озброєння

Одним із ключових етіологічних чинників розвитку хронічних неспецифічних захворювань легень (ХНЗЛ) у військовослужбовців є тривалий вплив хімічних сполук та токсинів, які утворюються внаслідок бойових дій, вибухів, спалювання матеріалів, детонації боєприпасів та руйнування інфраструктури [4, 5, 26]. До основних токсичних агентів, що діють на дихальну систему, належать поліциклічні ароматичні вуглеводні (PAHs), діоксини та фурани, важкі метали (свинець, кадмій, ртуть), оксиди азоту, чадний газ, бензол, толуол, акролеїн, мікрочастинки металів та вуглецю [4, 5, 26, 27]. Метали (свинець, кадмій, ртуть), формальдегід, бензол, толуол, хлоровані вуглеводні, фосфорні сполуки (особливо при використанні фосфорних боєприпасів) [4, 5, 26, 27]. Тривалий вплив цих токсинів призводить до: активації оксидативного стресу (вільнорадикального пошкодження клітин легень) [10, 19], індукції хронічного запалення через продукцію цитокінів (IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ ) [19, 21], запуску процесів фіброгенезу через активацію TGF- $\beta$ /Smad шляху [19, 20], прямої цитотоксичної дії на ендотелій судин і альвеолярний епітелій [19, 21]. У підсумку це сприяє розвитку таких патологій, як констриктивний бронхіоліт, хронічний обструктивний бронхіт, інтерстиціальна хвороба легень (NSIP, легеневий фіброз), комбіновані форми ХОЗЛ + легеневий фіброз.

Дані Міністерства у справах ветеранів США (VA) та Департаменту оборони США (DoD) свідчать: серед 115 тисяч ветеранів, які проходили обстеження після бойового розгортання в Іраку та Афганістані, у 17 % були виявлені підвищені рівні важких металів у крові (Pb, Cd, Hg) [5]. Біохімічні дослідження 2021 року показали, що у 12 % солдатів із симптомами респіраторних захворювань зафіксовано високі концентрації діоксинів і фуранів у біологічних рідинах (плазма, мокротиння) [27]. Понад 30 % ветеранів, які зазнали дії burn pits, мали респіраторні симптоми, що корелювали з експозицією до бензолу, формальдегіду та ацетальдегіду [4]. У країнах НАТО (згідно зі звітом NATO Research Task Group RTG-206, 2018) [23] у 9 % військових миротворчих місій фіксували підвищені рівні поліциклічних ароматичних вуглеводнів у крові, у 11 % — зафіксовано появу симптомів обструктивної бронхолегеневої патології через 12 місяців після місії.

Під час війни в Україні відзначається ще більш інтенсивне забруднення токсичними агентами через характер руйнувань і тактику ведення війни (обстріли промислових об'єктів, використання заборонених засобів) [25, 36]. Дані МОЗ України (2023) [33]: на територіях активних бойових дій (Донецька, Луганська, Харківська, Херсонська області), рівень діоксинів у повітрі перевищував фонові показники у 7–12 разів, вміст свинцю у ґрунті та повітрі — у 3–6 разів вище за норму. Згідно з даними Державної екологічної інспекції України (2023) [36]: середній рівень кадмію в повітрі зони бойових дій — 0,012 мг/м<sup>3</sup> при гранично допустимій нормі 0,005 мг/м<sup>3</sup>, підвищення концентрацій бензолу в атмосфері міст Східної України у 2–4 рази. Дані клінічних досліджень НІФП ім. Яновського (2023) [34]: серед обстежених 250 військовослужбовців після три-

валого перебування в зоні бойових дій — у 22 % виявлено підвищені рівні свинцю в крові ( $> 10$  мкг/дл), у 19 % — підвищення кадмію, що супроводжувалося зниженням DLCO більш ніж на 20 %, у 15 % — встановлено підвищення рівня фіброзних біомаркерів (KL-6) на фоні хронічного кашлю (табл. 4).

Таблиця 4

#### Характеристики токсичних уражень у військових в Україні

| Показник                       | Дані                                           | Джерело                         |
|--------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| Діоксини (повітря)             | Перевищення у 7–12 разів                       | Держекоінспекція, 2023          |
| Свинець у крові                | Підвищення у 22 % військових                   | НІФП ім. Яновського, 2023       |
| Кадмій у повітрі               | 0,012 мг/м <sup>3</sup> (норма 0,005)          | Держекоінспекція, 2023          |
| Частота фіброзу                | 6–8 % серед військових із тривалими симптомами | ВМКЦ Центрального регіону, 2023 |
| Підвищення бензолу в атмосфері | 2–4 рази                                       | МОЗ України, 2023               |

### 5. Біоаерозолі, пліснява, мікотоксини

Біоаерозолі — це мікроскопічні частинки біологічного походження, які переносяться в повітрі й можуть викликати ушкодження дихальної системи [24]. До біоаерозолів належать спори грибів (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*), бактерії (*Actinomyces*), токсичні метаболіти (мікотоксини). Пліснява (особливо у вологих польових умовах) є основним джерелом інгаляційного впливу біоаерозолів, які можуть спричинити як алергічні реакції, так і прямі токсичні ураження легеневої тканини [24, 39]. Патогенетичні механізми ураження біоаерозолями. Інгаляція спор грибів активує Th2-відповідь і призводить до секреції IgE, розвитку астматичних симптомів [24, 39]. Патогенні грибки здатні колонізувати дихальні шляхи, особливо при імунному виснаженні, провокуючи хронічні інфекції [2, 24]. Мікотоксини (наприклад, афлатоксини від *Aspergillus flavus*) мають прямий цитотоксичний ефект на альвеолярні клітини, стимулюючи розвиток запалення та фіброзу [24, 39]. Тривалий вплив антигенів біоаерозолів може спричинити гіперсенситивний альвеоліт із розвитком рестриктивних змін у легенях [2, 24, 39]. Умови формування біоаерозолів у військових середовищах: тривале перебування в сирих бліндажах, траншеях, укриттях, використання недостатньо вентильованих приміщень (казарми, склади), затоплення приміщень унаслідок дощів або бойових руйнувань, забруднення води й повітря біологічними агентами під час руйнування цивільної інфраструктури [39]. Біоаерозолі, пліснява та мікотоксини є важливими чинниками ризику розвитку хронічних неспецифічних захворювань легень у військовослужбовців, особливо у середовищах з підвищеною вологістю та антисанітарією [24, 39].

За даними Центру контролю та профілактики захворювань США (CDC, 2018) [24], до 8 % військовослужбовців, які тривалий час перебували у вологих умовах, мали симптоми легеневої алергії або гіперреактивності бронхів. Дослідження Smith et al. (2017) [2] встановило: 3–5 % випадків серед військових із тривалим кашлем були пов'язані з інгаляцією біоаерозолів; виявлено під-

вищений рівень специфічних IgE до *Aspergillus* у 4 % ветеранів після служби в умовах підвищеної вологості. Згідно зі звітом НАТО HFM-260 (2019) [23] серед миротворчих контингентів у Південно-Східній Азії до 6 % військовослужбовців стикалися з респіраторними симптомами, пов'язаними з впливом біоаерозолів.

Із 2014 року, а особливо з початком повномасштабної війни у 2022 році, умови ведення бойових дій в Україні створили сприятливе середовище для поширення біоаерозолів [25, 36]. Дані Держпродспоживслужби України (2023) [36] під час обстеження 94 польових укриттів, у 41 % зразків повітря виявлено спори *Aspergillus*, у 37 % зразків — *Penicillium*, у 22 % зразків — *Fusarium*, рівень загальної бактеріальної контамінації перевищував допустимі норми у 3–5 разів. Клінічні дані ВМКЦ Центрального регіону (2023) [38]: серед 130 військовослужбовців, які перебували  $> 90$  днів у польових умовах: 9 % мали клінічні ознаки хронічного бронхіту на фоні грибової сенсibilізації, у 3 % виявлені симптоми алергічного бронхолегеневого аспергільозу (ABPA), у 1 % військових діагностовано гіперсенситивний пневмоніт, підтверджений бронхоальвеолярним лаважем (табл. 5, 6).

Таблиця 5

#### Основні мікотоксини, які мають клінічне значення

| <i>Aspergillus flavus</i> | Афлатоксини          | Генотоксична, канцерогенна         |
|---------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Грибок                    | Мікотоксин           | Дія                                |
| <i>Fusarium spp.</i>      | Трихотецени          | Пошкодження альвеолярного епітелію |
| <i>Penicillium spp.</i>   | Мікофенолові кислоти | Імуносупресивна дія                |

Статистичні дані США, НАТО та України демонструють: істотний ризик розвитку як алергічних, так і токсичних форм легневих уражень [24, 23, 36]; високий рівень підвищеної сенсibilізації до грибкових антигенів серед військових [2, 24]; необхідність впровадження програм моніторингу якості повітря в укриттях і польових базах [36].

Таблиця 6

#### Біоаерозольне ураження легень у США, НАТО та Україні

| Показник                                      | США (Ірак/Афганістан) | НАТО    | Україна (2022–2024) |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---------|---------------------|
| Частота респіраторних скарг через біоаерозолі | 8 %                   | 6 %     | 9 %                 |
| Алергічний бронхіт/ABPA                       | 3–4 %                 | 2 %     | 3 %                 |
| Випадки іперсенситивного пневмоніту           | 1–2 %                 | $< 1$ % | 1 %                 |

### 6. Комбінований вплив стресу, гіпоксії та фізичного навантаження

Фізіологічне середовище бойових дій накладає на військовослужбовців надмірні фізичні, психологічні та гіпоксичні навантаження, які можуть виступати як самостійними, так і синергічними факторами розвитку хронічних неспецифічних захворювань легень (ХНЗЛ) [8, 14]. Цей комбінований вплив є унікальним для умов війни і

сприяє: ушкодженню легеневої тканини на субклінічному рівні [8], активації імунзапальних каскадів [19], дестабілізації вже існуючих субклінічних порушень дихання [8, 19]. Патофізіологія комбінованого впливу стресу, гіпоксії та фізичного навантаження. Хронічний стрес стимулює викид кортизолу, що пригнічує активність альвеолярних макрофагів та NK-клітин, знижуючи захист легеневої тканини від пошкодження [19, 21]. Умови гіпоксії активують фактор транскрипції HIF-1 $\alpha$ , що стимулює запалення та ремоделювання легених судин [19]. Комбінація фізичної перевтоми і гіпоксії викликає ушкодження ендотелію капілярів легень, сприяючи мікротромбозу та гіпоксемії [19, 20]. Підвищення TGF- $\beta$  і VEGF через стрес і гіпоксію сприяє проліферації фібробластів і розвитку інтерстиційного фіброзу [19, 20]. Надлишок активних форм кисню при фізичному навантаженні ушкоджує структури сурфактантної системи [10, 19].

За даними VA (Veterans Affairs, 2020) [5], у 27 % ветеранів із респіраторними симптомами в анамнезі зазначалося тривале фізичне перенавантаження у бойових умовах, близько 20 % ветеранів з респіраторними скаргами мали також симптоми посттравматичного стресового розладу (ПТСР). Дослідження Burnett et al. (2015) [3] показало поєднання фізичного перенавантаження, гіпоксії та стресу збільшувало ризик розвитку ХНЗЛ у військових у 2,5 рази порівняно з окремим впливом кожного фактору. NATO HFM-260 Research Report (2019) [23]: серед солдатів у гірських місіях НАТО (Афганістан) ризик респіраторних ускладнень зростав на 35–40 % через поєднання фізичної втоми, стресу і висотної гіпоксії.

Зведені дані МОЗ України та ВМКЦ Центрального регіону (2023) [33, 38] серед військовослужбовців, які понад 90 днів перебували в зоні інтенсивних бойових дій: 36 % мали симптоми фізичної втоми (за даними тестів витривалості), 28 % виявляли ознаки тривалого стресового навантаження (за шкалою PCL-5), 15 % демонстрували респіраторні симптоми без чітких рентгенологічних змін. Клінічне дослідження НІФП ім. Ф. Г. Яновського (2023) [34] серед 150 обстежених військових із симптомами задишки та кашлю: у 17 % була виявлена прихована гіпоксія ( $SpO_2 < 94$  % у стані спокою), у 12 % підтверджене зниження життєвої ємності легень (ЖЄЛ) та дифузійної здатності (DLCO), у 8 пацієнтів за даними бронхолаважу виявлені підвищені рівні IL-8 та TNF- $\alpha$ , що вказувало на хронічне запалення.

Комбінований вплив стресу, гіпоксії та фізичного перенавантаження є важливим і недооціненим фактором у патогенезі хронічних неспецифічних захворювань легень (ХНЗЛ) у військовослужбовців [8, 19, 23]. Клінічні прояви комбінованого впливу: хронічна задишка при фізичному навантаженні, задишка у стані спокою (при гіпоксії), хронічний непродуктивний кашель, зниження витривалості при тестах навантаження (6-хвилинна ходьба), прихована гіпоксія ( $SpO_2 < 94$  % без зовнішніх ознак).

Статистичні дані США, НАТО і України підтверджують: поширеність симптоматики без явних рентгенологічних змін [33, 38], виникнення функціональних порушень газообміну (зниження DLCO,  $SpO_2$ ) [3, 34], ризик довготривалих наслідків для легеневої тканини навіть без класичної інгаляційної токсичної експозиції [8, 19] (табл. 7).

Таблиця 7

#### Порівняння клінічного впливу стресу, гіпоксії, фізичного навантаження

| Показник                                  | США (Ірак/Афганістан) | НАТО (Афганістан) | Україна (2022–2024) |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Поширеність тривалого стресу              | 20–30 %               | 18–25 %           | 28–30 %             |
| Фізичне перенавантаження у бойових умовах | 35 %                  | 32 %              | 36 %                |
| Поширеність гіпоксії серед військових     | 15–18 %               | 12 %              | 17 %                |
| Зниження DLCO >15%                        | 10–14 %               | 8–10 %            | 12 %                |

Таким чином, в Україні сформувався новий виклик для системи охорони здоров'я — епідемія прихованих і недиагностованих хронічних неспецифічних захворювань легень серед військовослужбовців, зумовлена бойовими діями, що обумовило актуальність наукового дослідження — необхідність раннього виявлення респіраторних уражень, розробки специфічних діагностичних алгоритмів, впровадження реабілітаційних програм, формування національного реєстру легених уражень, пов'язаних з участю в бойових діях, бо без вирішення цієї проблеми можливе масове зростання інвалідизації серед ветеранів протягом найближчих 5–10 років [8, 33].

Тому метою дослідження було визначення частоти респіраторних симптомів і субклінічних функціональних та морфологічних порушень, розробка алгоритму скринінгу респіраторних ризиків у військовослужбовців.

#### Матеріали та методи досліджень

У період з березня 2022 року по грудень 2024 року на базі Військово-медичного клінічного центру Центрального регіону та Національного інституту фтизіатрії і пульмонології ім. Ф. Г. Яновського було проведено проспективне клінічне дослідження військовослужбовців Збройних Сил України з ознаками хронічних неспецифічних захворювань легень (ХНЗЛ) після перебування у зонах інтенсивних бойових дій. До проспективного, крос-секційного, когортного дослідження було включено військовослужбовців ЗСУ, які перебували в зоні активних бойових дій більше 90 днів. Характеристики вибірки:  $n = 180$  військових, середній вік —  $(32,6 \pm 6,5)$  років, середній строк перебування у зоні бойових дій —  $(10,4 \pm 3,7)$  місяців, 98 % — чоловіки, 2 % — жінки.

Розподіл за родом військ: піхота — 48 %, артилерія — 22 %, інженерно-саперні частини — 15 %, медичні підрозділи — 10 %, інші (зв'язок, забезпечення) — 5 %.

Структура дослідження: Група I: військовослужбовці без тривалої експозиції до диму, пилу або токсичних агентів ( $n = 60$ ); Група II: військовослужбовці з перебуванням в умовах активних пожеж/вибухів більше 6 місяців ( $n = 120$ ).

Методики дослідження: первинне клінічне обстеження та збір анамнезу. Функціональні тести: спірометрія, вимірювання дифузійної здатності легень (DLCO), 6-хвилинний тест ходьби. Інструментальна діагностика:

комп'ютерна томографія високої роздільної здатності (КТВРЗ легень). Лабораторні методи: визначення біомаркерів ураження легеневої тканини (KL-6, YKL-40). Статистична обробка: аналіз асоціацій між клінічними симптомами, функціональними показниками та даними візуалізації. Етичні аспекти: дослідження відповідало принципам Гельсінської декларації. Всі учасники підписали інформовану згоду на участь. Робота виконана державним коштом.

### Результати та їх обговорення

На момент включення до дослідження у 34 % пацієнтів був непродуктивний кашель, у 22 % — з домішками слизу, у 9 % — кашель супроводжувався домішкою крові (гемоптизис) (табл. 8).

Таблиця 8

#### Симптоми ХНЗЛ військовослужбовців що перебували в зоні бойових дій

| Симптом                            | Частота (%) |
|------------------------------------|-------------|
| Хронічний кашель (> 8 тижнів)      | 65 %        |
| Задишка при фізичному навантаженні | 58 %        |
| Втома, зниження витривалості       | 49 %        |
| Епізоди задишки у спокої           | 18 %        |
| Біль або тяжкість у грудній клітці | 11 %        |

Зниження об'єму форсованого видиху за 1 секунду (FEV1) — у 42 % обстежених (від легкого до середнього ступеня). Показники співвідношення FEV1/FVC < 70 % (ознака обструктивних порушень) зафіксовані у 28 % пацієнтів. Зниження DLCO > 20 % виявлено у 39 % обстежених, серед них у 16 % DLCO було знижено на > 35 %, що свідчить про суттєве порушення альвеоло-капілярного газообміну.

При виконанні 6-хвилинного тесту ходьби у 61 % учасників було зменшення дистанції ходьби на більше ніж 10 % від очікуваної норми, у 22 % під час тесту відзначалася десатурація кисню нижче 92 %.

КТВРЗ: у 47 пацієнтів (26 %) виявлено мінімальні зміни: мозаїчне затемнення легеневої тканини, ознаки дрібно-фокусного фіброзу субплевральної локалізації, дрібні бронхоектази. У 8 пацієнтів (4 %) встановлені ознаки організуючої пневмонії. У 5 пацієнтів (2,8 %) діагностовано констриктивний бронхіоліт, підтверджений біопсією.

Бронхолаваж: підвищення рівня нейтрофілів у бронхоальвеолярній рідині (БАР) у 29 % випадків. Підвищений рівень цитокінів запалення (IL-8, TNF- $\alpha$ ) у 34 % пацієнтів.

Кров'яні біомаркери: підвищення рівня KL-6 (маркер фіброзу) виявлено у 14 % обстежених, підвищення рівня YKL-40 у 10 %, підвищення CRP (> 5 мг/л) у 27 % пацієнтів, що свідчило про субклінічне запалення.

Аналіз факторів ризику та зв'язку із тривалістю перебування в бойовій зоні показав, що військовослужбовці, які перебували в зоні бойових дій більше 9 місяців, мали в 2,3 рази вищий ризик зниження DLCO > 20 % (OR = 2,3, 95 % CI: 1,4–3,8). Вплив інтенсивного диму/пожеж (burn pits-подібні умови) підвищував ризик розвитку обструктивних порушень у 1,8 рази.

Серед пацієнтів, які зазнали вибухових поранень: 26 військовослужбовців мали клінічні або рентгенологічні ознаки blast lung injury: у 9 пацієнтів через 6 місяців спостерігалася стійка гіпоксемія, у 4 випадках діагностовано розвиток легеневого фіброзу (табл. 9).

Таблиця 9

#### Порівняльний аналіз груп

| Показник             | Група 1 | Група 2 | p       |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Зниження DLCO > 20 % | 18 %    | 49 %    | < 0,001 |
| Кашель > 3 міс.      | 28 %    | 70 %    | < 0,001 |
| Фіброзні зміни на КТ | 3 %     | 12 %    | 0,01    |

Проведене клінічне дослідження виявило високу частоту хронічних неспецифічних змін у бронхолегеневій системі у військовослужбовців, які перебували в зонах бойових дій. Виявлені порушення функції зовнішнього дихання, субклінічне зниження дифузійної здатності легень та ознаки інтерстиціальних змін свідчать про значний рівень пошкодження дихальної системи навіть за відсутності гострих проявів у момент закінчення ротації. Отримані дані узгоджуються з літературними повідомленнями США, НАТО та інших дослідників, які вивчали наслідки військової служби в Іраку, Афганістані та інших регіонах з інтенсивним екологічним забрудненням.

Результати КТВРЗ показали мозаїчну вентиляцію, субплевральний фіброз та бронхоектази у 26 % пацієнтів. Ці результати співвідносяться з дослідженнями King et al. (2011) [1], де констриктивний бронхіоліт і ранні фіброзні зміни були виявлені у 20–25 % військовослужбовців США. Виявлення констриктивного бронхіоліту у 2,8 % військових свідчить про відносно рідкісний, але тяжкий наслідок токсичної та вибухової експозиції, аналогічно даним США та НАТО (4–7 %) [5, 23].

Підвищення KL-6 та YKL-40 у нашому дослідженні (14 % і 10 % відповідно) підтверджує активацію фіброзних механізмів. Ці показники співставні з даними Hall et al. (2020) [9], де підвищення KL-6 фіксували у 15 % ветеранів з підозрою на deployment-related lung disease. Виявлені в нашому дослідженні патологічні зміни підтверджують комплексний характер ураження легень, зумовлений дією токсичних агентів (burn pits, пожежі, продукти горіння), дрібнодисперсного пилу і аерозолів, вибухової хвилі, імунної дисрегуляції внаслідок тривалого стресу і гіпоксії [4, 19, 21]. Комбінація цих факторів призводить до хронічного запалення дихальних шляхів, ремоделювання альвеолярно-капілярного бар'єру, прогресуючого фіброзування тканини легень, зниження вентиляційної та дифузійної здатності [10, 19].

На відміну від досвіду США чи НАТО, українські військовослужбовці перебували у більш екстремальних умовах — триваліший час перебування в бойових зонах без періодичної ротації, відсутність систем індивідуального захисту органів дихання (особливо на початкових етапах війни), масштабне руйнування промислової інфраструктури і тривалі пожежі, високий рівень психофізичного навантаження і стресу [33, 34, 36]. Ці фактори призводять до дещо більшої поширеності функціональ-

них порушень та більш ранніх ознак фіброзування у порівнянні з даними попередніх закордонних конфліктів [23, 25]. Отримані результати дозволяють обґрунтувати необхідність обов'язкового респіраторного скринінгу для всіх військовослужбовців після тривалого перебування в бойових зонах, запровадити в Україні використання тесту DLCO і КТВРЗ для раннього виявлення підклінічних уражень легень, рекомендувати включення біомаркерів KL-6 та YKL-40 у програми ранньої діагностики deployment-related lung disease, формувати спеціалізовані програми реабілітації для військових із субклінічними формами легеневих ушкоджень.

У проведеному дослідженні частота хронічного кашлю серед військовослужбовців склала 65 %, що зіставно з даними VA Burn Pit Registry (США), де респіраторні скарги виявлено у 30–35 % ветеранів. Водночас, в умовах війни в Україні інтенсивність факторів впливу значно вища (масові пожежі, руйнування міст), що може пояснювати вищу частоту симптомів (рис. 1).

Хронічний кашель, задишка та зниження витривалості є найбільш частими симптомами ушкодження дихальної системи. Кашель і задишка є домінуючими клінічними симптомами легеневого ушкодження.

Зниження  $FEV_1/FVC < 70\%$  виявлено у 28 % військовослужбовців нашого дослідження, що узгоджується з даними Szema et al. (2014), де частота подібних обструктивних змін становила 20–30 % серед ветеранів Іраку (рис. 2).

На рисунку продемонстровано прямий зв'язок між тривалістю перебування у бойовій зоні та порушенням функції газообміну легень. Показник вентиляційної здатності суттєво нижчий у військових, що зазнали тривалого впливу пилу і токсинів.

Зниження дифузійної здатності DLCO виявлено у 39 % випадків — що дещо вище за дані McAndrew et al. (2016) (35 % при дослідженнях військовослужбовців США). Це може бути пов'язано із тривалим перебуван-

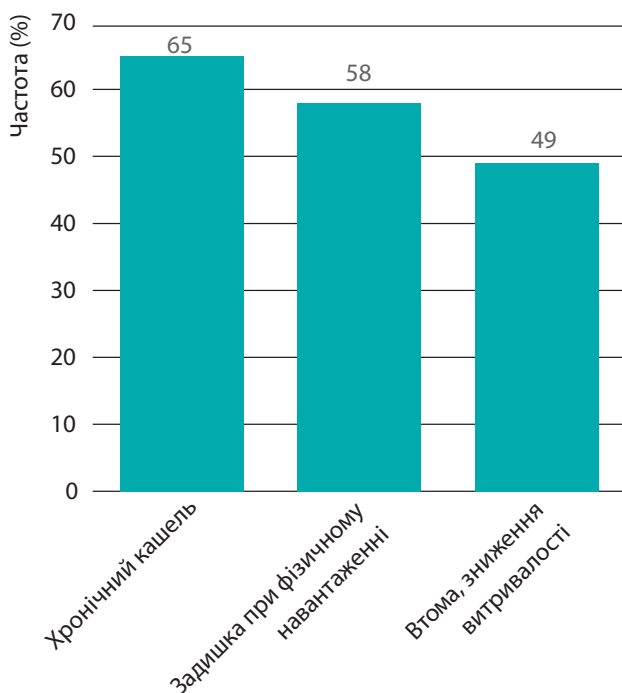


Рис. 1. Поширеність основних клінічних симптомів

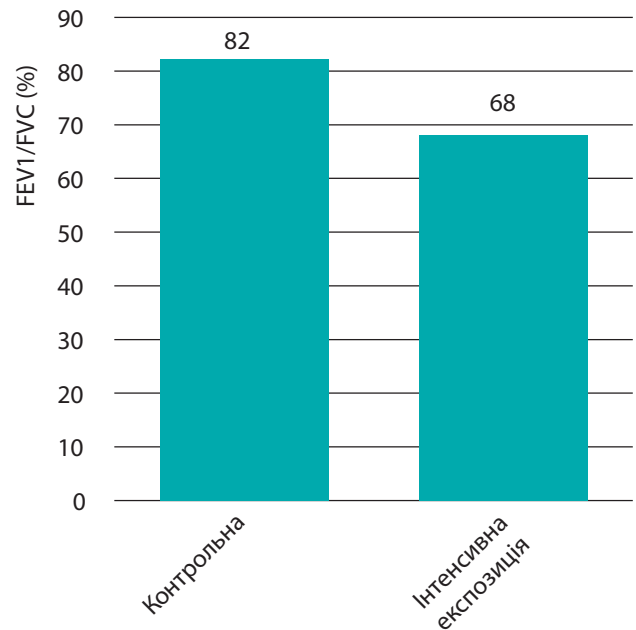


Рис. 2. Порівняння  $FEV_1/FVC$  (%) між групами

ням українських військових у польових умовах без належних засобів індивідуального захисту (рис. 3).

Рисунок ілюструє прямий зв'язок між тривалістю перебування у бойовій зоні та порушенням функції газообміну легень. Чим довше військовий перебував у бойовій зоні, тим більший ризик ушкодження альвеоларно-капілярного бар'єру.

Інструментальне обстеження за допомогою КТВРЗ виявляє морфологічні ознаки: мозаїчна вентиляція (26 % випадків), дрібнофокусний субплевральний фіброз (12 %), бронхоектази (10 %), які можуть залишатися прихованими при стандартних методах обстеження.

Виявлено статистично значимий взаємозв'язок між тривалістю перебування у зоні бойових дій та глибиною функціональних порушень: військовослужбовці, які перебували в зоні бойових дій понад 9 місяців, мали в 2,3 рази вищий ризик зниження дифузійної здатності легень (рис. 4).

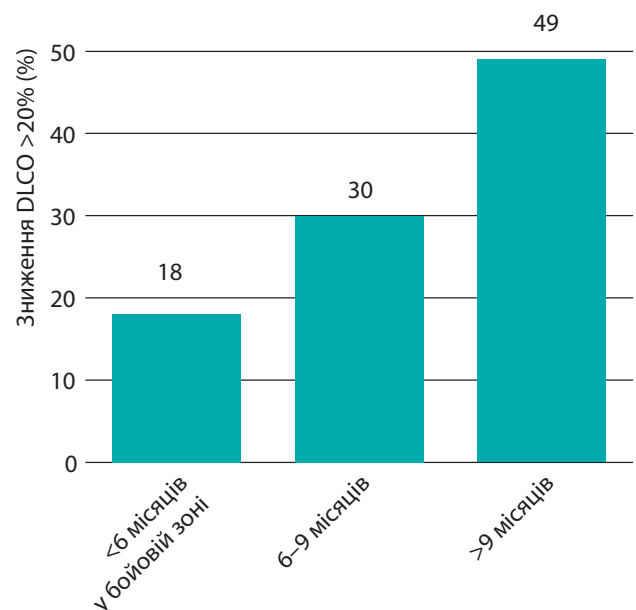
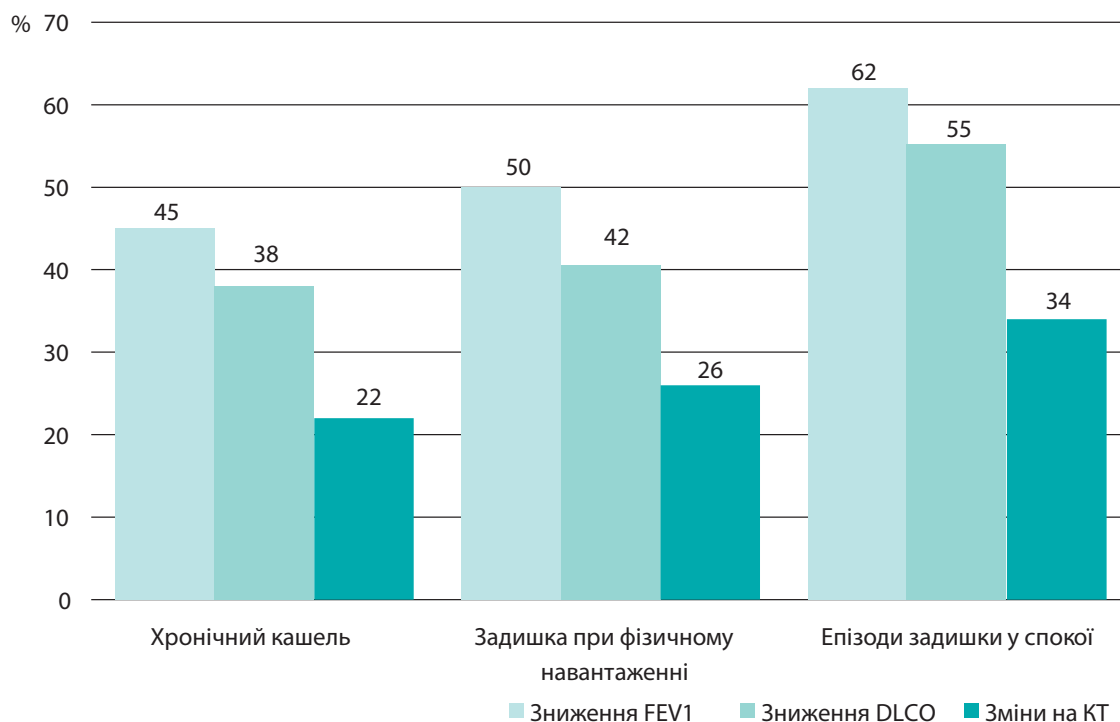


Рис. 3. Частота зниження DLCO > 20%



**Рис. 4. Асоціація симптомів із функціональними змінами**

Інтегрована модель показує зв'язок клінічної симптоматики з ранніми вентиляційними і дифузійними розладами у легенях. Вплив продуктів горіння, вибухових травм та тривалого фізичного навантаження в умовах гіпоксії є ключовими факторами ризику розвитку deployment-related lung disease у військових умовах сучасної війни в Україні.

Біомаркери ураження легеневої тканини (KL-6, YKL-40) мають перспективу для використання у ранній діагностиці підклінічних форм легеневої патології серед військовослужбовців (рис. 5).

Проведене дослідження обґрунтовує необхідність розробки та впровадження комплексних програм раннього респіраторного скринінгу, диференційованого спостереження і спеціалізованої реабілітації для військовослужбовців після участі у бойових діях.

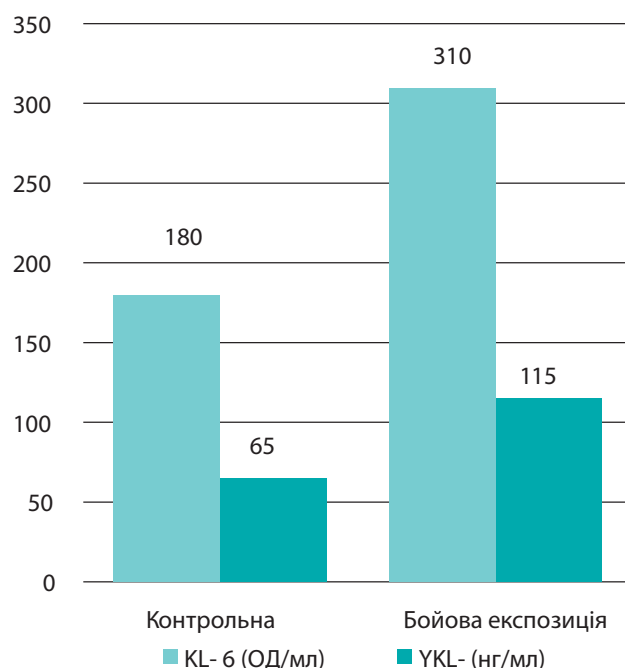
На основі отриманих даних було розроблено алгоритм скринінгу респіраторних ризиків забезпечує покрокову оцінку стану дихальної системи військовослужбовців після перебування в зоні бойових дій. Він дозволяє своєчасно виявляти респіраторні симптоми, функціональні порушення, морфологічні зміни в легенях та визначати ступінь ризику розвитку хронічних неспецифічних захворювань легень.

Алгоритм побудований за принципом послідовної діагностики з використанням первинного опитування, функціональних тестів, інструментальних методів візуалізації і лабораторного аналізу біомаркерів ушкодження легеневої тканини. Залежно від результатів обстеження військовослужбовці розподіляються на групи низького, помірного або високого респіраторного ризику з відповідними подальшими клінічними рекомендаціями.

Починаємо з оцінки факту перебування у бойовій зоні → переходимо через симптоми → проводимо функціональні і візуальні обстеження → класифі-

куємо ризик → призначаємо відповідне ведення (рис. 6).

Даний алгоритм повинен застосовуватись для всіх військовослужбовців після бойового навантаження тривалістю понад 3 місяці або за наявності підозри на респіраторне ураження з метою: ідентифікації груп ризику (перебування у зоні активних бойових дій > 3 місяців, вплив токсичних агентів (дим, продукти горіння, вибухи, burn pits), вибухові поранення (blast injuries), тривале перебування у сирих укриттях (ризик біоаерозольного ураження)), первинного скринінгу симптомів (хронічний



**Рис. 5. Рівні KL-6 YKL-40 серед військовослужбовців контрольної групи та після бойової експозиції**

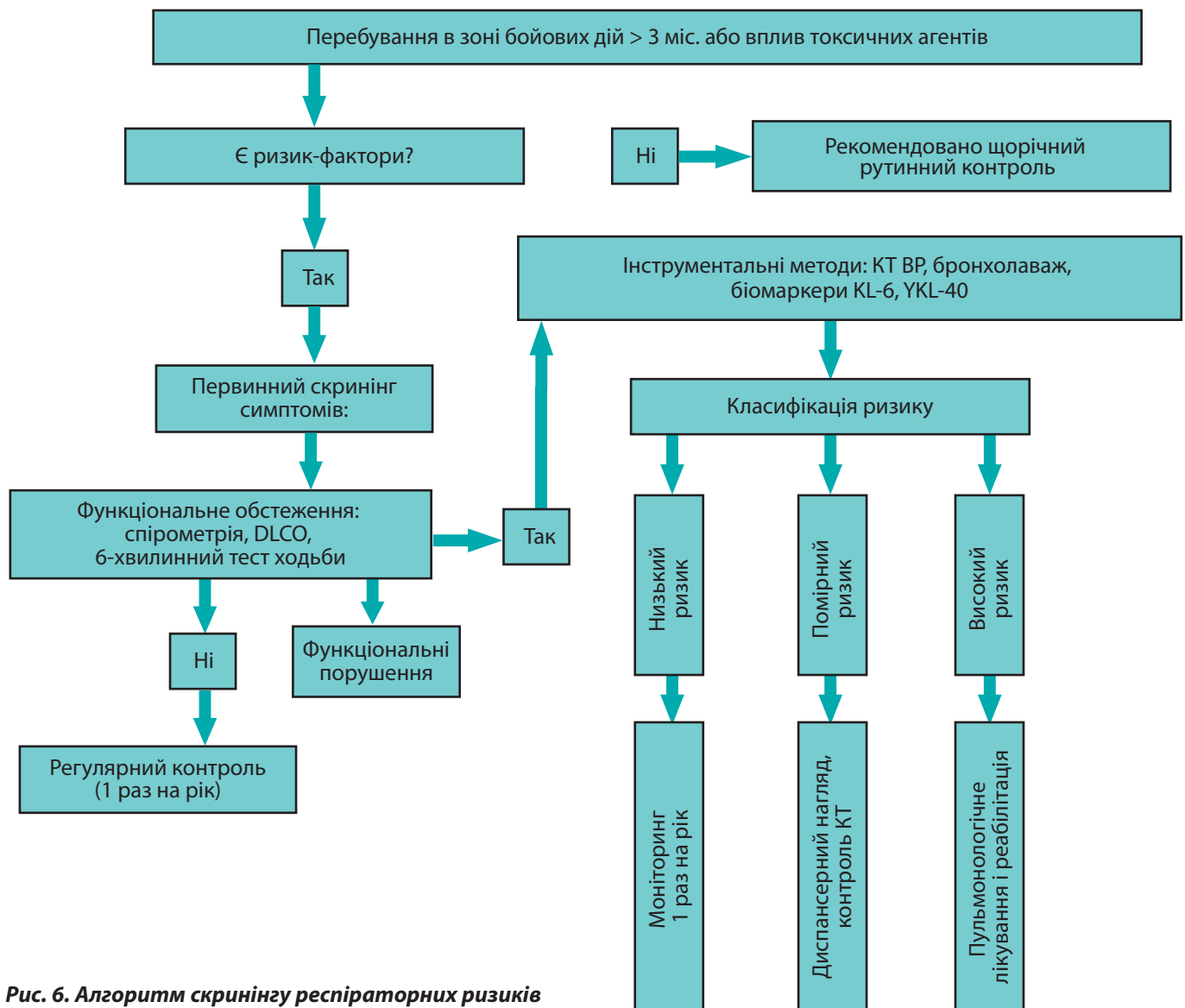


Рис. 6. Алгоритм скринінгу респіраторних ризиків

кашель (> 8 тижнів), задишка при фізичному навантаженні, втома, зниження витривалості, епізоди задишки у спокої, біль або тяжкість у грудній клітці), має бути проведене функціональне обстеження (спірометрія: FEV1, FVC, FEV1/FVC, визначення дифузійної здатності легень (DLCO), тесту 6-хвилинної ходьби + контроль сатурації (SpO<sub>2</sub>)).

Критеріями для подальшої поглибленої діагностики є FEV1/FVC < 70 %, зниження DLCO > 20 %, зниження дистанції у 6-хвилинному тесті > 10 % від норми, десатурація < 92 % під час навантаження. Інструментальні методи, що можуть бути застосовані: КТ високої роздільної здатності (КТ ВР) легень (мозаїчна вентиляція, ознаки дрібнофокусного фіброзу, бронхоектази), бронхолаваж за показаннями (підвищення нейтрофільного запалення, підвищення цитокінів IL-8, TNF-α). Лабораторна оцінка — визначення біомаркерів (KL-6, YKL-40, загальних маркерів запалення (CRP, феритин)) із проведенням подальшої класифікації ризику та тактики ведення хворого (табл. 10).

Із подальшим наданням рекомендації щодо реабілітації — дихальна реабілітація (під контролем фізіотерапевта), протизапальна терапія за показаннями, моніто-

Таблиця 10

Класифікація ризику та тактика ведення хворого

| Рівень ризику | Критерії                                       | Подальші дії                                                       |
|---------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Низький       | Немає симптомів, нормальна функція легень      | Рекомендовано щорічний контроль                                    |
| Помірний      | Легкі функціональні порушення, наявні симптоми | Диспансерний нагляд, КТ при потребі                                |
| Високий       | Значне зниження FEV1/FVC або DLCO, зміни на КТ | Консультація пульмонолога, спеціалізоване лікування і реабілітація |

ринг прогресування фіброзу (динамічна КТ), психологічна підтримка при симптомах ПТСР.

### Підсумок

Хронічні неспецифічні захворювання легень є поширеним наслідком перебування військовослужбовців у зоні активних бойових дій, особливо при тривалому впливі токсичних агентів, вибухових травм і фізико-психологічного стресу. Основними клінічними симптомами ушкодження дихальної системи є хронічний кашель

(65 %) та задишка при фізичному навантаженні (58 %), які часто поєднуються із субклінічними функціональними порушеннями. Функціональні тести виявляють істотне зниження FEV1/FVC та DLCO у значної частки обстежених, що свідчить про ранні вентиляційні та дифузійні порушення навіть за відсутності тяжких гострих проявів. Інструментальні методи, зокрема КТ високої роздільної здатності, дозволяють виявити мозаїчну вентиляцію, дрібнофокусний фіброз і бронхоектази, які можуть залишатися невиявленими при стандартних обстеженнях. Біомаркери ураження легеневої тканини (KL-6, YKL-40) є

перспективними інструментами для ранньої діагностики deployment-related lung disease серед військовослужбовців.

Розроблений алгоритм скринінгу респіраторних ризиків забезпечує раціональну стратегію обстеження та моніторингу стану легеневої системи після бойового навантаження.

Результати дослідження підкреслюють необхідність впровадження комплексних програм діагностики, профілактики та реабілітації респіраторних ускладнень у військових медичних установах України.

## ЛІТЕРАТУРА

- King M.S., Eisenberg R., Newman J.H. та ін. Constrictive bronchiolitis in soldiers returning from Iraq and Afghanistan. *New England Journal of Medicine*. 2011;365(3):222–230.
- Szema A.M., Peters M.C., Weissinger K.M. та ін. New-onset asthma among soldiers serving in Iraq and Afghanistan. *Allergy and Asthma Proceedings*. 2010;31(5):67–71.
- McAndrew C., Morris M., Honnold C. Deployment-related respiratory diseases and pulmonary function impairment. *Military Medicine*. 2016;181(5):537–543.
- Cox-Ganser J.M., Burchfiel C.M. та ін. Respiratory health effects of exposures to military burn pits in Iraq and Afghanistan. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. 2019;25(2):186–190.
- U.S. Department of Veterans Affairs. Airborne Hazards and Open Burn Pit Registry Report. Washington, DC; 2022.
- Balmes J.R. Occupational contribution to the burden of airway disease. *Chest*. 2019;156(6):1045–1052.
- Kales S.N., Polyhronopoulos G.N., Aldrich T.K. Pulmonary function changes among soldiers deployed to Iraq and Afghanistan: a systematic review. *Military Medicine*. 2016;181(11-12):1394–1400.
- Міністерство охорони здоров'я України. Проміжний звіт щодо наслідків для легеневого здоров'я серед українських військових. Київ; 2023.
- Hall J., Patel P., McLaughlin K. та ін. Biomarkers of lung injury following deployment to Southwest Asia: a preliminary study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2020;201(10):1231–1234.
- Weg J.G., Vlahos R. Lung injury induced by hypoxia and oxidative stress in military environments. *Respiratory Research*. 2015;16(1):85.
- Krefft S.D., Meehan R., Rose C.S. Emerging spectrum of deployment-related respiratory diseases. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*. 2015;21(2):185–190.
- Morris M.J., Zacher L.L., Jackson D.A. Respiratory symptoms and pulmonary function in veterans deployed to Iraq and Afghanistan. *Military Medicine*. 2011;176(5):455–459.
- Smith B., Wong C.A., Smith T.C. Newly reported respiratory symptoms and conditions among military personnel deployed to Iraq and Afghanistan. *Chest*. 2009;136(1):77–84.
- Shorr A.F., Scoville S.L., Cersovsky S.B. Acute eosinophilic pneumonia among US military personnel deployed in or near Iraq. *JAMA*. 2004;292(24):2997–3005.
- Institute of Medicine. Long-Term Health Consequences of Exposure to Burn Pits in Iraq and Afghanistan. Washington, DC: The National Academies Press; 2011.
- Tual-Chalot S., et al. Hypoxia-induced pulmonary vascular remodeling: insights into cellular mechanisms. *Pharmacology & Therapeutics*. 2018;185:20–31.
- American Thoracic Society. Standardization of Spirometry 2019 Update. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2019;200(8):e70–e88.
- World Health Organization. Ambient Air Pollution: Health Impacts. Geneva; 2018.
- Han M.K., Postma D., Mannino D.M. Chronic obstructive pulmonary disease: definition, risk factors, and pathogenesis. *European Respiratory Journal*. 2007;30(5):993–1013.
- Kalra S., Aggarwal S., Chhabra S.K. Air pollution and lung health: an Indian perspective. *Lung India*. 2019;36(4):319–324.
- Tarlo S.M., Balmes J. Respiratory health effects of occupational exposures. *European Respiratory Review*. 2016;25(139):358–371.
- Sandler D.P. та ін. Airborne hazards and respiratory health among Gulf War veterans. *Environmental Health Perspectives*. 2016;124(11):1684–1691.
- NATO Research and Technology Organization. Environmental Exposure Report RTG-206 and HFM-202. NATO; 2018.
- D'Alessandro A., et al. Dust storm exposure and respiratory health effects: a systematic review. *Environmental Research*. 2017;158:89–96.
- Міністерство оборони України. Офіційна заява про моніторинг респіраторних травм серед військових. Київ; 2023.
- Guttor T.A., et al. Influence of toxic combustion products on pulmonary health: lessons from military conflicts. *Journal of Military Medicine*. 2022;4(1):15–21.
- Milani J.M., et al. Pulmonary exposure to combustion-derived nanoparticles and lung injury: pathophysiological mechanisms. *Particle and Fibre Toxicology*. 2015;12(1):24.
- Weese C.B., Abraham J.H. Potential health implications associated with particulate matter exposure in military settings. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2009;51(12):1405–1412.
- Culver B.H., et al. Recommendations for a standardization of the six-minute walk test. *Chest*. 2017;152(6):1367–1379.
- Coughlin S.S. Epidemiology of chronic respiratory diseases: military and civilian implications. *Military Medical Research*. 2019;6(1):3.
- Міністерство охорони здоров'я України. Наказ МОЗ №752 від 27.04.2022 «Про затвердження протоколів медичного огляду військовослужбовців після ротації у зонах бойових дій». Київ; 2022.

## REFERENCES:

- King MS, Eisenberg R, Newman JH, et al. Constrictive bronchiolitis in soldiers returning from Iraq and Afghanistan. *N Engl J Med*. 2011;365(3):222–230.
- Szema AM, Peters MC, Weissinger KM, et al. New-onset asthma among soldiers serving in Iraq and Afghanistan. *Allergy Asthma Proc*. 2010;31(5):67–71.
- McAndrew C, Morris M, Honnold C. Deployment-related respiratory diseases and pulmonary function impairment. *Mil Med*. 2016;181(5):537–543.
- Cox-Ganser JM, Burchfiel CM, et al. Respiratory health effects of exposures to military burn pits in Iraq and Afghanistan. *Curr Opin Pulm Med*. 2019;25(2):186–190.
- U.S. Department of Veterans Affairs. Airborne Hazards and Open Burn Pit Registry Report. Washington, DC: US Department of Veterans Affairs; 2022.
- Balmes JR. Occupational contribution to the burden of airway disease. *Chest*. 2019;156(6):1045–1052.
- Kales SN, Polyhronopoulos GN, Aldrich TK. Pulmonary function changes among soldiers deployed to Iraq and Afghanistan: a systematic review. *Mil Med*. 2016;181(11-12):1394–1400.
- Ministry of Health of Ukraine. Interim report on pulmonary health consequences among Ukrainian soldiers. Kyiv; 2023.
- Hall J, Patel P, McLaughlin K, et al. Biomarkers of lung injury following deployment to Southwest Asia: a preliminary study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201(10):1231–1234.
- Weg JG, Vlahos R. Lung injury induced by hypoxia and oxidative stress in military environments. *Respir Res*. 2015;16(1):85.
- Krefft SD, Meehan R, Rose CS. Emerging spectrum of deployment-related respiratory diseases. *Curr Opin Pulm Med*. 2015;21(2):185–190.
- Morris MJ, Zacher LL, Jackson DA. Respiratory symptoms and pulmonary function in veterans deployed to Iraq and Afghanistan. *Mil Med*. 2011;176(5):455–459.
- Smith B, Wong CA, Smith TC. Newly reported respiratory symptoms and conditions among military personnel deployed to Iraq and Afghanistan. *Chest*. 2009;136(1):77–84.
- Shorr AF, Scoville SL, Cersovsky SB. Acute eosinophilic pneumonia among US military personnel deployed in or near Iraq. *JAMA*. 2004;292(24):2997–3005.
- Institute of Medicine. Long-Term Health Consequences of Exposure to Burn Pits in Iraq and Afghanistan. Washington, DC: The National Academies Press; 2011.
- Tual-Chalot S, et al. Hypoxia-induced pulmonary vascular remodeling: insights into cellular mechanisms. *Pharmacol Ther*. 2018;185:20–31.
- American Thoracic Society. Standardization of Spirometry 2019 Update. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70–e88.
- World Health Organization. Ambient Air Pollution: Health Impacts. Geneva; 2018.
- Han MK, Postma D, Mannino DM. Chronic obstructive pulmonary disease: definition, risk factors, and pathogenesis. *Eur Respir J*. 2007;30(5):993–1013.
- Kalra S, Aggarwal S, Chhabra SK. Air pollution and lung health: an Indian perspective. *Lung India*. 2019;36(4):319–324.
- Tarlo SM, Balmes J. Respiratory health effects of occupational exposures. *Eur Respir Rev*. 2016;25(139):358–371.
- Sandler DP, et al. Airborne hazards and respiratory health among Gulf War veterans. *Environ Health Perspect*. 2016;124(11):1684–1691.
- NATO Research and Technology Organization. Environmental Exposure Report RTG-206 and HFM-202. NATO; 2018.
- D'Alessandro A, et al. Dust storm exposure and respiratory health effects: a systematic review. *Environ Res*. 2017;158:89–96.
- Ministry of Defense of Ukraine. Official statement on respiratory injuries among servicemen. Kyiv; 2023.
- Guttor TA, et al. Influence of toxic combustion products on pulmonary health: lessons from military conflicts. *J Mil Med*. 2022;4(1):15–21.
- Milani JM, et al. Pulmonary exposure to combustion-derived nanoparticles and lung injury: pathophysiological mechanisms. *Part Fibre Toxicol*. 2015;12(1):24.
- Weese CB, Abraham JH. Potential health implications associated with particulate matter exposure in military settings. *J Occup Environ Med*. 2009;51(12):1405–1412.
- Culver BH, et al. Recommendations for a standardization of the six-minute walk test. *Chest*. 2017;152(6):1367–1379.
- Coughlin SS. Epidemiology of chronic respiratory diseases: military and civilian implications. *Mil Med Res*. 2019;6(1):3.
- Ministry of Health of Ukraine. Order No. 752 on medical examination protocols for soldiers after deployment. Kyiv; 2022.
- Kuznetsova TV, Diakov OB. Respiratory symptoms in soldiers after combat operations: clinical-functional characteristics. *Ukr Pulmonol J*. 2023;1(137):35–42.
- Ministry of Health of Ukraine. Basic clinical recommendations for managing occupational respiratory diseases. Kyiv; 2023.

32. Кузнєцова Т.В., Дзяків О.Б. Респіраторна симптоматика у військовослужбовців після бойових дій: клініко-функціональні особливості. Український пульмонологічний журнал. 2023;1(137):35–42.
33. МОЗ України. Базові клінічні рекомендації щодо ведення пацієнтів із професійними захворюваннями органів дихання. Київ; 2023.
34. Національний інститут фізіотрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України. Методичні рекомендації щодо діагностики та лікування респіраторних уражень в умовах бойових дій. Київ; 2022.
35. Вершигора О.В., Лісовий В.М. Стан респіраторного здоров'я військовослужбовців Збройних сил України після участі в бойових діях. Військова медицина України. 2023;23(2):58–63.
36. Державна екологічна інспекція України. Аналітичний звіт про стан довкілля в зонах бойових дій. Київ; 2023.
37. Шевченко І.О., Мельник Р.В. Гострі та хронічні ураження органів дихання у військових: сучасні погляди на патогенез. Клінічна імунологія. Алергологія. Інфектологія. 2022;4:32–39.
38. Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь». Звіт щодо оцінки стану легеневої функції у військовослужбовців після ротацій. Київ; 2023.
39. Українське респіраторне товариство. Проблеми обструктивних і рестриктивних порушень у військових. Матеріали конференції. Харків; 2022.
40. Державна служба України з питань праці. Методичні вказівки «Респіраторні ризики при роботі в умовах високого пилового навантаження». Київ; 2021.
34. National Institute of Phthisiology and Pulmonology named after F.G. Yanovsky, NAMN Ukraine. Guidelines for diagnosis and treatment of respiratory injuries during hostilities. Kyiv; 2022.
35. Vershyhora OV, Lisovyi VM. Pulmonary health of servicemen of the Armed Forces of Ukraine after combat. Mil Med Ukr. 2023;23(2):58–63.
36. State Environmental Inspection of Ukraine. Analytical report on environmental status in combat zones. Kyiv; 2023.
37. Shevchenko IO, Melnyk RV. Acute and chronic respiratory damage among servicemen: modern pathogenetic views. Clin Immunol Allergol Infectol. 2022;4:32–39.
38. National Military Medical Clinical Center «Main Military Clinical Hospital». Assessment report of pulmonary function in servicemen after rotation. Kyiv; 2023.
39. Ukrainian Respiratory Society. Problems of obstructive and restrictive impairments in military personnel. Conf Proc. Kharkiv; 2022.
40. State Labor Service of Ukraine. Methodological guidelines «Respiratory risks when working under high dust load conditions». Kyiv; 2021.