

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТА ПРОФІЛАКТИКИ ПОЛІОРГАННОЇ НЕДОСТАТНОСТІ У ВАЖКОПОРАНЕНИХ ПАЦІЄНТІВ ВНАСЛІДОК МІННО-ВИБУХОВИХ ТРАВМ

Сорокіна О. Ю., <https://orcid.org/0000-0002-7374-0507>

Зайцева О. О.

Дніпровський державний медичний університет, Дніпро, Україна

УДК 616-001.31-008.6-036/-039-06
DOI

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТА ПРОФІЛАКТИКИ ПОЛІОРГАННОЇ НЕДОСТАТНОСТІ У ВАЖКОПОРАНЕНИХ ПАЦІЄНТІВ ВНАСЛІДОК МІННО-ВИБУХОВИХ ТРАВМ

Сорокіна О. Ю., Зайцева О. О.

Метою публікації було провести аналіз публікацій, які досліджували особливості розвитку поліорганної недостатності у хворих з мінно-вибуховою травмою, визначити найбільш ефективні лікувальні підходи для профілактики її розвитку.

Для підготовки оглядової статті здійснено пошук та було опрацьовано 43 наукові джерела у базах даних PubMed, Web of Science та Google Scholar. До аналізу включались праці в період 2007-2025 роки, що висвітлюють питання розвитку, діагностики та профілактики поліорганної недостатності, внаслідок мінно-вибухових травм.

Таким чином розуміння особливостей травм, спричинених вибухами, може допомогти в діагностиці та лікуванні цього потенційно смертельного захворювання.

Поліорганна недостатність у важкопоранених пацієнтів внаслідок мінно-вибухових травм є складним синдромом із високою летальністю. Своєчасна профілактика, рання діагностика та комплексна інтенсивна терапія значно покращують прогноз.

Досвід бойових дій в Україні підтверджує ефективність багаторівневої системи надання допомоги та необхідність впровадження сучасних протоколів лікування з урахуванням особливостей місцевих умов.

Подальші дослідження та розвиток мультидисциплінарного підходу дозволять підвищити якість і результативність медичної допомоги тяжкопораненим.

Ключові слова: поліорганна недостатність, мінно-вибухова травма, інтенсивна терапія, бойові дії в Україні.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT AND PREVENTION OF MULTIORGAN FAILURE IN SERIOUSLY INJURED PATIENTS DUE TO MINE AND EXPLOSIVE INJURIES**Sorokina O. U., Zaitseva O. O.**

The aim of the publication was to analyze publications that investigated the features of the development of multiple organ failure in patients with mine-blast trauma, to determine the most effective treatment approaches to prevent its development. To prepare the review article, a search was conducted and 43 scientific sources were processed in the PubMed, Web of Science and Google Scholar databases. The analysis included works from 2007-2025 that cover the issues of development, diagnosis and prevention of multiple organ failure due to mine-blast trauma.

Thus, understanding the features of injuries caused by explosions can help in the diagnosis and treatment of this potentially fatal disease.

Multiple organ failure in severely injured patients due to mine-blast trauma is a complex syndrome with high mortality. Timely prevention, early diagnosis and comprehensive intensive care significantly improve the prognosis.

The experience of hostilities in Ukraine confirms the effectiveness of a multi-level system of providing assistance and the need to implement modern treatment protocols taking into account the specifics of local conditions.

Further research and development of a multidisciplinary approach will improve the quality and effectiveness of medical care for the seriously wounded.

Key words: multiple organ failure, mine-blast trauma, intensive care, hostilities in Ukraine.

Актуальність та постановка проблеми. З 2014 року та особливо після початку широкомасштабної війни у 2022 році в Україні сформована унікальна система надання медичної допомоги пораненим [1]. Вона включає декілька рівнів медичної евакуації та стаціонарної допомоги: від поля бою до спеціалізованих госпіталів. Основні виклики під час війни полягають у забезпеченні безпеки та стандартизації медичної допомоги на різних етапах лікування, враховуючи надзвичайно обмежені ресурси.

За даними Денисюк М.В., Дубров С.О., та співав. (2022) на початку повномасштабного вторгнення росії в Україну, в структурі пошкоджень при бойових травмах домінуюче місце займали поранення кінцівок та кісток тазу (43,7%), грудної клітини – (20,5%), голови та шиї (17,9%), живота та органів малого тазу (12,6%), обличчя (5,3% хворих). Ураження двох та більше анатомічних ділянок мали місце у 39,3% постраждалих внаслідок бойових дій. Більшість поранених (68,5%), потребували від 2 до 6 оперативних втручань [2].

Мінно-вибухові травми (МБТ) посідають провідне місце серед причин тяжкої травматизації у зоні бойових дій в Україні [3]. Ушкодження при МБТ характеризуються складністю, множинністю уражень та високим ризиком розвитку синдрому поліорганної недостатності (ПОН), що визначає подальший прогноз та виживаність пацієнтів [4].

Синдром поліорганної недостатності / дисфункції – це синдром одночасної або послідовної дисфункції двох або більше органів або систем організму, який

виникає внаслідок комплексної патофізіологічної реакції на тяжку травму, шок, інфекції чи інші критичні стани. Тривала ПОН може являти собою сучасну форму класичної поліорганної недостатності, зумовленої порушенням регуляції запальної реакції на травму [5]. У 2016 р. міжнародний консенсус, названий Sepsis-3 (The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock), суттєво змінив визначення сепсису, що визначається як «життєво небезпечна дисфункція органів, викликана реакцією господаря на інфекцію» [6].

За даними Ting R.S., et al (2024), ПОН реєструється у 23% пацієнтів із найважчими політравмами [7]. Сучасна клінічна практика передбачає моніторинг фізіологічних показників і застосування клінічних систем оцінки для діагностики раннього початку ПОН [8]. Незважаючи на вдосконалення технологій моніторингу та лікування у відділеннях інтенсивної терапії (ВІТ), ПОН залишається основною причиною пізньої смертності після травми [9].

В роботі Cole E., et al (2020) проаналізовано близько 440 пацієнтів, госпіталізованих до відділень інтенсивної терапії (ВІТ) 29 травматологічних центрів Англії, Уельса та Шотландії. У 245 хворих (55,7%) розвинувся ПОН, з них у 94,3% у день госпіталізації [10]. Найбільшим фактором розвитку ПОН були дисфункції дихальної та серцево-судинної систем (97,1% і 91,0% пацієнтів), центральної нервової системи (88,1%). Дисфункція згортання крові реєструвалася у 57,5%. Найнижчу частоту дисфункції спостерігали у печінковій та нирковій системах (36,7% і 26,7% відповідно). Характер дисфункції органів був подібним у пацієнтів з ЧМТ та без неї. Описано три моделі перебігу ПОН з моменту госпіталізації: ранню форму зменшення проявів і два персистуючих типи. У кластері 1 прояви СПОН зникали рано з медіаною часу (Ме) 4 дні та рівнем смертності 14,4%. Багатовимірний аналіз виявив різні клінічні асоціації для кожної форми СПОН. Група MODS кластера 1 була сильно пов'язана з об'ємом кристалоїдів, введених протягом перших 24 годин ($p = 0,009$). Третина пацієнтів із СПОН у цьому дослідженні мала тривалу форму (кластер 2 або 3), для одужання якої знадобилося в середньому 15 днів. Кластер 2 мав уповільнене одужання (Ме – 13 днів), рівень смертності 35% і був пов'язаний з черепно-мозковою травмою ($p = 0,002$). Кластер 3 мав тривале одужання (Ме – 25 днів), високий рівень смертності 46% і асоціювався з тяжкістю шоку при госпіталізації ($p = 0,003$).

Важливо прогнозувати ранню поліорганну дисфункцію (ПОД), оскільки це корисно для вибору стратегій терапії і прогнозування результатів лікування пацієнтів [11]. Розробка біомаркерів та інструментів стратифікації для виявлення цих пацієнтів на ранніх стадіях клінічного перебігу може дозволити розробити нові стратегії лікування та терапевтичні можливості для ПОН після травми.

Мета роботи. Провести аналіз публікацій, які досліджували особливості розвитку поліорганної недостатності у хворих з мінно-вибуховою травмою, визначити найбільш ефективні лікувальні підходи для профілактики її розвитку.

Результати дослідження. Вибухова травма є комбінованою по патогенезу і поєднаною по локалізації, яка виникає внаслідок сукупної ушкоджуючої дії на організм людини вибухової хвилі, осколків та супутніх факторів (падіння, обвалення), що спричиняє ураження різних органів, газових струменів, вогню, токсичних продуктів вибуху та горіння, уламків корпусу боєприпасів, вторинних снарядів [12; 13].

На сьогодні, травми, спричинені вибухом, розділені на п'ять категорій [14]. Первинні спричинені вибуховою хвилею високого тиску від вибуху. Воринні трав-

ми виникають внаслідок проникнення уламків, що летять, та спричиняють рвані рани. Тяжкість цих травм залежить від швидкості, розміру та характеру уламків. Третинні травми виникають, коли людей зміщує вибуховий вітер. Прискорення тіла та удар об тверді предмети призводять до тупої травми, яка може призвести до переломів кісток та інших травм. Четвертинні травми включають інші травми, спричинені вибуховими продуктами, такі як опіки, асфіксія та вплив токсичних речовин. Ці травми часто ускладнюють загальну клінічну картину. П'ятибальні травми стосуються клінічних наслідків хімічних, радіологічних або біологічних забруднювачів після детонації та включають хімічні опіки, радіаційний вплив та вірусні або бактеріальні інфекції.

Пацієнти з MBT довше перебувають у ВІТ, ніж інші пацієнти з травмами, та страждають від більшої кількості ускладнень, таких як сепсис та поліорганна недостатність [15]. Особливістю ПОН при MBT є швидкий розвиток системної запальної відповіді, коагулопатії, тяжких метаболічних порушень, що ускладнює клінічне ведення.

Своєчасна діагностика, профілактика та комплексна інтенсивна терапія ПОН вимагають знання патогенетичних механізмів і адаптації світових протоколів до умов військових конфліктів в Україні.

Вибухове ураження – це пошкодження, яке виникає внаслідок руйнування та стиснення тканин під впливом вибухової хвилі [16]. На початку вибуху на організм діє ударна хвиля. Детонаційна хвиля поширюватиметься зі швидкістю близько 8000 мс^{-1} , досягаючи тиску до 250 000 атмосфер і температури до 7000°C . Детонація генерує ударну хвилю дуже високого тиску [17].

Коли детонація відбувається в присутності відбиваючих поверхонь, таких як у будівлях або транспортних засобах, генеруються складні хвилі. Складні хвилі є продуктом відбитих хвиль, що посилюють одна одну. Це призводить до значно більшої фази позитивного тиску (до 20-кратного збільшення) і, отже, до більших пошкоджень. За ударною хвилею слідує вибуховий вітер – високошвидкісний газоподібний об'єм, що рухається від місця вибуху зі швидкістю до 2000 км/год. За ним може слідувати хвиля вивільнення. Це потік газу назад до епіцентру, коли вакуум, створений вибуховою хвилею, заповнюється частинками газу. Поєднання ударної хвилі та вибухового вітру відоме як вибухова хвиля. Первинне вибухове ураження є прямим результатом впливу хвилі надлишкового тиску на тіло, що включає: легені, вуха, внутрішні органи, що містять газ, мозок і очі [18].

На клітинному рівні ударні хвилі викликають запальну реакцію. Вивільняється IL-8, що викликає мобілізацію поліморфноядерних лейкоцитів у системний кровотік. Вивільнення прозапальних цитокінів індукуює експресію рецепторного комплексу CD11b, що призводить до адгезії в місці пошкодження. Вибухове ураження легень спричиняє підвищення рівнів індукцйбельної азотно-кисневої синтази (iNOS) у мозку, спричиняючи травму мозку [19].

Важкі вибухові травми зазвичай проявляються у вигляді гострого ураження легень протягом кількох хвилин або кількох годин після травми, гіпоксемія та гіперкарбія можуть продовжувати погіршуватися протягом 72 годин після травми. Первинне вибухове ураження легень (ПВУЛ) визначається як «радіологічні та клінічні ознаки гострого ураження легень, що виникає протягом 12 годин після впливу та не спричинене вторинною чи третинною травмою» [20; 21].

Виявлення пацієнтів із цим станом може бути складним завданням, оскільки поранені зазвичай мають змішаний характер травм, а специфічного біомаркера наразі не існує. ПВУЛ складається з негайної вегетативної реакції, після якої виникає крововилив та пошкодження паренхіми, що потім завершується запальною фазою. Доведено, що пошкодження легенів вибухом буде прогресуючим, тобто ділянки легені спочатку здаватимуться неушкодженими, але ставатимуть геморагічними та демонструватимуть інші ознаки пошкодження тканин.

Вибухове ураження зазвичай призводить до тріади подій у легенях: пошкодження структур, що включають альвеолярний або капілярний бар'єр, як наслідок, крововилив і набряк, утворення повітряної емболії, що призводить до порушення кровообігу та ішемії, запалення [22].

Сильно уражена легеня схильна до розвитку інфекцій. Важка пневмонія розвивається у багатьох із цих пацієнтів протягом кількох днів, що може значно подовжити їх одужання.

Вибухові травми поєднують в собі аспекти закритої черепно-мозкової травми (ЧМТ), викликаної вибухом, з аспектами проникаючих осколкових ушкоджень. Моніторинг внутрішньочерепного тиску є важливою частиною лікування вибухової травми [23].

На досвіді війни в Україні визначено, що окрім короточасної шкоди, пацієнти з ЧМТ можуть мати довгострокові симптоми (наприклад, посттравматичний стресовий розлад), які тягнуть за собою значні фінансові витрати та соціальні наслідки [24].

При первинному вибуховому ураженні уражаються органи, які містять газ, що призводить до перфорації кишки, причому найбільший ризик перфорації мають товста кишка та ілеоцекальна область. Значна затримка в діагностиці перфорації кишечника не є незвичайною через численні травми, мінімальні абдомінальні симптоми та відсутність спілкування з пацієнтами, яким проводиться вентиляція [25]. Деякі перфорації можуть бути відстрочені, зазвичай вони є результатом гематом кишкової стінки, що спричиняє ішемію, а не пропущених первинних ушкоджень. Слід пам'ятати про можливість відстроченої перфорації, коли пацієнт у ВІТ демонструє непередбачене погіршення.

Вторинне вибухове ураження – це проникнення осколків в черевну порожнину, що викликає проникаючі поранення твердих органів, магістральних судин, кишечника. Механізм третинного вибухового ушкодження подібний до тупої травми живота, при якій уражаються переважно тверді органи. Поєднані травми, включно з відкритими переломами, пошкодженням внутрішніх органів та опіками, характерні для таких пацієнтів.

Guryev S.O. et al (2025) проаналізовано 376 спостережень за бойовими травмами черевної порожнини у змішаній популяції військових та цивільних жертв [26]. Питома вага абдомінальної травми, яка виникає переважно внаслідок мінно-вибухових пошкоджень (64,9%), у структурі бойової травми становить 48,4%. Встановлено, що бойова травма живота має складну клініко-нозологічну структуру, у 42,3% постраждалих вона поєднується з пошкодженням інших анатомічних ділянок. У 83,9% постраждалих травма є відкритою.

Однією з головних причин розвитку ПОН при травмах є масивна кровотрата, яка викликає гіповолемічний шок з порушенням перфузії тканин. Унаслідок

гіпоксії клітини втрачають здатність до нормального метаболізму, що веде до накопичення токсичних продуктів і метаболічного ацидозу [27].

Коагулопатія, викликана травмою (КВТ) – це складне гемостатичне захворювання, що характеризується аномальною реакцією згортання крові, яка може проявлятися як гіпокоагуляційний стан, що призводить до надмірної кровотечі, або гіперкоагуляційний стан, що спричиняє тромбоемболічні події та поліорганну недостатність. Рання діагностика та корекція гіпокоагуляції можуть врятувати життя [28].

Патофізіологія коагулопатії, що викликана травмою, включає пошкодження тканин, шок, ендотеліальну дисфункцію, активацію тромбоцитів та порушення регуляції фібринолізу. Ранній КВТ часто пов'язаний з гіпокоагуляцією через такі фактори, як виснаження фібриногену, порушення генерації тромбіну та дисфункцію тромбоцитів, і посилюється «летальною тріадою» коагулопатією, гіпотермією та ацидозом [29]. Тому, замісна інфузійна терапія факторів згортання крові за допомогою компонентів крові (1:1:1), протидія посиленому фібринолізу за допомогою транексамової кислоти у поєднанні зі стратегією контролю пошкоджень є сучасними практиками лікування [30].

На сьогодні виділяють четвертий ключовий компонент «летального діаманту» – гіпокальціємію, яка погіршує гемостаз і потребує раннього коригування. Комплексний підхід до лікування суттєво покращує результати лікування пацієнтів з важкою травмою з використанням методу тромбоеластографії, який більш чутливий до порушень згортання, ніж стандартні тести [31].

У пацієнтів з політравмою Filyk O.V., Vyshynska M.B. (2021) виявлено позитивну кореляцію між співвідношенням дискоцитів до сфероцитів та рівнем загального фібриногену, кореляції між цим співвідношенням та станом здоров'я пацієнта за шкалою APACHE II, тривалістю перебування у ВІТ, з тяжкістю травм за шкалою ISS та тривалістю системної запальної відповіді [32].

Реперфузійні ушкодження внаслідок відновлення кровотоку після періоду ішемії супроводжуються утворенням вільних радикалів, активацією прозапальних цитокінів (TNF- α , IL-1 β , IL-6) і порушенням цілісності клітинних мембран. Це призводить до посилення тканинного ушкодження та системного запалення [33].

Стратегії, спрямовані на запальні цитокіни, поляризацію мікроглії та шляхи оксидативного стресу, у поєднанні з інноваціями в наномедицині та позаклітинних везикулах, пропонують ефективні засоби для покращення функціонального відновлення [34].

Визначено важливість мультидисциплінарного підходу у лікуванні тяжких травм і критичних станів, включаючи хірургічну, фармакологічну та анестезіологічну підтримку. Це дозволяє своєчасно провести операції та забезпечити адекватну інтенсивну терапію [35]. Ключові виклики, це обмеженість ресурсів і обладнання у зоні бойових дій, відстрочена евакуація через загрозу безпеці, часті полімікробні інфекції, в тому числі мультирезистентні, психологічний стан пацієнтів і персоналу [36; 37].

У тяжкопоранених коагулопатія, спричинена травмою, присутня вже при госпіталізації, що обґрунтовує важливість лікування цього розладу на ранній стадії тести [38].

Більшість систем сортування, розроблених для пріоритетного переведення пацієнтів у випадках масових втрат до лікарні, не оцінюють необхідність хірургічного втручання, частково через непереконливі докази щодо цінності такої оцінки. Використання методу догоспітального розширеного сортування дозволяє виявляти постраждалих, яким може знадобитися термінова хірургічна оцінка у разі тяжких травм [39].

Використання турнікетів, джгутів та гемостатичних засобів дозволяє ефективно контролювати кровотечу в польових умовах, що критично знижує ризик розвитку гіповолемічного шоку та наступної ПОН. Але є джерела кровотечі у тулуб, які не можливо притиснути.

Раннє догоспітальне використання тазових биндажів стало стандартом серед військових та цивільних систем невідкладної медичної допомоги. Згідно інструкції щодо тактичної допомоги пораненим у бойових діях (ТССС) рекомендовано раннє використання тазових биндажів у пацієнтів з підозрою на перелом тазу та тяжкою травмою від тупого предмета або вибуху за наявності одного або кількох із наступних показань: біль у тазу, будь-яка значна ампутація нижніх кінцівок або близька до ампутації, результати фізикального огляду, що свідчать про перелом тазу, втрата свідомості, шок [40].

При цивільних високоенергетичних травмах, отриманих внаслідок тупих ударів щодо догоспітального лікування переломів тазу рекомендується раннє та вільне використання тазових биндажів, за наявності будь-якого з чотирьох факторів ризику: частота серцевих скорочень > 100 уд/хв., систолічний артеріальний тиск < 90 мм рт. ст., шкала ком Глазго ≤ 13 балів, відволікаюча травма та/або біль при тазовому огляді [41].

Реанімаційна ендоваскулярна балонна оклюзія аорти стала перспективною, менш інвазивною альтернативою у військових, а також у цивільних умовах для тимчасового контролю тяжкої та нестисливої кровотечі в тулубі та рефрактерного геморагічного шоку.

Сучасна реанімація при тяжкій травматичній кровотечі включає пермісивну гіпотензію та раннє лікування очікуваної травматично-індукованої коагулопатії [42]. До гемостатичної реанімації/реанімації з контролем пошкоджень відносяться:

- Реанімація С-ABC (з основним акцентом на С – кровообіг).
- Обмеження кристалодів («пермісивна гіпотензія» при ранньому використанні крові та її препаратів).
- Раннє застосування антифібринолітичної транексамової кислоти.
- Оксигенація та вентиляція/інтубація відповідно до критеріїв інтубації.
- Контроль температури при нормотермії.

Раннє застосування хірургічного підходу з контролем пошкоджень (damage control resuscitation, DCR) охоплює три окремі етапи: перший – лапаротомія з оперативним зупиненням кровотечі та забруднення без реконструкції, другий – реанімація та корекція фізіологічних порушень і третій – планова повторна операція з видаленням тампонади та остаточним відновленням [43]. За окремими напрямками принципи хірургічного підходу з контролем пошкоджень включають:

- При торако-абдомінальної травмі – контроль кровотечі та забруднення, тампонада черевної/грудної порожнини і тимчасове закриття, остаточна реконструкція та закриття до фізіологічного покращення.

- Ресусцитація – корекція ацидозу, гіпотермії та коагулопатії, пермисивна гіпотензія, лімітуюча кристалоїдна терапія, збалансоване переливання компонентів крові, фармакологічні гемостатичні допоміжні засоби, реанімація під контролем тромбоеластографії.
- Ортопедична хірургія – зовнішня стабілізація перелому, очищення сильно забруднених м'яких тканин, використання терапії ран негативним тиском при складних ранах м'яких тканин та остаточна внутрішня фіксація до фізіологічного покращення.
- Судинна хірургія – контроль кровотечі, підтримка дистальної перфузії (шунтування, перехід ендотрансплантата), видалення джерела інфекції, остаточна ревазуляризація до досягнення фізіологічної стабілізації.
- Невідкладна загальна хірургія – контроль кровотечі, контроль забруднення або широкий дренаж, тимчасове закриття черевної порожнини, остаточна реконструкція та закриття до досягнення фізіологічного покращення та відсутності внутрішньочеревної гіпертензії.

Розумне використання лапаротомії з контролем пошкоджень та раннього фасціального закриття має першорядне значення для мінімізації ускладнень. До абсолютних показань хірургічного втручання з контролю пошкоджень відносять: тяжкий фізіологічний розлад, ацидоз, гіпотермія, коагулопатія, персистуючий шок, внутрішньочеревна гіпертензія / абдомінальний компартмент синдром, необхідність планової повторної операції (наприклад, життєздатність крайової кишки), наявність стороннього тіла (тампонада, шунт).

До відносних показань: множинні конкуруючі травми, хірургічно недоступне джерело венозної кровотечі, надмірно довгий час операції для остаточної реконструкції, обмежені доступні ресурси (наприклад, сценарій масових уражень, висока складність процедури).

Підхід damage control resuscitation швидко став наріжним каменем у догляді за пацієнтами з травмами, оскільки хірурги визнали, що тривале оперативне втручання при фізіологічному виснаженні та тяжкому шоці є недоцільним.

Висновки. Розуміння особливостей травм, спричинених вибухами, може допомогти в діагностиці та лікуванні цього потенційно смертельного захворювання.

Поліорганна недостатність у важкопоранених пацієнтів внаслідок мінно-вибухових травм є складним синдромом із високою летальністю. Своєчасна профілактика, рання діагностика та комплексна інтенсивна терапія значно покращують прогноз.

Досвід бойових дій в Україні підтверджує ефективність багаторівневої системи надання допомоги та необхідність впровадження сучасних протоколів лікування з урахуванням особливостей місцевих умов.

Подальші дослідження та розвиток мультидисциплінарного підходу дозволять підвищити якість і результативність медичної допомоги тяжкопораненим.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bielka, K., Kuchyn, I., Horoshko, V. (2023). Intensive care units during the Ukraine war: challenges and opportunities. *Intensive Care Med.* 49(8), 1011–1014. doi: 10.1007/s00134-023-07117-5.
2. Денисюк, М. В., Дубров, С. О., Черняєв, С. В., Середа, С. О., Заїкін, Ю. М. (2022). Структура травматичних ушкоджень та досвід лікування поранених пацієнтів, що виникли вна-

слідок бойових дій у перші дні нападу Росії на Україну. *Біль, анестезія та інтенсивна терапія*. (1), 7–12. doi: 10.25284/2519-2078.1(98).2022.256092.

3. Ministry of Health of Ukraine. Statistical Report on Combat Trauma 2023. Kyiv; 2024.
4. Заболотна, І. Б., Гуща, С. Г., Балашова, І. В., Безверхнюк, Т. М. (2023). Проблемні питання медико-психологічної реабілітації військовослужбовців в Україні. *Вісник проблем біології і медицини*. 2(169), 64–74. doi: 10.29254/2077-4214-2023-2-169-64-74.
5. Huber-Lang, M., Lambris, J. D., Ward, P. A. (2018). Innate immune responses to trauma. *Nat Immunol*. 19(4), 327–341. doi: 10.1038/s41590-018-0064-8
6. Singer, M., Deutschman, C. S., Seymour, C. W., et al. (2016). The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*. 315(8), 801–810. doi: 10.1001/jama.2016.0287.
7. Ting, R. S., Weaver, N. A., King, K. L., Way, T. L., Sarrami, P., Daniel, L., Dinh, M., Nair, P., Hsu, J., D'Amours, S. K., Balogh, Z. J. (2024). Epidemiology of postinjury multiple organ failure: a prospective multicenter observational study. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 50(6), 3223–3231. DOI:10.1007/s00068-024-02630-8.
8. Duran, I., Banerjee, A., Flaherty, P. J., Que, Y. A., Ryan, C. M., Rahme, L. G., Tsurumi, A. (2024). Development of a biomarker prediction model for post-trauma multiple organ failure/dysfunction syndrome based on the blood transcriptome. *Annals of Intensive Care*. 14, 134. doi.org/10.1186/s13613-024-01364-5.
9. Maier, B., Lefering, R., Lehnert, M., Laurer, H. L. (2007). Early versus late onset of multiple organ failure is associated with differing patterns of plasma cytokine biomarker expression and outcome after severe trauma. *Shock*. 28, 668–674.
10. Cole, E., Gillespie, S., Vulliamy, P., Brohi, K., Akkadon, H. (2020). Multiple organ dysfunction after trauma. *British Journal of Surgery*. 107(4), 402–412. doi.org/10.1002/bjs.11361.
11. Ishikawa, S., Teshima, Y., Otsubo, H., Shimazui, T, et al. (2021). Risk prediction of biomarkers for early multiple organ dysfunction in critically ill patients. *BMC Emergency Medicine*. 21(1), 132. doi: 10.1186/s12873-021-00534-z/
12. Гриценко, С. М., Гарилюк, В. П., Брк, Б. А. (2025). Трирічний досвід анестезіологічної допомоги при вибуховій травмі на ранньому госпітальному етапі. *PAIN, ANAESTHESIA & INTENSIVE CARE*. 3(112), 7–12. doi.org/10.25284/2519-2078.3(112).2025.339025.
13. McDonald Johnston, A., Ballard, M. (2015). Primary blast lung injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 191, 1462-3.
14. Ortega, R., Vietor, R., Arbelaez, C., Feliu, D., Nozari, A., Ortoleva, J. (2024). Blast Injuries. *N Engl J Med*. 391, 58. doi: 10.1056/NEJMvcm2408353.
15. Kulla, M., Maier, J., Bieler, D., Lefering, R., Hentsch, S., Lampl, L., Helm, M. (2016). Zivile Explosionstraumata – ein unterschätztes Problem?: Ergebnisse einer retrospektiven Analyse aus dem TraumaRegister DGU [Civilian blast injuries: an underestimated problem?: Results of a retrospective analysis of the Trauma Register DGU]. *Unfallchirurg*. 119(10), 843–853. doi: 10.1007/s00113-015-0046-3.
16. Rajeshwari, R, Bodh, D. P., Satpathy, A., Subramaniam, A., Lalwani, S. (2025). Primary blast lung injury. *Journal of Laboratory Physicians*. 17(2), 212–217. doi:10.25259/JLP_304_2024.
17. Scott, T. E., Kirkman, E., Haque, M., Gibb, I. E., Mahoney, P., Hardman, J. G. (2017). Primary blast lung injury – a review. *British Journal of Anaesthesia*. 118(3), 311–316. doi.org/10.1093/bja/aew385.
18. Bukowski, J., Nowadly, C. D., Schauer, S. G., Koyfman, A., Long, B. (2023). High risk and low prevalence diseases: blast injuries. *Am J Emerg Med*. 70, 46–56.
19. Blast Injuries Medication / Andre Pennardt. Updated: Aug 06, 2021
20. Bukowski, J., Nowadly, C. D., Schauer, S. G., Koyfman, A., Long, B. (2023). High risk and low prevalence diseases: blast injuries. *Am J Emerg Med*. 70, 46–56.
21. Hazell, G. A., Pearce, A. P., Hepper, A. E., Bull, A. M. J. (2022). Injury scoring systems for blast injuries: a narrative review. *Br J Anaesth*. 128(2), 127–134.

22. Elsayed, N. M., Gorbunov, N. V., Kagan, V. E. (1997). A proposed biochemical mechanism involving hemoglobin for blast overpressure-induced injury. *Toxicology*. 121(1), 81–90. doi: 10.1016/s0300-483x(97)03657-3.
23. Hoz, S. S., Al-Sharshahi, Z. F., Dolachee, A. A., et al. (2021). Blast-Induced Traumatic Brain Injuries: Experience from the Deadliest Double Suicide Bombing Attack in Iraq. *World Neurosurg.* 145, 192–201. doi: 10.1016/j.wneu.2020.09.167
24. Zhang, J. K., Botterbush, K. S., Bagdady, K., Lei, C. H., Mercier, P., Mattei, T. A. (2022). Blast-related traumatic brain injuries secondary to thermobaric explosives: implications for the war in Ukraine. *World Neurosurg.* 167, 176–183.e4.
25. Er, S, Tahtabasi, M. (2022). Thoracoabdominal injuries after a bomb explosion: blast injuries and their clinical effects. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 48(1), 273–282. doi: 10.1007/s00068-020-01539-2.
26. Guryev, S. O., Kushnir, V. A., Solovyov, O. S., Panasenko, S. I. (2025). Risk-based characterization of combat abdominal trauma. *The Ukrainian Journal of Clinical Surgery.* 92(2), 42–47 doi: 10.26779/2786-832X.2025.2.42
27. Schöchl, H., Schmitt, F. C. F., Maegle, M. (2024). Pathophysiology of Trauma-Induced Coagulopathy. *Hamostaseologie.* 44, 31–39. doi: 10.1055/a-2215-8936/
28. Capponi, A., Rostagn, C. (2025). Trauma-Induced Coagulopathy: A Review of Specific Molecular Mechanisms Diagnostics. 15(11), 1435. doi:10.3390/diagnostics15111435.
29. Dobson, G. P., Letson, H. L., Sharma, R., Sheppard, F. R., Cap, A. P. (2015). Mechanisms of early trauma-induced coagulopathy: The plot thickens or not? *J. Trauma Acute Care Surg.* 79, 301–309. doi: 10.1097/TA.0000000000000729.
30. Spahn, D. R., Bouillon, B., Cerny, V., et al. (2019). The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Critical Care.* 23(1), 98. doi: 10.1186/s13054-019-2347-3.
31. Кошарський, Д. С., Сухонос, Р. Є., Тарабрін, О. О. (2024). Сучасні підходи до діагностики, лікування та профілактики ускладнень у пацієнтів із політравмами та критичними станами. *Клінічна анестезіологія, інтенсивна терапія та медицина невідкладних станів.* 2(21), 25–34. doi:10.32782/2411-9164.21.2-4.
32. Filyk, O. V., Vyshynska, M. B. (2021). Hemostasis and inflammation in patients with polytrauma. *Emergency medicine.* 17(8), 66–72. doi:10.22141/2224-0586.17.8.2021.245580
33. McDonald Johnston, A., Ballard, M. (2015). Primary blast lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 191, 1462–1463.
34. Li, Z., Li, M., Fang, Z., Wang, H. (2025). Immunological Mechanisms and Therapeutic Strategies in Cerebral Ischemia-Reperfusion Injury: From Inflammatory Response to Neurorepair *Int. J. Mol. Sci.* 26(17), 8336; doi.org/10.3390/ijms26178336.
35. Ivanov, V., Petrenko, I., Solovey, A. (2022). Multidisciplinary approach in management of combat trauma patients. *Ukrainian J Surg.* 30(1), 45–52.
36. Bondarenko, A., Moroz, V. (2023). Challenges in battlefield medicine during ongoing conflict in Ukraine. *Mil Med Res.* 10(1), 15.
37. Zabolotna, I. B., Gushcha, S. G., Balashova, I. V., Bezverhnyuk, T. M. (2023). Проблемні питання медико-психологічної реабілітації військовослужбовців в Україні. *Вісник проблем біології і медицини.* 2(169), 64–74. doi 10.29254/2077-4214-2023-2-169-64-74.
38. Holcomb, J. B., Jenkins, D., Rhee, P., et al. (2007). Damage control resuscitation: directly addressing the early coagulopathy of trauma. *J Trauma.* 62, 307–310.
39. Romero Pareja, R., Castro Delgado, R., Turégano Fuentes, F., Jhon Thissard-Vasallo, I., Sanz Rosa, D., Arcos González, P. (2020). Prehospital triage for mass casualty incidents using the META method for early surgical assessment: retrospective validation of a hospital trauma registry. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 46(2), 425–433. doi: 10.1007/s00068-018-1040-6.
40. Montgomery, H. R., Butler, F. K., Kerr, W., et al. (2017). TCCC guidelines comprehensive review and update: TCCC guidelines change 16-03. *J Spec Oper Med.* 17, 21–38.

41. Scott, I., Porter, K., Laire, C., et al. (2013). The prehospital management of pelvic fractures: Initial consensus statement. *Emerg Med J.* 30, 1071–1072.
42. Maegele, M. (2024). Effective approaches to address noncompressible torso hemorrhage. *Current Opinion in Critical Care.* 30(3), 202–208. doi: 10.1097/MCC.0000000000001141
43. Chung, C. Y., Scalea, T. M. (2023). Damage control surgery: old concepts and new indications. *Current Opinion in Critical Care.* 29(6), 666–673. doi: 10.1097/MCC.0000000000001097

REFERENCES

1. Bielka, K., Kuchyn, I., Horoshko, V. (2023). Intensive care units during the Ukraine war: challenges and opportunities. *Intensive Care Med.* 49(8), 1011–1014. doi: 10.1007/s00134-023-07117-5.
2. Denisyuk, M. V., Dubrov, S. O., Chernyaev, S. V., Sereda, S. O., Zaikin, Y. M. Structure of traumatic injuries and experience in treating wounded patients resulting from hostilities in the first days of Russia's attack on Ukraine. Pain, anesthesia and intensive care.2022;(1):7–12. doi: 10.25284/2519-2078.1(98).2022.256092.
3. Ministry of Health of Ukraine. Statistical Report on Combat Trauma 2023. Kyiv; 2024.
4. Zabolotna, I. B., Guscha, S. G., Balashova, I. V., Bezverkhnyuk, T. M. (2023). Problematic issues of medical and psychological rehabilitation of military personnel in Ukraine. *Bulletin of problems of biology and medicine.* 2(169), 64–74. doi 10.29254/2077-4214-2023-2-169-64-74.
5. Huber-Lang, M., Lambris, J. D., Ward, P. A. (2018). Innate immune responses to trauma. *Nat Immunol.* 19(4), 327–341. doi: 10.1038/s41590-018-0064-8
6. Singer, M., Deutschman, C. S., Seymour, C. W., et al. (2016). The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA.* 315(8), 801–810. doi:10.1001/jama.2016.0287.
7. Ting, R. S., Weaver, N. A., King, K. L., Way, T. L., Sarrami, P., Daniel, L., Dinh, M., Nair, P., Hsu, J., D'Amours, S. K., Balogh, Z. J. (2024). Epidemiology of postinjury multiple organ failure: a prospective multicenter observational study. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery.* 50(6), 3223–3231. DOI:10.1007/s00068-024-02630-8.
8. Duran, I., Banerjee, A., Flaherty, P. J., Que, Y. A., Ryan, C. M., Rahme, L. G., Tsurumi, A. (2024). Development of a biomarker prediction model for post-trauma multiple organ failure/dysfunction syndrome based on the blood transcriptome. *Annals of Intensive Care.* 14, 134. doi.org/10.1186/s13613-024-01364-5.
9. Maier, B., Lefering, R., Lehnert, M., Laurer, H. L. (2007). Early versus late onset of multiple organ failure is associated with differing patterns of plasma cytokine biomarker expression and outcome after severe trauma. *Shock.* 28, 668–674.
10. Cole, E., Gillespie, S., Vulliamy, P., Brohi, K., Akkadon, H. (2020). Multiple organ dysfunction after trauma. *British Journal of Surgery.* 107(4), 402–412. doi.org/10.1002/bjs.11361.
11. Ishikawa, S., Teshima, Y., Otsubo, H., Shimazui, T., et al. (2021). Risk prediction of biomarkers for early multiple organ dysfunction in critically ill patients. *BMC Emergency Medicine.* 21(1), 132. doi: 10.1186/s12873-021-00534-z/
12. Hrytsenko, S. M., Garilyuk, V. P., Brk, B. A. (2025). Three-year experience of anesthetic care for blast trauma in the early hospital stage. *PAIN, ANAESTHESIA & INTENSIVE CARE.* 3(112), 7–12. doi.org/10.25284/2519-2078.3(112).2025.339025.
13. McDonald Johnston, A., Ballard, M. (2015). Primary blast lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 191, 1462-3.
14. Ortega, R., Viator, R., Arbelaez, C., Feliu, D., Nozari, A., Ortoleva, J. (2024). Blast Injuries. *N Engl J Med.* 391, 58. doi: 10.1056/NEJMvcm2408353.
15. Kulla, M., Maier, J., Bieler, D., Lefering, R., Hentsch, S., Lampl, L., Helm, M. (2016). Zivile Explosionstraumata – ein unterschätztes Problem?: Ergebnisse einer retrospektiven Analyse aus dem TraumaRegister DGU [Civilian blast injuries: an underestimated problem?: Results of a retrospective analysis of the Trauma Register DGU]. *Unfallchirurg.* 119(10), 843–853. doi: 10.1007/s00113-015-0046-3.

16. Rajeshwari, R., Bodh, D. P., Satpathy, A., Subramaniam, A., Lalwani, S. (2025). Primary blast lung injury. *Journal of Laboratory Physicians*. 17(2), 212–217. doi:10.25259/JLP_304_2024.
17. Scott, T. E., Kirkman, E., Haque, M., Gibb, I. E., Mahoney, P., & Hardman, J. G. (2017). Primary blast lung injury: A review. *British Journal of Anaesthesia*, 118(3), 311–316. <https://doi.org/10.1093/bja/aew385>
18. Bukowski, J., Nowadly, C. D., Schauer, S. G., Koyfman, A., & Long, B. (2023). High-risk and low-prevalence diseases: Blast injuries. *The American Journal of Emergency Medicine*, 70, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.04.018>
19. Pennardt, A. (2021, August 6). Blast injuries medication. Medscape. Retrieved from: <https://emedicine.medscape.com/article/435437-medication>
20. Bukowski, J., Nowadly, C. D., Schauer, S. G., Koyfman, A., & Long, B. (2023). High-risk and low-prevalence diseases: Blast injuries. *The American Journal of Emergency Medicine*, 70, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.04.018>
21. Hazell, G. A., Pearce, A. P., Hepper, A. E., & Bull, A. M. J. (2022). Injury scoring systems for blast injuries: A narrative review. *British Journal of Anaesthesia*, 128(2), 127–134.
22. Elsayed, N. M., Gorbunov, N. V., & Kagan, V. E. (1997). A proposed biochemical mechanism involving hemoglobin for blast overpressure-induced injury. *Toxicology*, 121(1), 81–90. doi: 10.1016/s0300-483x(97)03657-3.
23. Hoz, S. S., Al-Sharshahi, Z. F., Dolachee, A. A., et al. (2021). Blast-induced traumatic brain injuries: Experience from the deadliest double suicide bombing attack in Iraq. *World Neurosurgery*, 145, 192–201. doi: 10.1016/j.wneu.2020.09.167
24. Zhang, J. K., Botterbush, K. S., Bagdady, K., Lei, C. H., Mercier, P., & Mattei, T. A. (2022). Blast-related traumatic brain injuries secondary to thermobaric explosives: Implications for the war in Ukraine. *World Neurosurgery*, 167, 176–183.e4.
25. Er, S., & Tahtabasi, M. (2022). Thoracoabdominal injuries after a bomb explosion: Blast injuries and their clinical effects. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 48(1), 273–282. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01539-2>
26. Guryev, S. O., Kushnir, V. A., Solovyov, O. S., & Panasenko, S. I. (2025). Risk-based characterization of combat abdominal trauma. *The Ukrainian Journal of Clinical Surgery*, 92(2), 42–47. <https://doi.org/10.26779/2786-832X.2025.2.42>
27. Schöchl, H., Schmitt, F. C. F., & Maegele, M. (2024). Pathophysiology of trauma-induced coagulopathy. *Hämostaseologie*, 44, 31–39. <https://doi.org/10.1055/a-2215-8936>
28. Capponi, A., & Rostagno, C. T. (2025). Trauma-induced coagulopathy: A review of specific molecular mechanisms. *Diagnostics*, 15(11), Article 1435. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15111435>
29. Dobson, G. P., Letson, H. L., Sharma, R., Sheppard, F. R., & Cap, A. P. (2015). Mechanisms of early trauma-induced coagulopathy: The plot thickens or not? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 79, 301–309. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000729>
30. Spahn, D. R., Bouillon, B., Cerny, V., et al. (2019). The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: Fifth edition. *Critical Care*, 23(1), Article 98. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2347-3>.
31. Kosharsky, D. S., Sukhonos, R. E., & Tarabrin, O. O. (2024). Modern approaches to diagnostics, treatment and prevention of complications in patients with polytrauma and critical conditions. *Clinical Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine*, 2(21), 25–34. <https://doi.org/10.32782/2411-9164.21.2-4>
32. Filyk, O. V., & Vyshynska, M. B. (2021). Hemostasis and inflammation in patients with polytrauma. *Emergency Medicine*, 17(8), 66–72. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.17.8.2021.245580>
33. McDonald Johnston, A., & Ballard, M. (2015). Primary blast lung injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 191, 1462–1463. <https://doi.org/10.1164/rccm.201503-0536LE>

34. Li, Z., Li, M., Fang, Z., & Wang, H. (2025). Immunological mechanisms and therapeutic strategies in cerebral ischemia-reperfusion injury: From inflammatory response to neurorepair. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(17), 8336. <https://doi.org/10.3390/ijms26178336>
35. Ivanov, V., Petrenko, I., & Solovey, A. (2022). Multidisciplinary approach in management of combat trauma patients. *Ukrainian Journal of Surgery*, 30(1), 45–52.
36. Bondarenko, A., & Moroz, V. (2023). Challenges in battlefield medicine during ongoing conflict in Ukraine. *Military Medical Research*, 10(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40779-023-00433-5>
37. Zabolotna, I. B., Gushcha, S. G., Balashova, I. V., & Bezverhnyuk, T. M. (2023). Problematic issues of medical and psychological rehabilitation of military personnel in Ukraine. *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*, 2(169), 64–74. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-2-169-64-74>
38. Holcomb, J. B., Jenkins, D., Rhee, P., Johannigman, J., Mahoney, P., Mehta, S., Cox, E. D., Gehrke, M. J., Beilman, G. J., Schreiber, M., Flaherty, S. F., Grathwohl, K. W., Spinella, P. C., Perkins, J. G., Beekley, A. C., McMullin, N. R., Park, M. S., Gonzalez, E. A., Wade, C. E., ... Hess, J. R. (2007). Damage control resuscitation: Directly addressing the early coagulopathy of trauma. *Journal of Trauma*, 62, 307–310. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3180324124>
39. Romero Pareja, R., Castro Delgado, R., Turégano Fuentes, F., Thissard-Vasallo, I. J., Sanz Rosa, D., & Arcos González, P. (2020). Prehospital triage for mass casualty incidents using the META method for early surgical assessment: Retrospective validation of a hospital trauma registry. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 46(2), 425–433. <https://doi.org/10.1007/s00068-018-1040-6>
40. Montgomery, H. R., Butler, F. K., Kerr, W., et al. (2017). TCCC guidelines comprehensive review and update: TCCC guidelines change 16-03. *Journal of Special Operations Medicine*, 17, 21–38.
41. Scott, I., Porter, K., Laire, C., et al. (2013). The prehospital management of pelvic fractures: Initial consensus statement. *Emergency Medicine Journal*, 30, 1071–1072. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2013-203180>
42. Maegele, M. (2024). Effective approaches to address noncompressible torso hemorrhage. *Current Opinion in Critical Care*, 30(3), 202–208. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000001141>
43. Chung, C. Y., & Scalea, T. M. (2023). Damage control surgery: Old concepts and new indications. *Current Opinion in Critical Care*, 29(6), 666–673. doi: 10.1097/MCC.0000000000001097

Дата надходження статті: 27.10.2025

Дата прийняття статті: 27.11.2025

Опубліковано: 22.12.2025

