

## **ВПЛИВ МІННО-ВИБУХОВИХ ТРАВМ НА СЛУХОВУ ТА ВЕСТИБУЛЯРНУ СИСТЕМУ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ**

**К.С. Саражина**

Одеський національний медичний університет Міністерства охорони здоров'я України, м. Одеса, Україна

**Ключові слова:** мінно-вибухова травма, тинітус, військовослужбовці.

Буковинський медичний вісник. 2025. Т. 29, № 1 (113). С. 138-142.

**DOI:** 10.24061/2413-0737.29.1.113.2025.21

**E-mail:**  
katasarazina@gmail.com



**Резюме. Мета дослідження** – аналіз даних літератури щодо впливу мінно-вибухових травм (МВТ) на слухову та вестибулярну системи військовослужбовців, дослідження механізмів ушкоджень та їхнього впливу на функціональний стан і якість життя. Проведено бібліосистематичний огляд наукової літератури за базою даних PubMed, Scopus та Web of Science щодо впливу вибухових хвиль і шуму на слухову та вестибулярну системи.

### **Висновки**

Проаналізовано дані літератури щодо впливу МВТ на слухову та вестибулярну системи військовослужбовців. Виявлено, що МВТ викликають порушення у вигляді тинітусу, втрати слуху та рівноваги, що негативно впливають на нейрокогнітивні та психоемоційні функції. Тинітус, втрата слуху та порушення рівноваги знижують якість життя, потребуючи вдосконалення методів діагностики й реабілітації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на глибше вивчення механізмів впливу МВТ на військовослужбовців та впливу порушень системи слуху на нейрокогнітивні та психоемоційні домени. Особливу увагу слід приділити вдосконаленню методів діагностики, розробці індивідуальних підходів до реабілітації військовослужбовців із травмами слухової та вестибулярної систем та запобігання травматизації.

## **THE IMPACT OF BLAST INJURIES ON MILITARY PERSONNEL'S AUDITORY AND VESTIBULAR SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW**

**K.S. Sarazhyna**

**Key words:** blast injury, tinnitus, military personnel.

Bukovinian Medical Herald. 2025. V. 29, № 1 (113). P. 138-142.

**Resume. Objective** – to analyze literature data on the impact of blast injuries on the auditory and vestibular systems of military personnel, to investigate damage mechanisms and their influence on functional state and quality of life. A bibliosystematic review of scientific literature was conducted using the PubMed Scopus and Web of Science databases to study the effects of blast waves and noise on the auditory and vestibular systems.

### **Conclusions**

The study analyzed literature data on the impact of blast injuries on the auditory and vestibular systems of military personnel. It was found that blast injuries cause impairments such as tinnitus, hearing loss, and balance disorders, which negatively affect neurocognitive and psycho-emotional functions. Tinnitus, hearing loss, and balance disorders reduce quality of life, emphasizing the need for improved methods of diagnosis and rehabilitation.

**Вступ.** Мінно-вибухові травми (МВТ) є одними з найпоширеніших видів бойових ушкоджень, які значно впливають на стан здоров'я військовослужбовців та призводять до розвитку комплексних функціональних обмежень. Згідно з Міжнародною класифікацією функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я, порушення функціонування можуть виникати в шести сферах: когнітивній, руховій, самообслуговуванні, міжособистісній взаємодії, життєвій активності та участі в громадському житті [1,2]. Особливу увагу привертає вплив вибухових хвиль на слухову систему. За даними шкали WHODAS 2.0, суб'єктивне

порушення слуху значно впливає на функціональний стан військовослужбовців [3].

Тинітус визначається як суб'єктивне відчуття шуму без наявного зовнішнього джерела, що викликається різними факторами. Цей стан часто супроводжується зниженням якості життя, когнітивними порушеннями, розладами сну та психоемоційними проблемами [4]. У зв'язку з поширеністю МВТ серед військовослужбовців актуальним є аналіз літератури, спрямований на вивчення механізмів ушкоджень слухової та вестибулярної систем та їхнього впливу на загальний стан військових.

**Мета роботи** - проаналізувати актуальні джерела

## Наукові огляди

літератури щодо впливу МВТ на слухову та вестибулярну системи. Визначити патофізіологічні механізми розвитку порушень слуху та рівноваги. За допомогою бази даних PubMed, Scopus, Web of Science здійснено бібліосистематичний огляд джерел наукової інформації та аналіз матеріалів щодо впливу МВТ на слухову та вестибулярну системи у військовослужбовців.

### Основна частина

Міни, гранатомети та саморобні вибухові пристрої (такі як придорожні бомби чи реактивні гранати) є засобами ураження, що широко застосовуються в умовах гібридної війни та лежать в основі травматизації військовослужбовців [1,4]. Одним із серйозних наслідків є порушення слуху в результаті тривалої дії шуму або через МВТ, де інтенсивність звуку, як правило, перевищує 140 дБ [5].

Вибухові хвилі, які виникають під час таких подій, поділяються на хвилі високого порядку (детонація) та низького порядку (дефлаграція). Детонація характеризується миттєвим потужним вивільненням енергії через хімічні реакції, які розривають молекулярні зв'язки, спричиняючи інтенсивне теплове, електромагнітне, акустичне та світлове випромінювання, утворюючи хвилю Фрідландера. Дефлаграція передбачає повільне вивільнення енергії шляхом горіння з послідовним займанням матеріалів зі швидкістю, нижчою за звукову. Для вибухів цього типу характерна відсутність ударної хвилі та надлишкового тиску, а основним компонентом є матеріали нафтопродуктів [4]. Одне з нещодавніх досліджень показало, що вибухові хвилі викликають більш виражені порушення, ніж вплив лише гучного шуму [6].

Легка закрита ЧМТ може викликати суттєві зміни у вестибуло-кохлеарній системі навіть за відсутності видимих змін у внутрішньому вусі. Цей стан має назву "кохлеарний струс" та супроводжується такими симптомами, як тинітус, запаморочення, порушення рівноваги, втрата слуху або гіперакузія (через дисбаланс між гальмівною та збуджувальними системами). Причинами таких функціональних змін можуть бути: нейрофізіологічні порушення, порушення кровопостачання у структурах внутрішнього вуха та мікротравматизація нервових волокон [7].

Гіпотези виникнення тинітусу включають: гіпотезу центрального посилення, нейрохімічну гіпотезу, гіпотезу депривації, згідно з якою зниження периферичної стимуляції призводить до реорганізації слухових шляхів, та гіпотезу крос-модальної пластичності. Окрім цього, на розвиток тинітусу можуть впливати неслухові фактори: когнітивні порушення після травми та психоемоційні компоненти, тривога та депресія [4].

Тинітус, за даними Управління пільг ветеранів США, є провідною причиною інвалідності серед ветеранів протягом останніх 15 років [8,9]. Крім того, поширеність шуму у вухах серед військових виявилась значно вищою (до 30 разів) порівняно із загальною

популяцією молодих людей віком до 45 років [1,10,11].

Причини виникнення тинітусу можуть бути центральними або периферичними. Периферичні причини включають: деаферентацію (втрата аферентних сигналів від вуха через вплив гучного шуму), призводячи до розбалансування сигналів, що потрапляють у центральні слухові шляхи; втрата функції волоскових клітин та зниження активності слухового нерва. До центральних механізмів відносять: гіперактивність нейронів у вигляді спонтанної нейрональної активності; підвищення їх синхронності в центральних слухових шляхах; крос-модальну пластичність (появу аномальних зв'язків між слуховою та іншими сенсорними системами); реорганізацію тонотопії (перебудову нейрональних мап та заповнення прогалін, що створюють відчуття шуму) [4]. Тинітус значно впливає на функціональний стан, причому найбільший вплив спостерігався в когнітивній сфері (пам'ять та концентрація), комунікаційному, соціальному та життєвому аспектах. У випадках черепно-мозкової травми (ЧМТ), поєднаної з МВТ, а також при наявності порушень психоемоційної сфери (тривожність, депресія) або втраті слуху на високі частоти, функціональний стан був ще гіршим та міг ускладнюватись розвитком посттравматичного стресового розладу [1,3]. Такі функціональні порушення були стійкими та частково зберігались навіть через 12 місяців після травми [12].

Тинітус може передувати втраті слуху, а особи старше 40 років, за даними одного з досліджень, мають понад 80% розвитку проблем зі слухом [8].

У клінічній практиці оцінка шуму у вухах ґрунтується на суб'єктивних методах, таких як самооцінка, візуальні аналогові шкали та спеціалізовані опитувальники [13]. Найпростіші з них передбачають відповіді у форматі «так» або «ні», тоді як більш складні інструменти, такі як Tinnitus Functional Index чи Mini-Tinnitus Questionnaire, дозволяють детальніше оцінити вплив тинітусу на якість життя [10].

Порушення слуху через розвиток кохлеарної нейропатії виникають при позитивному піковому тиску вибухової хвилі не менше за 20 кПа. На сьогодні відсутня остаточна концепція щодо домінування центральних чи периферичних механізмів у розвитку слухових порушень. Ударна хвиля спочатку проходить через зовнішній слуховий прохід, що може спричинити перфорацію барабанної перетинки, втрату кохлеарних волоскових клітин та ексайтотоксичність слухових нейронів [13]. Зміни, що виникають у внутрішньому вусі під час вибуху, пов'язані із втратою кохлеарних синапсів між внутрішніми волосковими клітинами, які активно виділяють ототоксичний глутамат, та слуховими нейронами (кохлеарна синаптопатія), що спричиняє слухову дегенерацію. В одному з експериментальних досліджень встановлено, що до 50% аферентних синапсів можуть бути пошкоджені внаслідок дії вибухових хвиль [7,13]. Додатково під впливом вибухових хвиль виникає демієлінізація в геміноді (ділянка нервового волокна, яка розташована

поблизу місця контакту з волосковою клітиною у завитці). В одному з досліджень було виявлено, що в мишей, які зазнали впливу вибуху, спостерігалось погіршення слуху, викликане дефіцитом синапсів та демієлінізацією. Саме завитка сприймає високочастотні звуки та знаходиться ближче до місця входу ударної хвилі, що робить її більш вразливою до ушкоджень. У міру руху ударної хвилі до верхівки завитки її енергія знижується, тому ділянки, відповідальні за низькочастотні звуки, менш схильні до ушкоджень [13,14]. Вибухова хвиля спричиняє екстремальні коливання барабанної перетинки, а інтенсивний рух стремінця створює механічне перенапруження кортієвого органа. На відміну від тривалого впливу шуму, який поступово призводить до дегенерації волоскових клітин, вибуховий шум викликає миттєві пошкодження, зокрема в зоні базальної мембрани [15]. Розрив барабанної перетинки, спричинений вибухом, значно підвищує ризик розвитку тинітусу [12].

М'язи середнього вуха (стремінцевий м'яз та м'яз, що натягує барабанну перетинку) відіграють захисну роль, зменшуючи рухливість барабанної перетинки та слухових кісточок для захисту вуха від надмірного шуму. Стремінцевий м'яз зменшує передачу звуку з частотою нижче 1 кГц, підвищуючи жорсткість слухових кісточок шляхом рефлексу, що активується через 25-150 мс після дії гучного звуку, що може бути недостатньо швидким для ефективного захисту від раптових інтенсивних шумів [4]. Згідно із сучасними дослідженнями, проведеними в США, рефлекс м'язів середнього вуха наявний у 90% осіб, які відповідають слуховим стандартам військових [16].

Окрім того, вибухові хвилі можуть викликати нейродегенерацію слухового шляху та знижувати активність нейронів центральної нервової системи [13,14]. МВТ викликає зміни в дорсальному кохлеарному ядрі на рівні білків, які відіграють ключову роль у синаптичній пластичності. Так, накопичення білка StBP2 у слуховій корі може призводити до гіперактивності нейронів та адаптивного збільшення кількості ГАМК-рецепторів [6,17]. Дисбаланс між ГАМК та глутаматом у слуховій системі може бути ключовим фактором розвитку тинітусу. У деяких дослідженнях спостерігалось зниження рівня ГАМК у слуховій корі, що спричинило гіперактивність нейронів [5,18].

Оливокохлеарні шляхи (медіальний та латеральний) відіграють ключову роль в адаптивних механізмах слухової системи у відповідь на подразники. Медіальний оливокохлеарний шлях впливає на зовнішні волоскові клітини, знижуючи підсилення звукових хвиль і, відповідно, сприйняття шуму. Це забезпечує адаптацію до постійного низькорівневого шуму. Латеральний оливокохлеарний шлях пов'язаний із внутрішніми волосковими клітинами й активується при звуках низької інтенсивності (10–20 дБ вище слухового порога). Він сприяє відокремленню звукових сигналів на фоні шуму завдяки антимаскуючим механізмам, топдаун

увазі та визначенню напрямку звуку. Активність оливокохлеарного шляху виявляють за допомогою отоакустичних емісій (звукові сигнали, що генеруються внутрішніми волосковими клітинами у відповідь на звуковий стимул), що можуть бути об'єктивно виміряні. Після МВТ зазвичай спостерігається слабкість або відсутність отоакустичних емісій, що свідчить про порушення пригнічуючих ефектів оливокохлеарного шляху. Це проявляється труднощами у розумінні зверненої мови в шумному середовищі [4]. Однак зазвичай частіше повідомляють про порушення сприйняття тихих звуків, ніж про труднощі в розумінні мовлення серед шуму [19]. Військовослужбовці часто страждають від так званої «прихованої втрати слуху», яка не виявляється за допомогою стандартної аудіометрії, але проявляється у вигляді труднощів із розумінням мови в шумному середовищі або складному акустичному середовищі, навіть за нормального порога слуху. Це зумовлено зниженням просторової роздільної здатності та підвищенням порогу чутливості до звуків [7,13,16,19,20,21]. Одне з досліджень показало, що у військовослужбовців вибухи спричиняють втрату слуху особливо на високих частотах [22].

Нещодавні дослідження показали, що використання засобів індивідуального захисту слуху може мати протективний вплив щодо виникнення порушень слуху, ймовірно завдяки зменшенню вивільнення глутамату та зниженню впливу зовнішніх подразників, не впливаючи на центральні механізми слухової нейродегенерації. Однією з причин відсутності центральної компенсації при використанні засобів індивідуального захисту слуху виникає лише мінімальна периферійна патологія, якої недостатньо для активації адаптивних процесів у центральній нервовій системі (ЦНС) [5,6,13]. Попри використання засобів індивідуального захисту слуху, вибухові хвилі можуть проникати в ЦНС шляхом кісткової провідності не тільки через отвори черепа, але й трансторакально [4,13]. Водночас багато військовослужбовців не використовуює засоби індивідуального захисту вух на полі бою для збереження достатнього рівня концентрації та повноцінного сприйняття навколишнього середовища. Дослідження показують, що військовослужбовці, які не використовували засобів індивідуального захисту слуху, мали більш виражені порушення слуху. Серед різних родів військ найвищу частоту порушень слуху виявлено у військово-морського флоту, де вона становила 83,3% [9,12]. На сьогодні існують як пасивні засоби індивідуального захисту слуху, такі як шумозалежні беруші, що приглушують звуки різної інтенсивності, так і активні методи, які використовують спеціальні алгоритми для приглушення шуму [24]. Дослідження на тваринах показали, що навіть за умови використання засобів захисту слуху, порушення слуху у вигляді підвищення порогу сприйняття звуку на високих частотах (на 10-20 дБ) спостерігались до трьох місяців [6].

Аудіографія використовується для об'єктивної

## Наукові огляди

оцінки порушення слуху. В одному з досліджень після вибуху виявили, що тільки 28,6 % постраждалих мали нормальні показники аудіограми. Основні порушення включали високочастотну сенсоневральну приглухуватість, наявність шумів у результатах аудіограми та пласку форму аудіограми [13].

МБТ негативно впливає й на вестибулярну систему та призводить до порушення рівноваги, запаморочення [4]. Протягом першої доби після вибуху спостерігалось зниження чутливості та спонтанної активності аферентних структур вестибулярної системи, що супроводжувалося ослабленням вестибулоокулярного рефлексу [23]. Запаморочення наявне у 34-50% пацієнтів із легкою ЧМТ із МБТ, що може зберігатися

навіть за 5 років після травми [7]. Водночас інші дослідження свідчать про поступове зменшення симптомів із часом [21]. Військовослужбовці, які отримали ЧМТ внаслідок МБТ частіше повідомляли про сильний головний біль, запаморочення, проблеми з пам'яттю ніж ті, хто отримав ЧМТ не внаслідок МБТ, а порушення спостерігались протягом шести місяців та довше, інколи навіть підсилюючись із часом [19,24,25].

### Висновки

Проаналізовані дані літератури підтвердили суттєвий вплив мінно-вибухових травм на слухову та вестибулярну системи військовослужбовців. Зокрема, порушення слуху, такі як тинітус, мають значний вплив на функціональний стан і якість життя пацієнтів.

### References

1. Mohammed HAO, Reavis KM, Thapa S, Thielman EJ, Helt WJ, Carlson KF, et al. Blast exposure, tinnitus, hearing loss, and postdeployment quality of life in U.S. veterans: A longitudinal analysis. *Otol Neurotol*. 2024;45(10):1204-11. DOI: 10.1097/MAO.0000000000004332.
2. Carr W, Kelley AL, Toolin CF, Weber NS. Association of MOS-based blast exposure with medical outcomes. *Frontiers in Neurology*. 2020;11:619. DOI: 10.3389/fneur.2020.00619.
3. Lewis MS, Reavis KM, Griest S, Carlson KF, Gordon J, Henry JA. The influence of tinnitus and hearing loss on the functional status of military service members and veterans. *Int J Audiol*. 2023;62(1):44-52. DOI: 10.1080/14992027.2021.2017494.
4. Cacace AT, Berri B. Blast overpressures as a military and occupational health concern. *American Journal of Audiology*. 2023;32(4):779-92. DOI: 10.1044/2023\_AJA-23-00125.
5. Shao N, Jiang S, Younger D, Chen T, Brown M, Rao KVR, et al. Central and peripheral auditory abnormalities in chinchilla animal model of blast-injury. *Hear Res*. 2021;407:108273. DOI: 10.1016/j.heares.2021.108273.
6. Shao N, Skotak M, Pendyala N, Rodriguez J, Ravula AR, Pang K, et al. Temporal changes in functional and structural neuronal activities in auditory system in non-severe blast-induced tinnitus. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(9):1683. DOI: 10.3390/medicina59091683.
7. Harris M, Nguyen A, Brown NJ, Picton B, Gendreau J, Bui N, et al. Mild traumatic brain injury and the auditory system: An overview of the mechanisms, clinical presentations, and current diagnostic modalities. *J Neurotrauma*. 2024;41(13-14):1524-32. DOI: 10.1089/neu.2023.0059.
8. Clifford RE, Ryan AF. VA Million Veteran Program. The interrelationship of tinnitus and hearing loss secondary to age, noise exposure, and traumatic brain injury. *Ear Hear*. 2022;43(4):1114-24. DOI: 10.1097/AUD.0000000000001222.
9. Orru H, Luha A, Pindus M, Jõgeva R, Vahisalu M, Lekk U, et al. Hearing loss among military personnel in relation to occupational and leisure noise exposure and usage of personal protective equipment. *Noise Health*. 2020;22(107):90-8. DOI: 10.4103/nah.NAH\_12\_19.
10. MacGregor AJ, Joseph AR, Dougherty AL. Prevalence of tinnitus and association with self-rated health among military personnel injured on combat deployment. *Mil Med*. 2020;185(9-10):e1608-e14. DOI: 10.1093/milmed/usaa103.
11. Henry JA, Griest S, Reavis KM, Grush L, Theodoroff SM, Young S, et al. Noise Outcomes in Servicemembers Epidemiology (NOISE) study: Design, methods, and baseline results. *Ear Hear*. 2021;42(4):870-85. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000974.
12. Arun P, Rossetti F, Wilder DM, Wang Y, Gist ID, Long JB. Blast exposure causes long-term degeneration of neuronal cytoskeletal elements in the cochlear nucleus: A potential mechanism for chronic auditory dysfunctions. *Front Neurol*. 2021;12:652190. DOI: 10.3389/fneur.2021.652190.
13. Kurioka T, Mizutari K, Satoh Y, Kobayashi Y, Shiotani A. Blast-induced central auditory neurodegeneration affects tinnitus development regardless of peripheral cochlear damage. *J Neurotrauma*. 2024;41(3-4):499-513. DOI: 10.1089/neu.2023.0259.
14. Kimura E, Mizutari K, Kurioka T, Kawauchi S, Satoh Y, Sato S, et al. Effect of shock wave power spectrum on the inner ear pathophysiology in blast-induced hearing loss. *Sci Rep*. 2021;11(1):14704. DOI: 10.1038/s41598-021-94080-0.
15. Bradshaw J, Brown M, Jiang S, Gan RZ. 3D computational modeling of blast wave transmission in human ear from external ear to cochlear hair cells: A preliminary study. *Mil Med*. 2024;189(Suppl 3):291-97. DOI: 10.1093/milmed/usae096.
16. Brokaw EB, Brungart DS, Byrne R, Flamme GA, Gupta R, Jokel CR, et al. Recommendations for a military health system auditory blast injury prevention standard. *Mil Med*. 2023;188(Suppl 6):176-84. DOI: 10.1093/milmed/usad078.
17. Lu J, West MB, Du X, Cai Q, Ewert DL, Cheng W, et al. Electrophysiological assessment and pharmacological treatment of blast-induced tinnitus. *PLoS One*. 2021;16(1):e0243903. DOI: 10.1371/journal.pone.0243903.
18. Zemaitis K, Kaliyappan K, Frerichs V, Friedman A, Krishnan Muthaiah VP. Mass spectrometry imaging of blast overpressure induced modulation of GABA/glutamate levels in the central auditory neuraxis of Chinchilla. *Exp Mol Pathol*. 2021;119:104605. DOI: 10.1016/j.yexmp.2021.104605.
19. Kuchinsky SE, Eitel MM, Lange RT, French LM, Brickell TA, Lippa SM, et al. Objective and subjective auditory effects of traumatic brain injury and blast exposure in service members and veterans. *Front Neurol*. 2020;11:613. DOI: 10.3389/fneur.2020.00613.
20. Reavis KM, Snowden JM, Henry JA, Gallun FJ, Lewis MS, Carlson KF. Blast exposure and self-reported hearing difficulty in service members and veterans who have normal pure-tone hearing sensitivity: The mediating role of posttraumatic stress disorder. *J Speech Lang Hear Res*. 2021;64(11):4458-67. DOI: 10.1044/2021\_JSLHR-20-00687.
21. Hussain SM, Saeed HK, Ali AH. Tinnitus after blast injury: A prospective study in Basrah, Iraq. *Int Tinnitus J*. 2022;26(2):122-

26. DOI: 10.5935/0946-5448.20220019.

22. McIntire A, Miller T, Thapa S, Joseph A, Carlson KF, Reavis KM, et al. Blast exposure associations with hearing loss and self-reported hearing difficulty. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2024;171(5):1370-78. DOI: 10.1002/ohn.890.

23. Yu Y, Huang J, Tang X, Allison J, Sandlin D, Ding D, et al. Exposure to blast shock waves via the ear canal induces deficits in vestibular afferent function in rats. *J Otol.* 2020;15(3):77-85. DOI: 10.1016/j.joto.2020.01.003.

24. Ghazaryan V, Sutton AE, De Jong R. Acute acoustic trauma. In: *StatPearls.* 2024. StatPearls Publishing.

25. Englert RM, Belding JN, Thomsen CJ. Self-reported symptoms in U.S. Marines following blast- and impact-related concussion. *Mil Med.* 2023;188(7-8):e2118-e25. DOI: 10.1093/milmed/usad026.

#### **Відомості про авторів**

**Саражина К.С.** – асистент кафедри неврології та нейрохірургії Одеського національного медичного університету, м. Одеса, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3332-1743>.

#### **Information about the author**

**Sarazhyna K.S.** - Assistant Professor at the Department of Neurology and Neurosurgery, Odesa National Medical University; Odesa, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3332-1743>.

*Надійшла до редакції 26.01.25*

*© К.С. Саражина, 2025*