

УДК 616.717/.718-001.5-073.7(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025417-24>

## Руйнування кістки й оточуючих тканин у разі вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок (клініко-рентгенологічна класифікація). Перше повідомлення

О. К. Попсуйшапка<sup>1</sup>, В. О. Литвишко<sup>3</sup>, Р. В. Малик<sup>1</sup>,  
Я. А. Долуда<sup>2</sup>, Д. О. Міхановський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний медичний університет. Україна

<sup>2</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

<sup>3</sup> КНП «Чугуївська центральна лікарня ім. М. І. Кононенка». Україна

**Objective.** To determine the nature of the destruction of the bone and surrounding tissues in gunshot fractures of the long bones of the extremities and to create their clinical and radiological classification. **Material and methods.** 123 cases with gunshot fractures of the long bones of the extremities (127 fractures) were studied. The number of intermediate fragments, the magnitude of their transverse displacement, the length of the bone destruction zone, the shape and size of the soft tissue wound were studied. During the operation, the state of the anatomical connection of the fragments with the periosteum and muscles was assessed. Based on known data on the mass and speed of traumatic agents, calculations of their energy that occur during the action of a bullet and a hit by a moving car were made. **Results.** 97 % of the victims had multifragment fractures, among them 50 % had 2–3 intermediate fragments, 30 % — 4–6 and 22 % — 7 or more, or a primary bone defect was formed. Based on the number of formed intermediate fragments, the magnitude of their transverse displacement and the presence (or absence) of anatomical connection with living tissues, we distinguished three types of gunshot fracture: 1 — with slight or moderate transverse displacement of the intermediate and main fragments (within the diameter of the bone and with preservation of the longitudinal orientation); 2 — with significant transverse displacement of one or more intermediate fragments (in the direction of the projectile movement) with loss of anatomical connection with the periosteum and formation of a parietal defect of the bone and a wound of medium or large size; 3 — with excessive transverse displacement of all intermediate fragments (in the direction of the projectile movement) with loss of their anatomical connection with the periosteum and formation of a complete transverse defect of the bone. It was found that in the majority (66%) of gunshot fractures, despite the presence of a soft tissue wound, the intermediate and main fragments retain an anatomical connection with the periosteum and muscles, and this is of great importance in choosing treatment tactics. **Keywords.** Gunshot fractures, morphology, classification.

**Мета.** З'ясувати характер руйнування кістки й оточуючих її тканин за вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок і створити їх клініко-рентгенологічну класифікацію. **Методи.** Досліджено 123 особи з вогнепальними переломами довгих кісток кінцівок (127 переломів). Вивчали кількість проміжних уламків, величину їхнього поперечного зміщення, протяжність зони руйнування кістки, форму та розміри рани м'яких тканин. Під час операції оцінювали стан анатомічного зв'язку уламків з окістями і м'язами. На підставі відомих даних про масу і швидкість травмуючих агентів проведено розрахунки їхньої енергії за умов дії кулі чи удару автомобілем, який рухається. **Результати.** У 97 % постраждалих були багатоуламкові переломи, серед них 50 % мали 2–3 проміжні уламки, 30 — 4–6 і 22 % — 7 і більше проміжних уламків, або утворився первинний дефект кістки. На підставі кількості утворених проміжних уламків, величини їх поперечного переміщення та наявності (або відсутності) анатомічного зв'язку з живими тканинами нами виділено три типи вогнепальних переломів: 1 — із незначним або помірним поперечним переміщенням проміжних і основних уламків (у межах поперечника кістки і зі збереженням повздожньої орієнтації); 2 — зі значним поперечним переміщенням одного або декількох проміжних уламків (за напрямом руху снаряда) зі втратою анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням пристінкового дефекту кістки і рани середніх або великих розмірів; 3 — із надмірним поперечним переміщенням усіх проміжних уламків (за напрямом руху снаряда) з втратою ними анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням повного поперечного дефекту кістки. **Висновки.** Виявлено, що за більшості (66 %) вогнепальних переломів, не дивлячись на наявність рани м'яких тканин, проміжні й основні уламки зберігають анатомічний зв'язок з окістями і м'язами, це має важливе значення вибору тактики лікування.

**Ключові слова.** Вогнепальні переломи, морфологія, класифікація

## Вступ

Переломи, які виникли від снаряду зі запасом кінетичної енергії відрізняються від тих, що ми звикли бачити в мирний час і також пов'язані з дією високоенергетичного носія. Із досвіду останніх років видно, що руйнування довгих кісток кулею або осколком відбуваються у вигляді таких переломів: багатоуламкових (26 %), роздроблених (69 %), а також із утворенням первинного дефекту кістки (5 %) [1]. Наш попередній аналіз вогнепальних переломів показав, що вони за формою площини зламу та кількістю уламків наближалися до типів В (40 %) і С (47 %) [2] відповідно до класифікації АО (Fracture and Dislocation Classification Compendium) [3]. Але деякі варіанти вогнепального руйнування кістки не враховані, наприклад, перелом, який сполучається з наявністю кісткового дефекту.

У наукових статтях щодо лікування вогнепальних переломів користуються класифікацією відкритих переломів Gustilo-Anderson, яка була запропонована в 1976 році [4] і надалі уточнена в 1984 [5]. Стосовно зв'язку між характером площини зламу кістки й обсягом руйнування м'яких тканин, автори класифікації вказують, що для I і II типів відкритого перелому притаманна одна поперечна або коса площина, а для III — декілька площин й утворення проміжних уламків. Слід зазначити, що ця класифікація базується на досвіді лікування відкритих переломів мирного часу і серед них за частотою переважають переломи з однією площиною зламу.

Морфологія вогнепального перелому нерозривно пов'язана з руйнуванням навколишніх м'яких тканин і все це необхідно розглядати й оцінювати як одне ціле. Із нашої точки зору, маючи однотипний механогенез і схожі риси руйнування, вони потребують окремої класифікації, яка б поділяла їх за рівнем тяжкості, прогнозом загоєння, а також була підставою для вибору методики лікування.

**Мета:** з'ясувати характер руйнування кістки й оточуючих її тканин за вогнепальних переломів довгих кісток кінцівок і створити їхню клініко-рентгенологічну класифікацію.

## Матеріал і методи

Роботу виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я, усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень (протокол № 256 від 17.11.2025 ДУ «Інститут патології хребта та суг-

лобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»). Всі постраждалі підписали інформовану згоду.

Дослідження засновано на досвіді лікування 123 постраждалих із вогнепальними переломами довгих кісток кінцівок у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (93 особи) і КНП «Чугуївська центральна лікарня ім. М. І. Кононенка» (30 випадків). За локалізацією ураженого сегмента вони розподілялися таким чином: гомілка 38 (34 %), стегно 30 (24 %), плече 30 (24 %), передпліччя 25 (18 %). Серед них у 4 випадках було уражено два сегменти в різних комбінаціях (усього 127). Ці хворі надходили до нас в ургентному порядку прямо з місця травми (36) або через 3–12 діб після поранення для продовження лікування уже з зовнішнім апаратом.

*Клінічне оцінювання форми та розмірів ранового каналу або дефекту*

Серед усієї різноманітності вогнепальних ран ми вважаємо за раціональне виділити три варіанти.

*Тунельна форма* каналу з наступними ознаками:

- протяжність каналу перевищує або відповідає розмірам шкіряної рани;
- обсяг дефекту м'яких тканин не великий, зникає вглибині за рахунок злипання стінок, а краї шкіряної рани можна звести швами;
- може бути як сліпим, так і наскрізним.

*Секторальна форма* дефекту, який розповсюджується або лише на м'які тканини, або на м'які тканини і на зруйновану кістку. Для нього характерно:

- можливість візуального контролю майже всієї ранової поверхні;
- виникає дефіцит тканин і труднощі зі зведенням країв рани.

Можлива комбінація обох варіантів, коли вхідна тунельна частина ранового каналу переходить у секторальну (*тунельно-секторальна форма*).

Під час первинного обстеження вогнепального перелому виміряти і скласти уявлення про обсяг зони руйнування м'яких тканин не завжди є можливим, особливо коли канал має тунельну форму. Основний об'єктивний параметр — розмір шкіряної рани, який ми пропонуємо градуювати як малий (до 3 см), середній (4–10) і великий (більше 10), беручи за основу її найбільшу повздовжню величину.

*Характер руйнування кістки та переміщення уламків за даними рентгенографії*

Оскільки переважно більшість складали уламкові переломи, які можна було віднести до типів В і С, ми звертали увагу на такі ознаки:

1. Кількість проміжних уламків, їхню форму та розмір;

2. Величину максимального поперечного переміщення основних уламків (рис. 3) один відносно іншого. Її виміряли за умов зафіксованих зовнішнім апаратом уламків і виражали у відсотках до поперечного розміру кістки;

3. Величину максимального поперечного переміщення проміжних уламків (рис. 3) відносно поверхні основних також подавали у відносних одиницях. Звертали увагу на наявність ротаційного переміщення уламків, що могло бути ознакою їхнього відділення від м'яких тканин. Якщо мало місце поперечне переміщення проміжного або основного уламка до поперечника кістки, його вважали незначним або помірним, більше повного поперечника — значним, за межу поверхні сегмента — надмірним.

4. Протяжність зони руйнування кістки (рис. 1) визначали також у відсотках по відношенню до довжини сегмента.

Додаткову інформацію про обсяг внутрішнього руйнування м'яких тканин і стан анатомічного зв'язку проміжних уламків з окістям і м'язами ми отримували під час проведення первинної хірургічної обробки рани. Виконуючи маніпуляції щодо видалення металевих снарядів, візуально і пальпаторно намагалися з'ясувати розміри руйнації м'язів, а також перевіряли стан проміжних уламків, які знаходилися далеко за межами свого природного місця. Варто зазначити, що можливість огляду руйнацій за тунельного ранового каналу обмежена і тому покладалися на його пальпаторне обстеження. За необхідності, коли треба було видалити металеві предмети, рановий канал раціонально розширювали й візуально оцінювали стан тканин.

Матеріали дослідження статистично оброблені з використанням методів параметричного та непараметричного аналізу в електронних таблицях Microsoft Office Excel 2016. Статистичний аналіз проводився зі застосуванням програми STATISTICA 10.0. У разі опису кількісних показників розраховували результати вимірювань за допомогою методів описової статистики — середнє ( $M$ ) та його стандартне відхилення ( $SD$ ), мінімальне та максимальне значення. Для порівняння незалежних сукупностей у випадках невеликої кількості спостережень і відсутності ознак нормального розподілу даних використовувалася  $U$ -критерій Манна-Уїтні. Із метою вивчення зв'язку між явищами, наведеними кількісними даними, розподіл яких відрізнявся від нормаль-

ного, застосовувався непараметричний метод — розрахунок коефіцієнта рангової кореляції Спірмена [6].

## Результати та їх обговорення

Аналіз виявив такий розподіл вогнепальних переломів за кількістю уламків:

- без проміжних (перелом з однією площиною) — 4 (3 %);
- 1–3 проміжних — 63 (49,6 %);
- 4–6 проміжних — 38 (30 %);
- 7 і більше проміжних — 11 (8,7 %);
- наявність первинного дефекту ділянки кістки — 11 (8,7 %).

Виявлено, що переважну більшість складають багатоуламкові переломи (97 %). Причому серед них 49,6 % — ті, які мали 1–3 проміжних уламки, зі зростанням кількості уламків частота відповідних переломів зменшувалася. Важливо також відмітити, що за 8,7 % переломів мало місце утворення дефекту ділянки кістки, якому передував стан із великою кількістю проміжних уламків, переміщених за напрямком руху снаряда з руйнуванням м'яких тканин. У 2-х постраждалих вони були втрачені на попередніх етапах, у решти 9 — видалені під час виконання повторних хірургічних обробок рани.

Характерним для багатоуламкових вогнепальних переломів довгих кісток було те, що руйнування відбувалося через утворення тріщин і розколів, орієнтованих переважно в повздовжньому напрямку і тому проміжні уламки мали видовжену форму. Це можна пояснити тим, що формування тріщин відбувається по міжкостеонній речовині [7], а остеони в довгих кістках, як відомо, орієнтовані в повздовжньому напрямку. За протяжністю зони руйнування кістки переломи розподілялися наступним чином: 54 % вогнепальних склали 25 % довжини сегмента, 43 % були в межах 26–50, і 3 % мали протяжність більше ніж 50 % довжини сегмента. Отже ми бачимо, що значна протяжність руйнування кістки пов'язана з утворенням переважно їх повздовжніх розколів.

### *Величина переміщення основних уламків*

Після з'єднання основних уламків зовнішнім апаратом у переважній більшості переломів (76 %) відбулося їхнє поперечне зміщення, яке не перевищувало поперечний розмір кістки на цьому рівні, у решти (24 %) воно виходило за межі поперечника. Це було саме те положення, яке досягалося під час первинної хірургічної обробки ран(и) та фіксації уламків зовнішнім стрижневим апаратом. Як правило, зіставлення уламків



проводилося шляхом тракції сегмента з відновленням його анатомічної осі. Таке положення основних уламків оцінювалося як допустиме.

*Величина і напрямок переміщення проміжних уламків і характер руйнування м'яких тканин*

Їхнє переміщення було різним, тому ми виділили три клінічні групи вогнепальних переломів.

*Перша* — проміжні й основні уламки зберігають по ширині помірне зміщення, утворюючи розширення ушкодженої частини кістки приблизно до 50 % (рис. 1). При цьому проміжні уламки зберігали повздовжню орієнтацію і були без значних ротаційних переміщень. Переважна більшість цих переломів поєднувалася зі сліпою або наскрізною раною м'яких тканин тунельної форми малого або середнього розміру — 80 випадків (63 %). До цієї групи були віднесені також вогнепальні переломи з однією площиною зламу 4 (3 %), із незначним або помірним поперечним зміщенням уламків.

*Друга* — частина проміжних уламків (або один із них) переміщалися по ширині на значну або надмірну величину, яка перевищувала повний поперечник кістки, опиняючись за її межами. Вони втрачали повздовжню орієнтацію або розверталися навкруги своєї повздовжньої та поперечної осей. Указані рентгенологічні ознаки свідчили про можливе відшарування окістя від переміщених таким чином проміжних уламків (рис. 2). За характером і розміром ран (середній або великий) можна побачити, що напрямок переміщення уламків відповідав руху снаряда. Стан життєздатності проміжних уламків оцінювали під час хірургічної обробки рани. Якщо він був відокремленим від м'яких тканин і навкруги утворювався некроз, його видаляли, що призводило до утворення пристіночного дефекту. Але інша частина проміжних уламків своєю зовнішньою поверхнею лишалася з'єднаною з окістям і м'язами, утворювала своєрідну перемичку між основними уламками. Такий варіант руйнування кістки зафіксовано в 32 випадках (25 %).

*Третю* склали 11 (8,7 %) переломів, коли всі або більшість проміжних уламків опинялися за межами сегмента, були відокремлені від м'яких тканин, що спричинювало утворення тотального дефекту ділянки кістки (рис. 3). У разі останніх двох варіантів перелом супроводжувався раною м'яких тканин, яка мала тунельно-секторальну або секторальну форму середніх і великих розмірів. Для загального уявлення цих типів вогнепальних переломів наводимо їхнє схематичне зображення (рис. 4).

Цифрові показники величини поперечного зміщення проміжних уламків у постраждалих першої і другої груп обчислені за допомогою непараметричного U-критерію Манна-Уїтні. У першій групі ( $n = 80$ ) в середньому  $(27,1 \pm 14,6) \%$  (1–56), а в другій ( $n = 32$ ) —  $(78,2 \pm 14,0) \%$  (57–100). Спостерігається статистично достовірна різниця між групами за цим показником ( $U = 0$ ,  $Z = -6,32$ ;  $p = 0$ ,  $p < 0,05$ ), що є очікуваним явищем, оскільки нами проведено попередній упереджений розподіл за групами.

Кількість проміжних фрагментів у 1 групі ( $n = 80$ ) склала в середньому  $(2,9 \pm 2,2)$  шт. (0–9), а в 2 ( $n = 32$ ) —  $(4,4 \pm 2,5)$  шт. (0–9). Спостерігається статистично достовірна різниця між групами за цим показником, яка обчислена за допомогою непараметричного U-критерію Манна-Уїтні ( $U = 286,5$ ;  $Z = -2,26$ ;  $p = 0,02$ ;  $p < 0,05$ ).

Зафіксовано помірний прямий кореляційний зв'язок між величиною максимального поперечного зміщення проміжних уламків і розміром рани сумарно в обох групах ( $r = 0,44$ ;  $p < 0,05$ ).

Величина протяжності руйнування кістки в 1 групі ( $n = 80$ ) склала в середньому  $(24,2 \pm 9,5) \%$  (6–44), а в 2 ( $n = 32$ ) —  $(30,2 \pm 9,6) \%$  (13–48) і в 3  $(20,5 \pm 7,6) \%$  (6–32). Спостерігається відсутність статистично достовірної різниці між групами за цим показником (U-критерій Манна-Уїтні  $U = 248,00$ ;  $Z = -1,92$ ;  $p = 0,05$ ;  $p > 0,05$ ). Це значення не є критерієм для поділу на групи, але у всіх випадках воно впливає на вибір способу з'єднання основних уламків.

Виявлено помірний прямий кореляційний зв'язок між протяжністю руйнування кістки та кількістю проміжних її фрагментів сумарно в усіх групах ( $r = 0,37$ ;  $p < 0,05$ ).

Виявлено, що за характером руйнування кістки вогнепальні переломи суттєво відрізняються від переломів мирного часу, і, зокрема, тих, які виникають від дії високоенергетичних носіїв (транспортних засобів із відповідною швидкістю руху). Для останніх є характерним поперечний одноплощинний або перелом з утворенням одного проміжного уламка трикутної форми (так званий «бампер-перелом»).

Спробуємо на підставі відомих фактів з'ясувати особливості механогенезу руйнування кістки за вогнепального перелому. Спочатку розрахуємо і порівняємо кінетичну енергію, яку несуть кулі від поширених видів стрілецької



**Рис. 1.** Фотовідбитки пораненої кінцівки та рентгенограм постраждалого Ц., 45 років, який отримав вогнепальний перелом середньої третини лівої гомілки з помірним поперечним переміщенням проміжних уламків і сліпою тунельною раню середніх розмірів. Перша клінічна група



**Рис. 2.** Фотовідбитки кінцівки та рентгенограм пораненого Г., 25 років, якому під час первинної хірургічної обробки видалено декілька змішених нежиттєздатних проміжних уламків у напрямку вихідної рани, яку закрили після очищення шляхом зведення країв. Через 2 міс. над проміжними уламками, що залишилися, утворився періостальний кістковий регенерат (показаний стрілкою). Друга клінічна група



**Рис. 3.** Фотовідбитки рентгенограм і вигляду гомілки пораненого А., 45 років, який отримав вогнепальний перелом великогомілкової кістки з надмірним переміщенням проміжних уламків у напрямку руху кулі (визначення поперечного переміщення основних і проміжних уламків показані стрілками), 7 проміжних уламків були відшаровані від м'яких тканин і видалені під час первинної обробки рани, у результаті чого утворився повний дефект кістки — 9,5 см. Рана визначена як тунельно-секторальна і в подальшому її вихідна частина була закрита шкіряним клаптом на ніжці. Вхідна рана розширена через компартмен-синдром, потім зашита. Третя клінічна група

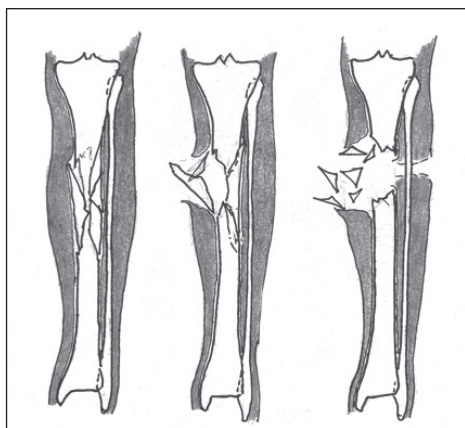
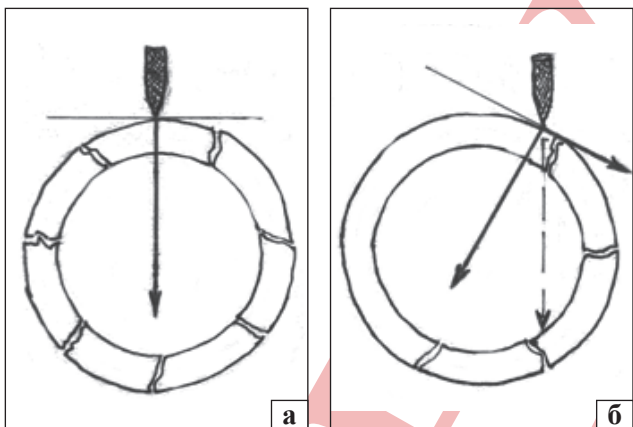
зброї [8] і легковий автомобіль, який рухається, за відомою формулою  $E = mv^2/2$  (табл.).

Розрахунки показують, що легковий автомобіль масою 1300 кг за швидкості 60 км/год несе кінетичної енергії в 7–12 разів більше ніж куля стрілецької зброї з початковою швидкістю 800–954 м/сек. Цей факт дає підставу припустити, що сама по собі величина кінетичної енергії не є причиною багатоуламковості під час руйнування кістки. Як ми бачимо, куля або металевий осколок здебільшого руйнує кістку шляхом утворення великої кількості тріщин по вздовжнього напрямку, які далі розширюються, призводять до фрагментації її ділянки. У теорії механіки руйнування [9] це найпоширеніший крихкий вид руйнування, «результат лавиноподібного зростання мікротріщин (зі швидкостями до 1/3 швидкості звуку), коли пружна деформація досягає такої величини, що руйнуються міжатомарні зв'язки...». Існує ще квазікрихке руйнування, для якого характерна певна зона пластичного деформування матеріалу перед тим, як у ньому з'явиться тріщина. За даними [7, 10] компактна кістка людини руйнується за крихким варіантом. Автори звертають увагу, що характер цього процесу залежить від швидкості деформування матеріалу за малої швидкості деформування процес руйнування можна розглядати як в'язкий, а в разі великої він виражено крихкий. Отже ми можемо припустити, що за умов вогнепального перелому під дією високої швидкості снаряда відбувається високошвидкісне напруження і деформування кістки, яке призводить до крихкого руйнування з формуванням багатьох уламків. До речі, автори цієї теорії відмічають пряму залежність між величиною затраченої енергії і кількістю утворених тріщин (зламів) [9].

Таблиця

**Кінетична енергія автомобіля, який рухається, і куль із різних зразків стрілецької зброї**

| Джерело кінетичної енергії | Калібр зброї (мм) | Маса носія кінетичної енергії (гр) | Швидкість (м/сек) | Кількість енергії (Дж) |
|----------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Автомобіль                 | —                 | 1 300 000                          | 16,6 (60 км/год)  | 17 911 400             |
| АК 47                      | 7,62              | 7,9                                | 800               | 2 528 000              |
| АК 74                      | 5,45              | 3,4                                | 914               | 1 420 173              |
| М 193                      | 5,56              | 3,6                                | 954               | 1 638 208              |

**Рис. 4.** Схематичне зображення типів вогнепальних переломів**Рис. 5.** Схематичне зображення розподілу дії силового імпульсу кулі за центральної дії (а) та в разі дії під кутом (б)

Із позиції механіки важливо розділяти процеси руйнації кістки і наступного руйнування м'яких тканин. J. J. Amato зі співавт. [11] та G. R. Baum зі співавт. [12] експериментально і клінічно встановили, що під час дії на кістку снаряда з великою швидкістю утворені уламки отримують кінетичну енергію і руйнують м'які тканини як вторинні снаряди. Але це можливо тоді, коли уламки отримують достатній запас енергії для руйнування окістя, м'язів із фасціальними футлярами, апоневрозів і шкіри. Треба розуміти, що такі утворення, на відміну від кістки, мають інші фізико-механічні властивості і можуть переносити ті самі сили

навантаження, але з іншими наслідками. На відміну від крихкої кістки, окістя, маючи у своєму складі потужний фіброзний шар із повздовжньо розташованим колагеном і еластином, демонструє в'язко-пружну поведінку і може витримати напруження на розрив до 26,67 МПа [13]. Це означає, що воно може в певних межах пластично-пружно деформуватися, поглинаючи енергію, яку несуть уламки, не отримуючи від цього суттєвих руйнацій. Зазначимо, що в 63 % випадків (перша клінічна група) проміжні уламки, які утворилися під час вогнепального перелому, не зазнають значних переміщень, що може свідчити про збереження окістно-м'язового футляра навкруги ділянки зруйнованої кістки (можливо з окремими його надривами). Можна припустити, що зазначена частина переломів відбувалася за умов не максимально можливої дії кінетичної енергії снаряда за низки обставин: наскрізне проходження сегмента з дотичним контактом із кісткою або не дуже велика його швидкість. Отже за такого варіанта вогнепальних переломів руйнування м'яких тканин було меншим, оскільки воно спричинене переважно снарядом.

Другий і третій варіанти вогнепального перелому мали ознаки суттєвого руйнування ділянки окістно-м'язового футляра з утворенням часткового або повного дефекту стінок діяфіза що було результатом дії більшої кінетичної енергії, якої було достатньо щоб роздробити ділянку кістки, відшарувати утворені уламки від окістя та перемістити їх на значну відстань. Важливо розуміти, що на руйнування кістки може бути витрачена лише частина енергії снаряда, що буває за наскрізних поранень. Ми припускаємо, що ефект передавання енергії снаряда кістці залежить від кута спрямованості силового імпульсу по відношенню до поверхні кістки. Із механіки відомо, що під час дії сили на нахилену поверхню відбувається її розподіл за правилом паралелограма — одна частина діє перпендикулярно поверхні, інша — паралельно нахиленій поверхні. Оскільки довгі кістки мають на поперечному перетині округлу або трикутну форму, є висока вірогід-



ність, що сили снаряда діють під кутом із появою тангенціального вектора, який зміщує епіцентр руйнації кістки і прилеглих тканин у відповідний бік. Таким чином, можна пояснити асиметрію руйнування з утворенням часткового дефекту. У випадку, коли сила снаряда велика і спрямована перпендикулярно поверхні кістки (направлена до центру кістки), може відбутися тотальна її руйнація з утворенням повного поперечного дефекту (рис. 5).

Із нашої точки зору, між виділеними клінічними типами вогнепальних переломів існують суттєві відмінності, які необхідно враховувати для прогнозування процесу загоєння вогнепального перелому і вибору раціональної тактики його лікування.

У разі першого типу зберігається задовільне осьове положення уламків після закритої репозиції та фіксації основних уламків зовнішнім апаратом. Збереження анатомічного зв'язку більшої частини окістно-м'язового футляра з основними й проміжними уламками є головною передумовою для формування періостального кісткового регенерату, що здатний перекрити всю зону руйнування кістки за умов подальшого апаратного лікування.

Другий тип відрізняється від попереднього наявністю значно більшого обсягу зруйнованих м'яких тканин і часткового (пристіночного) дефекту кістки, що потребує додаткових лікувальних заходів для очищення та закриття рани, а також різних дій, спрямованих на досягнення кісткового зрощення основних уламків.

Третій тип вогнепального перелому відрізняється від попередніх утворенням повного кісткового дефекту різного розміру і потребує іншої лікувальної тактики у вигляді реконструктивно-відновлювальних операцій або ампутації.

## Висновки

Для вогнепального перелому спричиненого кулею або осколком є характерним наявність певної зони руйнування кістки з утворенням проміжних уламків, які залежно від кількості переданої кінетичної енергії можуть переміщатися з відповідним відшаруванням від оточуючих м'яких тканин.

Вогнепальні переломи діафізарної частини довгих кісток кінцівок залежно від величини переміщення проміжних уламків та наявності або відсутності їх анатомічного зв'язку з м'якими тканинами доцільно розділити на наступні три типи:

– I — із незначним або помірним поперечним переміщенням проміжних і основних уламків (у межах поперечника кістки і зі збереженням повздовжньої орієнтації), які зберігають анатомічний зв'язок з окістно-м'язовим футляром і не виходять за його межі. При цьому рана(и) м'яких тканин не потребує тривалого лікування (може бути закрита вторинним швом);

– II — зі значним поперечним переміщенням одного або декількох проміжних уламків (за напрямком руху снаряда) з втратою анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням пристіночного дефекту кістки і рани середніх або великих розмірів;

– III — із надмірним поперечним переміщеннями усіх проміжних уламків (за напрямком руху снаряда) з втратою ними анатомічного зв'язку з окістно-м'язовим футляром та утворенням повного поперечного дефекту кістки.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

**Перспективи подальших досліджень.** Планується друге повідомлення, в якому буде проведено аналіз результатів лікування на підставі запропонованої класифікації.

**Інформація про фінансування.** Автори заявляють про відсутність фінансових інтересів під час написання статті.

**Внесок авторів.** Попсуйшак О. К. — запропонував методики дослідження та класифікаційні ознаки, проводив аналіз матеріалу, написання статті; Литвишко В. О. — здійснив клінічні дослідження форми та розмірів рани й аналізував рентгенологічний матеріал; Малик Р. В. — статистичний аналіз, створив електронну анкету для реєстрації ознак вогнепального перелому; Долуда Я. А. — інформаційний пошук і створення ілюстрацій; Міхановський Д. О. — клінічні дослідження, аналіз розмірів ран, брав участь у створенні класифікації, робив розрахунок кінетичної енергії.

## Список літератури

1. Classification of gunshot wounds of skull and cerebrum. Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://redcross.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/Classification-of-gunshot-wounds-of-skull-and-cerebrum.pdf
2. Korzh, M., Popsuishapka, O., Lytvishko, V., Shevchenko, I., Doluda, Y., Gubskiy, S., Hrytsenko, A., Mikhanovskiy, D., Marushchak, O., Tokhtamyshev, M., & Arutunan, Z. (2024). Problematic issues of the treatment of diaphyseal gunshot fractures of long bones of extremities. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 109–120. <https://doi.org/10.15674/0030-598720234109-120>
3. Meinberg, E., Agel, J., Roberts, C., Karam, M., & Kellam, J. (2018). Fracture and dislocation classification compendium—2018. *Journal of orthopaedic trauma*, 32(1), S1–S10. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001063>
4. Gustilo, R., & Anderson, J. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones. *The journal of bone & joint surgery*, 58(4), 453–458. <https://doi.org/10.2106/00004623-197658040-00004>
5. Gustilo, R. B., Mendoza, R. M., & Williams, D. N. (1984). Problems in the management of type III (Severe) open fractures. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 24(8), 742–746. <https://doi.org/10.1097/00005373-198408000-00009>

6. Peacock, J., & Peacock, P. (2011). Oxford handbook of medical statistics. Oxford University Press.
7. Knets, G. O., Pfafrod, Y. Zh., & Saulgosis, I. V. (1980). Deformation and destruction of hard biological tissues. Riga: «Zinatne». [in russian]
8. Mahoney, P. F., Ryan, J. M., Brooks, A. J., & Schwab, C. W. (2005). Ballistik Trauma. A Pracical Guide. Springer, 2<sup>nd</sup> ed.
9. Dolgov, O. M. (2019). Fracture Mechanics: Textbook. Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University «Dnipro Polytechnic». Dnipro: NTU «Dnipro Polytechnic». [in Ukrainian]
10. Strength problems in biomechanics. (1988). Ed. by I. F. Obratsov. Moscow: «Higher School». [in russian]
11. Amato, J. J., Syracuse, D., Seaver, P. R., & Rich, N. (1989). Bone as a secondary missile. *The journal of trauma: injury, infection, and critical care*, 29(5), 609–612. <https://doi.org/10.1097/00005373-198905000-00013>
12. Baum, G. R., Baum, J. T., Hayward, D., & MacKay, B. J. (2022). Gunshot wounds: Ballistics, pathology, and treatment recommendations, with a focus on retained bullets. *Orthopedic research and reviews*, 14, 293–317. <https://doi.org/10.2147/orr.s378278>
13. Evans, S. F. (2012). Top down bottom up approaches to elucidating multiscale periosteal mechanobiology: Tissue level and cell scale studies. Department of biomedical engineering case western reserve university.

|                                           |                                           |                                 |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>24.07.2025 | Отримано після рецензування<br>11.03.2025 | Прийнято до друку<br>10.10.2025 |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|

## DESTRUCTION OF BONE AND SURROUNDING TISSUES IN CASE OF GUNSHOT FRACTURES OF LONG BONES OF THE EXTREMITIES (CLINICAL AND RADIOLOGICAL CLASSIFICATION). *FIRST REPORT*

O. K. Popsuishapka <sup>1</sup>, V. O. Lytyvshko <sup>3</sup>, R. M. Malyk <sup>1</sup>, Ya. A. Doluda <sup>2</sup>, D. O. Mikhanovskiy <sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Medical University, Kharkiv. Ukraine

<sup>2</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>3</sup> MNE «Chuguyev Central Hospital named after M. I. Kononenko». Ukraine

✉ Olexii Popsuishapka, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: alexecorn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-003-1893-2511>

✉ Valerii Lytyvshko, MD, DMSci in Traumatology and Orthopaedics: lvaort@gmail.ua

✉ Roman Malyk, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dr.roman.malyk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9070-4834>

✉ Yaroslav Doluda, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dr.doluda@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0001-7428-0584>

✉ Dmytro Mikhanovskiy, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: dmitriy.mikhanovskiy@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-003-1893-2511>