

Клініко-діагностичні особливості порушень тканинної перфузії у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок

С. О. Король^{1, A, D, E, F}, І. П. Палій^{1, A, B, C, D, E}, Ю. О. Міхеєв^{2, 3, C, E, F}

¹Українська військово-медична академія, м. Київ, Україна; ²Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна;

³Запорізький військовий госпіталь, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Комбінація вогнепального ушкодження, впливу низьких температур, крововтрати та застосування турнікетів ускладнює оцінювання життєздатності тканин та потребує використання сучасних методів визначення регіонарної гемодинаміки.

Мета роботи – визначити клініко-діагностичні особливості порушень системної та регіонарної перфузії у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок у гострому періоді травматичної хвороби.

Матеріали і методи. Проведено проспективне клінічне дослідження результатів лікування 111 поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок, які перебували на лікуванні на Role 2 у 2022–2025 роках. Оцінювали системну гемодинаміку, ступінь загального переохолодження, лабораторні ознаки тканинної гіпоксії та метаболічних порушень, особливості локального статусу ураженої кінцівки. Для визначення стану регіонарної гемодинаміки та тканинної перфузії використано ультразвукову доплерографію та інфрачервону термографію. Статистичне опрацювання даних проведено з використанням параметричних і непараметричних методів аналізу.

Результати. Стан під час надходження у 104 (93,6 %) поранених визначено як тяжкий або вкрай тяжкий. Ознаки загального переохолодження виявлено у всіх пацієнтів, температуру тіла нижче ніж 35 °C зафіксовано у 77 (69,4 %) випадках. Артеріальну гіпотензію діагностовано у 48 (43,2 %) поранених, тахікардію понад 100 уд./хв – у 79 (71,2 %), олігурію – у 46 (41,4 %) випадках. Середній рівень лактату крові становив $3,6 \pm 1,9$ ммоль/л. Ознаки порушення периферичної перфузії кінцівки, зокрема блідість, ціаноз, локальну гіпотермію та порушення чутливості, встановлено у більшості поранених. Виражені порушення венозного відтоку, за даними ультразвукової доплерографії, виявлено у 46 (59,0 %) поранених у тяжкому та вкрай тяжкому стані. Зниження поверхневої температури ушкодженої кінцівки порівняно з інтактною, за даними термографії виявлено у 79 із 86 (91,9 %) поранених, а температурний дефіцит понад 3 °C – у 48 (55,8 %) випадках.

Висновки. Бойова комбінована холодова термомеханічна травма кінцівок супроводжується розвитком виражених порушень системної та регіонарної перфузії. Поєднане використання ультразвукової доплерографії та інфрачервоної термографії дає змогу об'єктивізувати ступінь ішемічних змін тканин, оцінити ризик прогресування локального некрозу й оптимізувати лікувальну тактику у поранених із холодово-ішемічними ушкодженнями кінцівок.

Ключові слова:

бойова хірургічна травма, відмороження, вогнепальний перелом, остеосинтез, політравма.

Запорізький медичний журнал. 2026. Т. 28, № 5(158). С. 467-473

Clinical and diagnostic features of tissue perfusion disorders in wounded patients with combat-related combined cold thermomechanical limb injuries

S. O. Korol, I. P. Palii, Yu. O. Mikheiev

The simultaneous occurrence of firearm injury, low-temperature exposure, blood loss, and tourniquet application complicates assessment of tissue viability during the early hospital period and requires the use of modern methods for regional hemodynamic evaluation.

Aim. To determine the clinical and diagnostic features of systemic and regional perfusion disorders in wounded patients with combat-related combined cold thermomechanical limb injury during the acute period of traumatic disease.

Materials and methods. A prospective clinical study enrolled 111 wounded servicemen with combat-related combined cold thermomechanical limb injury treated at a Level II medical care facility between 2022 and 2025. Systemic hemodynamic parameters, severity of hypothermia, laboratory signs of tissue hypoxia, metabolic disturbances, local clinical manifestations of limb injury were assessed. Ultrasound Doppler examination and infrared thermography (IRT) were used to evaluate regional hemodynamics and tissue perfusion.

Results. Severe or extremely severe condition was recorded at admission in 104 (93.6 %) wounded. Body temperature below 35 °C was registered in 77 (69.4 %) cases. Arterial hypotension was detected in 48 (43.2 %), tachycardia exceeding 100 beats/min in 79 (71.2 %), and oliguria in 46 (41.4 %) cases. Mean blood lactate level was 3.6 ± 1.9 mmol/L. Clinical signs of impaired peripheral perfusion, including pallor, cyanosis, local hypothermia, and sensory disturbances, were identified in most patients. Severe venous outflow disorders were detected by Doppler ultrasonography in 46 (59.0 %) critically ill individuals. IRT demonstrated reduced surface temperature of the injured limb in 79 of 86 (91.9 %).

Keywords:

combat surgical trauma, frostbite, firearm fracture, osteosynthesis, polytrauma.

Zaporozhye Medical Journal. 2026;28(5):467-473

Conclusions. Combat-related combined cold thermomechanical limb injury is associated with severe systemic and regional perfusion disorders. The combined use of Doppler ultrasonography and infrared thermography enables objective assessment of ischemic tissue changes and supports clinical decision-making in the management of cold ischemic limb injuries in the combat setting.

Бойові поранення кінцівок в умовах сучасних бойових дій нерідко супроводжуються тривалим впливом низьких температур довкілля, що призводить до формування комбінованої холодової термомеханічної травми. Поєднання вогнепального ушкодження тканин із локальною та системною дією холоду пов'язане з розвитком складних порушень мікроциркуляції, тканинної гіпоксії, ендотеліальної дисфункції та системної гіперперфузії, що суттєво погіршують перебіг травматичної хвороби та результати лікування [1,2].

Однією з ключових особливостей бойової комбінованої холодової термомеханічної травми є невідповідність між ранніми клінічними проявами та реальною глибиною ішемічного ушкодження тканин [3,4,5].

На фоні загального переохолодження, шоку, крововтрати та тривалого використання кровоспинних турнікетів клінічне оцінювання життєздатності кінцівки у ранньому госпітальному періоді значно ускладнене. Порушення венозного відтоку, мікротромбоз, вазоспазм і реперфузійні зміни можуть прогресувати навіть після часткового відновлення магістрального кровообігу [4,5,6].

Відомо, що системна гіпотермія та ішемія тканин супроводжуються зростанням в'язкості крові, активацією коагуляційного каскаду, поглибленням метаболічного ацидозу та розвитком поліорганных порушень [1,2]. Водночас локальні зміни в ушкодженій кінцівці часто визначають подальшу тактику хірургічного лікування, обсяг некректомії та можливість органозберігальних втручань [7,8].

Важливе значення у ранній діагностиці порушень регіонарної гемодинаміки мають неінвазивні методи оцінювання тканинної перфузії. Ультразвукова доплерографія дає змогу оцінити стан магістрального та венозного кровотоку, а з застосуванням інфрачервоної термографії визначають температурну асиметрію та зони локальної гіперперфузії [5,9,10]. Комплексне використання цих методів сприяє покращенню об'єктивної оцінки життєздатності тканин у поранених із холодово-ішемічними ушкодженнями кінцівок [4,5,11,12].

Попри значну кількість досліджень, присвячених бойовій травмі та холодовим ушкодженням окремо, питання комплексного оцінювання системної та регіонарної перфузії при їх поєднанні залишаються недостатньо вивченими, особливо у поранених із вогнепальними переломами кісток і тривалою догоспітальною ішемією [13,14,15].

Мета роботи

Визначити клініко-діагностичні особливості порушень системної та регіонарної перфузії у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок у гострому періоді травматичної хвороби.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження проведено на клінічному матеріалі лікування 111 поранених військовослужбовців із бойовою

комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок, які перебували на лікуванні на Role 2 у період 2022–2025 років. До дослідження залучали поранених із поєднанням вогнепальних ушкоджень кінцівок і місцевого або загального холодового ураження, що виникали внаслідок тривалого перебування в умовах низьких температур під час бойових дій та медичної евакуації (табл. 1).

Дослідження мало проспективний обсерваційний характер. Усі поранені надходили після надання первинної медичної допомоги на догоспітальному етапі та Role 1. На попередніх етапах медичної евакуації здійснено тимчасову зупинку кровотечі, проведено інфузійну терапію, транспортну іммобілізацію, накладено асептичні пов'язки, а також вжито заходів для профілактики загального переохолодження.

Критерії залучення до дослідження – наявність вогнепального ушкодження кінцівки, клінічні ознаки місцевого або загального холодового ураження, порушення периферичної перфузії ураженої кінцівки, госпіталізація на Role 2 у гострому періоді травматичної хвороби. Критерії виключення – первинна ампутація кінцівки до часу госпіталізації, повне руйнування магістрального судинного пучка з неможливістю оцінки кровотоку, критичний стан, що унеможливив застосування інструментальних методів обстеження, неможливість динамічного спостереження.

Під час надходження оцінювали загальний стан поранених, рівень свідомості, показники системної гемодинаміки, ознаки травматичного шоку, ступінь загального переохолодження, стан периферичної перфузії та локальні прояви холодового ушкодження кінцівки (табл. 2).

Клінічне обстеження передбачало визначення температури тіла, частоти серцевих скорочень, частоти дихання, рівня сатурації кисню, систолічного артеріального тиску, годинного діурезу, показників за шкалою коми Глазго.

Під час оцінювання локального статусу визначали наявність і вираженість больового синдрому, порушень чутливості, змін кольору шкірних покривів, локальної температури тканин, набряку, ознак ішемії та життєздатності дистальних відділів кінцівки. Окремо аналізували особливості накладання кровоспинних турнікетів, тривалість їх застосування на кінцівці та характер перфузії після контрольованого послаблення компресії.

Лабораторне обстеження включало визначення загальноклінічних і біохімічних показників крові, оцінювання кислотно-лужного стану та параметрів коагуляції. Визначали рівні гемоглобіну, гематокриту, кількість еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів, концентрацію лактату, показники рН артеріальної крові, рівень бікарбонатів, міжнародне нормалізоване відношення, протромбіновий індекс, концентрацію фібриногену та креатиніну крові.

Для оцінювання регіонарної гемодинаміки та стану тканинної перфузії використано ультразвукову доплерографію та інфрачервону термографію.

Ультразвукове дослідження виконували з застосуванням портативного ультразвукового доплера

SonoSite A (Edan Instruments, Китай) із частотою датчика 8 МГц та ультразвукової системи Mindray DC-40 (Mindray, Китай), обладнаної режимами кольорового та спектрального доплерівського картування. Оцінювали прохідність судин, характер артеріального та венозного кровотоку, дихальну фазність, реакцію на дистальну компресію, компресійність венозної стінки та симетричність кровообігу порівняно з контралатеральною кінцівкою.

Інфрачервону термографію виконували за допомогою тепловізора FLIR C2 (FLIR Systems, США) з температурною чутливістю 0,1 °С. Дослідження проводили при температурі приміщення 22–24 °С після короткочасної адаптації пораненого до умов навколишнього середовища. Аналізували абсолютні температурні показники ураженого сегмента, температурну асиметрію між кінцівками, протяжність зон локальної гіпотермії та характер температурного градієнта (рис. 1).

Ступінь тяжкості стану поранених визначали на підставі клінічних, гемодинамічних і лабораторних критеріїв. Залежно від вираженості системної гіперфузії, шоку та загального переохолодження поранених поділили на групи нетяжкого, тяжкого та вкрай тяжкого стану.

Статистично результати опрацювали з використанням ліцензійного програмного забезпечення Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). Нормальність розподілу оцінено за критерієм Шапіро–Вілка. Для порівняння кількісних показників застосовано t-критерій Стюдента або критерій Манна–Вітні залежно від типу розподілу даних. Для аналізу якісних показників використано критерій χ^2 . Кореляційний аналіз проведено з використанням коефіцієнта Спірмена. Як статистично достовірні визначено відмінності при $p < 0,05$.

Дослідження проведено з дотриманням принципів Гельсінської декларації та схвалено локальною Комісією з питань етики Української військово-медичної академії (протокол від 10.11.2025 року № 41, м. Київ, Україна).

Результати

При надходженні на Role 2 більшість поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок перебували у тяжкому або вкрай тяжкому стані. Стан 53 (47,7 %) поранених оцінено як тяжкий, 51 (45,9 %) пацієнта – як вкрай тяжкий; стан середнього ступеня тяжкості визначено лише у 7 (6,3 %) поранених. Домінування тяжких форм травматичної хвороби пов'язане з поєднанням масивного ушкодження тканин, крововтрати, тривалого холодового впливу та значної тривалості евакуації.

Клінічна картина при надходженні характеризувалася ознаками системної гіперфузії, загального переохолодження та регіонарної ішемії ушкодженої кінцівки. Середня температура тіла становила $34,8 \pm 1,3$ °С. Ознаки загального переохолодження різних ступенів виявлено в усіх поранених. Температуру тіла нижче ніж 35 °С зареєстровано у 77 (69,4 %) випадках, нижче ніж 34 °С – у 31 (27,9 %) пораненого.

Порушення системної гемодинаміки визначено у більшості пацієнтів. Частота серцевих скорочень при надходженні становила в середньому 112 ± 21 уд./хв. Тахікардію понад 100 уд./хв діагностовано у 79 (71,2 %)

Таблиця 1. Сезонний розподіл поранених в основній та порівняльній групах

Сезон	Основна група, n = 111	%	Порівняльна група, n = 102	%
Зима	50	45,0	47	46,1
Пізня осінь	28	25,2	24	23,5
Рання весна	33	29,8	31	30,4
Загалом	111	100,0	102	100,0

Таблиця 2. Розподіл поранених за етіологічними формами холодового ураження

Показник, одиниці вимірювання	M $\pm$ SD	Min–max	n (%) з патологічними значеннями
Температура тіла, °С	$34,8 \pm 1,3$	32,1–36,4	<35 °С – 77 (69,4 %)
Частота дихання, /хв	$24,6 \pm 6,1$	12–38	> 22/хв – 68 (61,3 %)
SpO ₂ , %	$91,2 \pm 4,8$	78–98	<90 % – 28 (25,2 %)
Частота серцевих скорочень, уд./хв	112 ± 21	68–156	>100 – 79 (71,2 %)
Систолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.	92 ± 18	60–138	<90 – 48 (43,2 %)
Діурез, мл/кг/год	$0,62 \pm 0,28$	0–1,4	<0,50 – 46 (41,4 %)
Рівень свідомості, бали	$11,2 \pm 2,4$	6–15	≤ 8 – 19 (17,1 %)



Рис. 1. Визначення зон порушення перфузії уражених тканин.

поранених. Систолічний артеріальний тиск був зниженим і становив у середньому 92 ± 18 мм рт. ст., при цьому показники нижче ніж 90 мм рт. ст. зареєстровано у 48 (43,2 %) випадках. Ознаки централізації кровообігу, зокрема блідість шкірних покривів, холодні кінцівки та подовжене капілярне наповнення, виявлено у 63 (56,8 %) поранених.

Порушення функції зовнішнього дихання визначено за тахіпноєю та зниженням сатурації кисню. Частота дихання перевищувала 22 рухи за хвилину у 68 (61,3 %) поранених. Середній показник SpO₂ становив $91,2 \pm 4,8$ %, значення нижче ніж 90 % зафіксовано у 28 (25,2 %) випадках.

Олігурія або анурія були характерними проявами системної гіперфузії. Погодинний діурез становив у середньому $0,62 \pm 0,28$ мл/кг/год. Зниження діурезу менше ніж 0,5 мл/кг/год діагностовано у 46 (41,4 %) поранених, у тому числі анурію зафіксовано у 7 (6,3 %) випадках.

Порушення свідомості різних ступенів тяжкості було виявлено у 57 (51,4 %) поранених. Оглушення визначено у 38 (34,2 %) пацієнтів, сопор або глибші порушення свідомості – у 19 (17,1 %). Середній показник за шкалою коми Глазго становив $11,2 \pm 2,4$ бала.

2

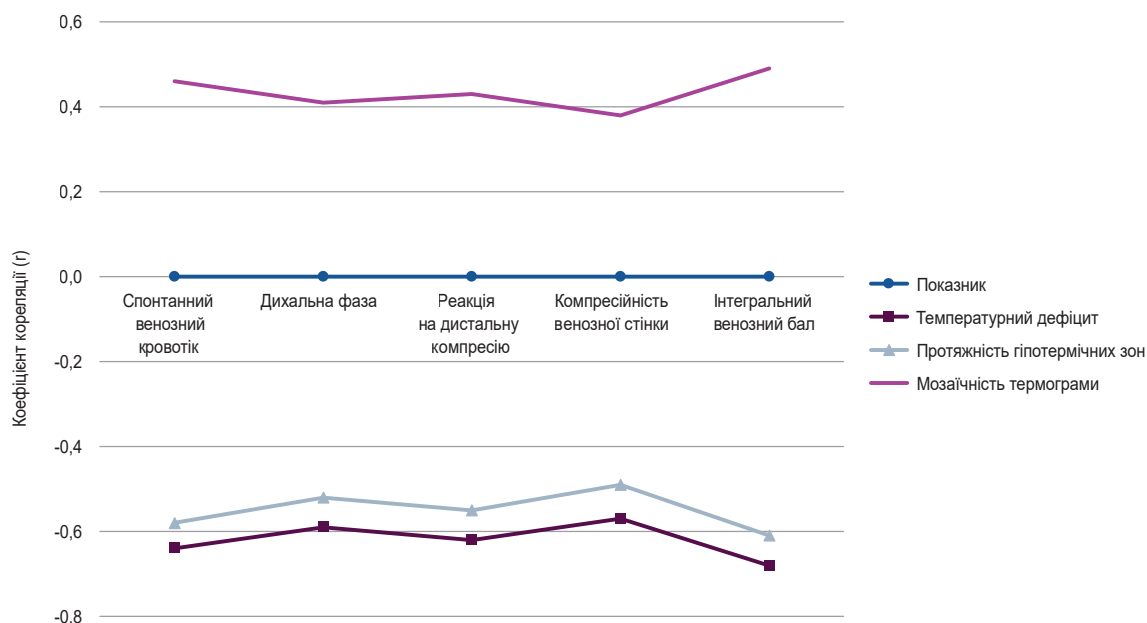


Рис. 2. Кореляційний аналіз між показниками венозної гемодинаміки та термографічними параметрами у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок.

Локальні прояви комбінованої холодової термомеханічної травми характеризувалися значною варіабельністю та залежали від тривалості холодової експозиції, ступеня ішемії та особливостей догоспітального етапу.

Больовий синдром у ділянці ураженої кінцівки визначено у 82 (73,9 %) поранених. Інтенсивний біль діагностовано у 41 (36,9 %) випадку, помірний – також у 41 (36,9 %). Водночас у 29 (26,1 %) поранених біль був слабо вираженим або його практично не було; частіше такі випадки виявляли при тяжкому шоку та помірній або тяжкій гіпотермії.

Порушення чутливості ураженої кінцівки визначено у 79 (71,2 %) поранених. Гіпестезію визначено у 46 (41,4 %) випадках, повну відсутність больової та тактильної чутливості зареєстровано у 33 (29,7 %) пацієнтів. Найбільш виражені розлади чутливості виявлено у дистальних сегментах кінцівки, ці розлади поєднувалися з ознаками локальної ішемії.

Зміни кольору шкірних покривів: блідість, ціаноз або мармуровість – виявлено у 79 (71,2 %) поранених. Ціанотичне забарвлення домінувало у 44 (39,6 %) випадках, виражена блідість – у 35 (31,5 %). У частини пацієнтів забарвлення шкіри мало нестійкий характер і змінювалося залежно від стабілізації гемодинаміки і температурного статусу.

Набряк і напруження м'яких тканин у зоні ушкодження визначено у 88 (79,3 %) поранених. Поширений напружений набряк виявлено у 47 (42,3 %) випадках, він супроводжувався ознаками порушення мікроциркуляції та локальної гіперфузії.

Під час лабораторного обстеження виявлено ознаки гострої крововтрати, метаболічного ацидозу та системної тканинної гіпоксії. Рівень гемоглобіну становив у середньому 98 ± 18 г/л, гематокриту – $30,6 \pm 5,4$ %.

Концентрація лактату була підвищеною та становила $3,6 \pm 1,9$ ммоль/л. Значення pH артеріальної крові відповідали тенденції до метаболічного ацидозу та становили в середньому $7,29 \pm 0,11$.

Показники коагуляційного гемостазу також свідчили про розвиток системних порушень гемостазу на фоні гіпотермії та травматичного шоку. У значної частини поранених визначено зниження рівня фібриногену, тромбоцитопенію та збільшення міжнародного нормалізованого відношення.

У 58 (52,3 %) поранених на час надходження були наявні кровоспинні турнікети, накладені на догоспітальному етапі для контролю зовнішньої кровотечі. Тривалість перебування турнікета на кінцівці до госпіталізації не перевищувала 1 години у 21 (36,2 %) випадку, становила 1–2 години – у 24 (41,4 %), понад 2 години – у 13 (22,4 %) поранених.

Після контрольованого послаблення або зняття турнікета ознаки вираженої ішемії дистальних відділів кінцівки виявлено у більшості поранених із проксимальним розташуванням турнікета. Водночас у частини пацієнтів навіть при тривалому накладеному турнікеті зберігалися окремі ознаки периферичної перфузії, що свідчило про неповну компресію магістральних судин (рис. 2).

Ультразвукову доплерографію ураженої кінцівки виконано у 78 (70,3 %) поранених після первинної стабілізації загального стану та відновлення магістрального кровотоку. Дослідження проведено для оцінювання стану венозної гемодинаміки, ступеня порушення регіонарної перфузії та виявлення ознак прогресування ішемії тканин.

Під час аналізу венозного кровообігу встановлено чіткий взаємозв'язок між тяжкістю загального стану поранених і вираженістю порушень венозного відтоку.

У поранених у нетяжкому стані показники венозної гемодинаміки відносно збережені. Спонтанний венозний кровотік визначено у більшості пацієнтів, зберігалася дихальна фазність і реакція на дистальну компресію.

У групі тяжких поранених визначено суттєве погіршення венозної гемодинаміки. Найчастіше реєстрували зниження інтенсивності спонтанного венозного кровотоку, порушення дихальної фазності та ослаблення реакції на дистальну компресію. Ознаки значущого порушення венозного відтоку виявлено у 21 (39,6 %) пораненого цієї групи.

Найбільш виражені зміни виявлено у вкрай тяжких поранених. Відсутність або різке пригнічення спонтанного венозного кровотоку зареєстровано у понад половини пацієнтів. У більшості випадків виявлено втрату дихальної фазності та зниження компресійності венозної стінки, що свідчило про виражені порушення мікроциркуляції та венозного відтоку.

Поєднання трьох і більше патологічних ультразвукових ознак одночасно було характерним переважно для тяжких і вкрай тяжких поранених, супроводжувалося високим ризиком прогресування ішемічно-некротичних змін у тканинах кінцівки. Ультразвукові критерії, пов'язані з тромбозом глибоких вен, виявлено у 9 (11,5 %) поранених, переважно на фоні тривалої ішемії, тяжкого шоку та вираженої гіпотермії (рис. 3).

Інфрачервону термографію виконано у 86 поранених у ранньому госпітальному періоді після контрольованого відновлення кровотоку в ураженій кінцівці. Під час дослідження оцінювали температурний профіль тканин, ступінь температурної асиметрії та характер розподілу зон локальної гіпотермії.

Зниження поверхневої температури ушкодженої кінцівки порівняно з інтактною виявлено у 79 (91,9 %) поранених. Середня різниця температур між симетричними сегментами становила $3,1 \pm 1,4$ °C. У 48 (55,8 %) випадках температурний дефіцит перевищував 3 °C, що відповідало вираженим порушенням регіонарної перфузії.

Гіпотермічні зони мали різний характер і поширеність. У частини поранених вони локалізувалися переважно дистальніше рівня вогнепального ушкодження, а в тяжких випадках поширювалися на весь сегмент кінцівки. Мозаїчний тип термографічних змін із чергуванням ділянок гіпотермії та відносно збереженої температури частіше визначено у пацієнтів із частковим збереженням венозного кровотоку.

Різкий температурний перехід між проксимальними та дистальними відділами кінцівки виявляли переважно у поранених із критичними порушеннями венозної гемодинаміки та значним пригніченням кровотоку, за даними доплерографії. Натомість поступовий температурний градієнт частіше спостерігали при частковому збереженні регіонарної перфузії.

У поранених із вкрай тяжким загальним станом та шоком II–III ступенів термографічна картина характеризувалася найбільшим температурним дефіцитом і протяжними зонами локальної гіпотермії. Середня різниця температур у цій групі була достовірно більшою порівняно з тяжкими та нетяжкими пораненими.

За даними кореляційного аналізу, виявлено статистично значущий взаємозв'язок між показниками венозної

Таблиця 3. Незалежні предиктори розвитку ішемічно-некротичних змін кінцівки

Показник	β	Wald	p	OR	95 % ДІ
Інтегральний венозний бал ≤ 2	1,94	12,7	<0,001	6,9	2,6–18,3
Температурна асиметрія $>2,0$ °C	1,21	6,4	0,011	3,4	1,3–8,9
CAT <90 мм рт. ст.	0,74	3,9	0,048	2,1	1,0–4,5
Помірне / тяжке переохолодження	0,41	1,7	0,19	1,5	0,7–3,4

3

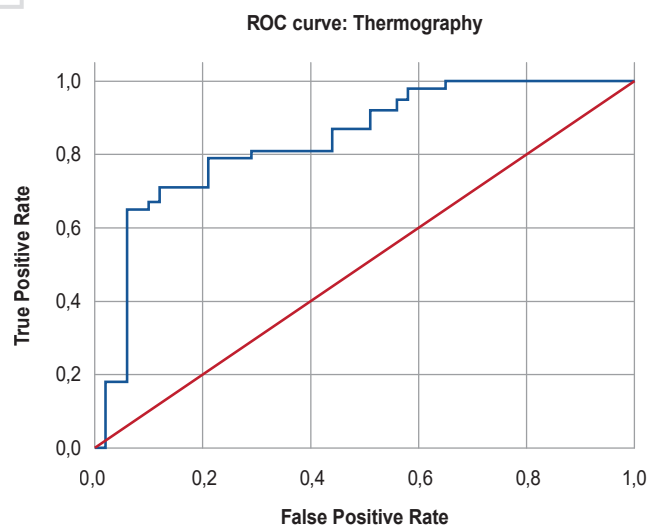


Рис. 3. ROC-крива термографії у прогнозуванні розвитку вторинного некрозу у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівки.

гемодинаміки та термографічними характеристиками уражених кінцівок. Погіршення показників венозного кровотоку супроводжувалося збільшенням температурного дефіциту та розширенням зон локальної гіпотермії, що свідчило про взаємозалежність порушень венозного відтоку та тканинної перфузії.

Отримані результати підтвердили, що поєднане використання ультразвукової доплерографії та інфрачервоної термографії дає змогу об'єктивніше оцінити ступінь ішемічних змін у тканинах кінцівки, визначити ризик прогресування некрозу та оптимізувати вибір лікувальної тактики у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою (табл. 3).

Обговорення

Результати дослідження дали змогу підтвердити, що бойова комбінована холодова термомеханічна травма кінцівок супроводжується поєднанням системної та регіонарної гіперперфузії, вираженість яких істотно впливає на тяжкість перебігу травматичної хвороби та прогноз збереження кінцівки. Формування ішемічних порушень у таких поранених має багатокомпонентний характер і зумовлене не лише безпосереднім механічним ушкодженням тканин, але й впливом загального переохолодження, крововтрати, тривалої догоспітальної ішемії та порушень венозного відтоку [5,7,11,13].

Встановлено, що у більшості поранених уже при надходженні на Role 2 було виявлено клінічні та ла-

бораторні ознаки системної гіперперфузії. Артеріальна гіпотензія, тахікардія, олігурія, метаболічний ацидоз та підвищення концентрації лактату свідчили про глибокі порушення тканинного метаболізму та кисневого забезпечення. Водночас локальні прояви ішемії кінцівки нерідко не відповідали реальній глибині мікроциркуляторних порушень, особливо у поранених із помірною та тяжкою гіпотермією.

Особливу роль у патогенезі комбінованої холодової термомеханічної травми відіграють порушення венозного відтоку та мікроциркуляції. Отримані результати ультразвукової доплерографії показали, що погіршення венозної гемодинаміки супроводжувалося наростанням клінічних ознак ішемії та прогресуванням локальної гіпотермії тканин. Втрата дихальної фазності, пригнічення спонтанного венозного кровотоку та зниження компресійності венозної стінки були найбільш характерними для вкрай тяжких поранених із тривалою ішемією та шоком II–III ступенів.

Виявлені термографічні зміни також підтвердили наявність значних порушень регіонарної перфузії. Збільшення температурного дефіциту та поширення зон локальної гіпотермії корелювали з тяжкістю загального стану та вираженістю венозної дисфункції. При цьому мозаїчний характер температурних змін у частини поранених, імовірно, був пов'язаний із нерівномірністю мікроциркуляції та частковим збереженням колатерального кровопостачання.

Слід зазначити, що застосування кровоспинних турнікетів суттєво впливало на клінічну картину регіонарної ішемії. При тривалому або надмірному стисненні магістральних судин формувалися більш виражені порушення венозного відтоку та тканинної перфузії. Водночас у частини поранених навіть після тривалого накладення турнікета зберігалися ознаки часткового кровопостачання дистальних відділів кінцівки, що свідчило про неоднорідність компресії та варіабельність ішемічних змін.

Отримані результати підтверджують, що клінічне оцінювання життєздатності тканин у ранньому госпітальному періоді є недостатньо інформативним без використання додаткових інструментальних методів дослідження. Поєднане застосування ультразвукової доплерографії та інфрачервоної термографії дає змогу об'єктивізувати ступінь порушення тканинної перфузії, визначити ризик прогресування ішемічно-некротичних змін і покращити прогнозування перебігу холодового ушкодження кінцівки.

Отже, оцінювання системної та регіонарної гемодинаміки у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою має важливе значення для ранньої стратифікації тяжкості стану, визначення лікувальної тактики та вибору обсягу органозберігальних хірургічних втручань.

Висновки

1. У 104 (93,6 %) поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою кінцівок при надходженні на Role 2 стан оцінено як тяжкий або вкрай тяжкий, що супроводжувався вираженими порушеннями системної та регіонарної перфузії на фоні травматичного шоку, крововтрати та загального переохолодження.

2. Ознаки системної гіперперфузії при госпіталізації встановлено у більшості поранених: артеріальну гіпотензію (CAT <90 мм рт. ст.) діагностовано у 48 (43,2 %) осіб, тахікардію понад 100 уд./хв – у 79 (71,2 %), олігурію – у 46 (41,4 %), температуру тіла нижче ніж 35 °C – у 77 (69,4 %) пацієнтів, а середній рівень лактату крові становив $3,6 \pm 1,9$ ммоль/л.

3. Ультразвукові ознаки вираженого порушення венозного виявлено у 21 (39,6 %) тяжкого та 25 (49,0 %) вкрай тяжких поранених. Вони супроводжувалися збільшенням температурного дефіциту ураженої кінцівки до $4,2 \pm 1,3$ °C, за даними інфрачервоної термографії.

4. Зниження поверхневої температури ушкодженої кінцівки порівняно з інтактною виявлено у 79 із 86 (91,9 %) поранених, при цьому температурний дефіцит понад 3 °C, що відповідав вираженій регіонарній гіперперфузії, зареєстровано у 48 (55,8 %) випадках.

5. Поєднане використання ультразвукової доплерографії та інфрачервоної термографії сприяло об'єктивізації ступеня ішемічних змін тканин кінцівки, дало змогу оцінити ризик прогресування локального некрозу та оптимізувати вибір органозберігальної хірургічної тактики у поранених із бойовою комбінованою холодовою термомеханічною травмою.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні методів ранньої діагностики порушень тканинної перфузії при бойовій комбінованій холодовій термомеханічній травмі кінцівок, розробленні прогностичних критеріїв життєздатності тканин та оптимізації лікувальної тактики на різних етапах медичної евакуації. Перспективним є також вивчення взаємозв'язку між показниками регіонарної гемодинаміки, мікроциркуляторними порушеннями та розвитком ішемічно-реперфузійного ушкодження, а також оцінювання ефективності сучасних методів органозберігального лікування, спрямованих на покращення перфузії ушкоджених тканин і зниження частоти ампутацій у поранених із холодово-ішемічними ураженнями кінцівок.

Фінансування

Дослідження виконано в рамках спільної НДР Української військово-медичної академії та Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» на тему: «Розроблення та удосконалення сучасних медичних технологій діагностики та лікування ускладнень бойової хірургічної травми», державний реєстраційний № 0126U000811 (2026–2028).

Декларація щодо використання ШІ

Під час підготовки статті використано такий інструмент штучного інтелекту – ChatGPT. Його застосовано для вдосконалення мови, ясності та стилю англomовного тексту. Усі фрагменти, створені або опрацьовані з використанням ШІ, перевірені та відредаговані авторами, які несуть повну відповідальність за зміст статті.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 14.05.2026

Після доопрацювання / Revised: 22.07.2026

Схвалено до друку / Accepted: 28.07.2026

Відомості про авторів:

Король С. О., д-р мед. наук, полковник медичної служби, професор, начальник каф. військової хірургії факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації, Українська військово-медична академія, м. Київ, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-1036-0355](https://orcid.org/0000-0002-1036-0355)

Палій І. П., PhD, майор медичної служби, старший викладач каф. військової хірургії факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації, Українська військово-медична академія, м. Київ, Україна.

ORCID ID: [0000-0001-8361-1592](https://orcid.org/0000-0001-8361-1592)

Міхеєв Ю. О., д-р мед. наук, майор медичної служби, професор каф. медицини катастроф та військової медицини, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет; Запорізький військовий госпіталь, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-0305-1570](https://orcid.org/0000-0002-0305-1570)

Information about the authors:

Korol S. O., MD, PhD, DSc, Colonel of Medical Service, Professor, Head of the Department of Military Surgery, Faculty of Retraining and Advanced Training, Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv, Ukraine. Palii I. P., MD, PhD, Major of Medical Service, Senior Lecturer of the Department of Military Surgery, Faculty of Retraining and Advanced Training, Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv, Ukraine. Mikheev Yu. O., MD, PhD, DSc, Major of Medical Service, Professor of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University; Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.



Ihor Palii (Ihor Palii)
doktorpalii@gmail.com

References

- Hernigou P, Homma Y, Herard P, Scarlat MM. The loneliness of the local orthopaedic surgeon in disaster zones. *Int Orthop*. 2024;48(2):323-30. doi: [10.1007/s00264-024-06089-5](https://doi.org/10.1007/s00264-024-06089-5)
- Morton J. Development of a Novel Multi-Stage Limb Salvage Technology for the optimisation of tissue viability in severely injured limbs [dissertation]. Glasgow: University of Strathclyde; 2020. Available from: [10.48730/at57-x310](https://doi.org/10.48730/at57-x310)
- Zaramo TZ, Green JK, Janis JE. Practical Review of the Current Management of Frostbite Injuries. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2022;10(10):e4618. doi: [10.1097/GOX.00000000000004618](https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000004618)
- Persitz J, Essa A, Ner EB, Assaraf E, Avisar E. Frostbite of The Extremities – Recognition, Evaluation and Treatment. *Injury*. 2022;53(10):3088-93. doi: [10.1016/j.injury.2022.07.040](https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.07.040)
- Covey DC, Gentchos CE. Field tourniquets in an austere military environment: A prospective case series. *Injury*. 2022;53(10):3240-7. doi: [10.1016/j.injury.2022.07.044](https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.07.044)
- Eisenhauer I, April MD, Rizzo JA, Fisher AD, Maddry JK, Bebart VS, et al. Seasonal Association With Hypothermia in Combat Trauma. *Mil Med*. 2024;189(9-10):2004-8. doi: [10.1093/milmed/usad451](https://doi.org/10.1093/milmed/usad451)
- Maqungo S, Kauta N, Held M, Mazibuko T, Keel MJ, Laubscher M, et al. Gunshot injuries to the lower extremities: Issues, controversies and algorithm of management. *Injury*. 2020;51(7):1426-31. doi: [10.1016/j.injury.2020.05.024](https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.05.024)
- Yeganeh A, Amiri S, Otoukesh B, Moghtadaei M, Sarreshtedari S, Daneshmand S, et al. Characteristic Features and Outcomes of Open Gunshot Fractures of Long-bones with Gustilo Grade 3: A Retrospective Study. *Arch Bone Jt Surg*. 2022;10(5):453-8. doi: [10.22038/ABJS.2021.52886.2624](https://doi.org/10.22038/ABJS.2021.52886.2624)
- Lorentzen AK, Davis C, Penninga L. Interventions for frostbite injuries. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;12(12):CD012980. doi: [10.1002/14651858.CD012980.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD012980.pub2)
- Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, Landau ME, Smith JK, McKay PL, et al. Combat Injury of the Sciatic Nerve – An Institutional Experience. *Mil Med*. 2018;183(9-10):e434-41. doi: [10.1093/milmed/usy030](https://doi.org/10.1093/milmed/usy030)
- Wibbenmeyer L, Lacey AM, Endorf FW, Logsetty S, Wagner A, Gibson A, et al. American Burn Association Clinical Practice Guidelines on the Treatment of Severe Frostbite. *J Burn Care Res*. 2024;45(3):541-56. doi: [10.1093/jbcr/irad022](https://doi.org/10.1093/jbcr/irad022)
- Pumiglia L, Williams JM, Prey BJ, Francis AD, Lammers DT, Zhang BZ, et al. Hypothermia and the Global War on Terror: 18 Years of Minimal Progress. *Mil Med*. 2024;189(Suppl 3):190-5. doi: [10.1093/milmed/usae072](https://doi.org/10.1093/milmed/usae072)
- Ogunleye EO, Olusoji OO, Kanu OO. Vascular injuries: Aetiology, presentation and management outcomes at a tertiary hospital in Lagos, Nigeria. *Niger Postgrad Med J*. 2022;29(4):334-40. doi: [10.4103/npmj.npmj_221_22](https://doi.org/10.4103/npmj.npmj_221_22)
- Mathieu L, Pfister G, Murison JC, Oberlin C, Belkheyr Z. Missile Injury of the Sciatic Nerve: Observational Study Supporting Early Exploration and Direct Suture With Flexed Knee. *Mil Med*. 2019;184(11-12):e937-44. doi: [10.1093/milmed/usz087](https://doi.org/10.1093/milmed/usz087)
- Rosenberger M, Lo J, Hinika G, Shenouda M, Salibian M. A Case of Aggressive Resuscitation and Timely Surgical Intervention to Reverse Severe Acidosis After Multiple Gunshot Wounds to the Chest, Abdomen, and Left Shoulder With a Bullet Fragment Retained in the Heart. *Cureus*. 2021;13(7):e16362. doi: [10.7759/cureus.16362](https://doi.org/10.7759/cureus.16362)