

# БІОФІЗИЧНІ МЕХАНІЗМИ ФОРМУВАННЯ РАНОВИХ КАНАЛІВ ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ НЕПРОНИКАЮЧИХ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВИХ ПОРАНЕННЯХ

А.О. ДАНЧИН<sup>1</sup>, О.М. ГОНЧАРУК<sup>2</sup>, С.А. УСАТОВ<sup>3</sup>,  
М.С. АЛТАБРОУРІ<sup>3</sup>, Г.О. ДАНЧИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Клініка нейрохірургії, Національний військово-медичний клінічний центр  
«Головний військовий клінічний госпіталь» МО України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Кафедра нейрохірургії, Національний університет охорони здоров'я України  
імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Кафедра нейрохірургії, травматології і ортопедії з ЛФК,  
Луганський державний медичний університет, м. Рубіжне, Україна

**\*Conflict of Interest Statement (We declare that we have no conflict of interest).**

\*Заява про конфлікт інтересів (Ми заявляємо, що у нас немає ніякого конфлікту інтересів).

\*Заявление о конфликте интересов (Мы заявляем, что у нас нет никакого конфликта интересов).

**\*No human/animal subjects policy requirements or funding disclosures.**

\*Жодний із об'єктів дослідження (людина/тварина) не підпадає під вимоги політики щодо розкриття інформації фінансування.

\*Ни один из объектов исследования не подпадает под политику раскрытия информации финансирования.

**\*Date of submission — 02.02.21**

\*Дата подачі рукопису — 02.02.21

\*Дата подачі рукописи — 02.02.21

**\*Date of acceptance — 10.03.21**

\*Дата ухвалення — 10.03.21

\*Дата одобрения к печати — 10.03.21

**Мета роботи** – розробити рекомендації щодо оптимізації первинної хірургічної обробки вогнепальних непроникаючих черепно-мозкових поранень на підставі теоретичного і прикладного вивчення одного з розділів ранової балістики – біофізичних механізмів формування ранових каналів, супутніх непроникаючих поранень і внутрішньочерепних ушкоджень.

**Матеріали та методи.** Вивчено історії хвороби 155 поранених, які отримали вогнепальне непроникаюче черепно-мозкове поранення під час бойових дій на Сході України в 2014–2020 рр. Усі поранені були чоловічої статі віком від 18 до 60 років (середній вік – 35,1 року). Для вивчення біофізичних особливостей формування різних видів ранових каналів при заданій незабійній кінетичній енергії, переданій тканинам голови, визначали вид снаряда, який ранив, траєкторію польоту, характер вогнепальних ушкоджень м'яких тканин склепіння черепа та переломів черепа і внутрішньочерепних ушкоджень за даними клінічних досліджень, та комп'ютерної томографії, і зіставляли з результатами теоретичних досліджень з використанням законів ранової балістики.

**Результати.** Кульових (лише дотичних) поранень було 11 (7,1 %), осколкових – 144 (92,9 %). Формування ранових каналів залежить від виду снаряда, який ранив, і його кінетичної енер-

гії. Вогнепальні непроникаючі кульові та осколкові дотичні черепно-мозкові поранення зумовлені руйнівним впливом на тканини снарядів, які ранять та мають у момент зіткнення з головою як забійну кінетичну енергію ( $>80$  Дж), так і меншу, ніж забійна, кінетичну енергію. Сліпі черепно-мозкові поранення спричинені лише травматичним впливом осколків, які мають невелику ( $<80$  Дж) кінетичну енергію.

**Висновки.** При вогнепальних непроникаючих поодиноких осколкових сліпих пораненнях рани не мають зони вторинного некрозу, а зона первинного некрозу невелика або незначна, що дає змогу не висікати м'які тканини навколо рани під час первинної хірургічної обробки, а лише видалити некротичні тканини. При вогнепальних непроникаючих осколкових дотичних і сліпих черепно-мозкових пораненнях, коли рани м'яких тканин склепіння черепа не зяють, малого розміру (ушкодження шкіри, підшкірної клітковини до апоневрозу), первинну хірургічну обробку не проводять. Лікування таких ран здійснюють проведенням туалету і накладанням асептичних пов'язок. Ранові канали, котрі закінчуються вогнепальними переломами, підлягають первинній хірургічній обробці так само, як і вогнепальні переломи.

**Ключові слова:** вогнепальні непроникаючі черепно-мозкові поранення; ранова балістика; кінетична енергія; снаряд, який ранить; рановий канал.

Практичне застосування основних положень балістики – науки про рух снарядів є важливою складовою при оцінці характеру поранення і вибору лікувальної тактики, тому деякі дослідники вказують на необхідність вивчення балістики лікарями для розуміння механізмів утворення вогнепальної рани [1–4]. Особливо це стосується відомостей про ранову балістику, яка вивчає механізми травматичної дії та наслідки такої дії снарядів, які ранять, на тканини, починаючи з моменту проникнення їх в організм людини. Біофізичні механізми травматичної дії вогнепальної зброї на тканини людини значно відрізняються від механізмів інших травм. Дослідження законів ранової балістики впродовж понад 100 років стосувалися переважно вивчення закономірностей впливу на тканини людини снарядів, які ранять, із забійною високою кінетичною енергією ( $>1000$  Дж). Ці снаряди утворюють головний чинник руйнації тканин – тимчасову порожнину, яка пульсує і спричиняє проникаючі наскрізні великі черепно-мозкові поранення, тоді як вогнепальні непроникаючі черепно-мозкові поранення зумовлені снарядами, які ранять, з невеликою кінетичною

енергією. При цьому тимчасова порожнина, котра пульсує, не утворюється, а діють інші закони ранової балістики. Публікацій, присвячених вивченню ранової балістики вогнепальних непроникаючих черепно-мозкових поранень, у доступних літературних джерелах ми не виявили.

**Мета роботи** – розробити рекомендації щодо оптимізації первинної хірургічної обробки вогнепальних непроникаючих черепно-мозкових поранень на підставі теоретичного і прикладного вивчення одного з розділів ранової балістики – біофізичних механізмів формування ранових каналів, супутніх непроникаючих поранень і внутрішньочерепних ушкоджень.

### Матеріали та методи

**Учасники дослідження.** Вивчено історії хвороби 155 поранених, які отримали вогнепальне непроникаюче черепно-мозкове поранення під час бойових дій на Сході України в 2014–2020 рр. Спеціалізовану нейрохірургічну допомогу потерпілим у повному обсязі надали в лікувальних установах третього рівня медичного забезпечення. Усі поранені були чоловічої статі віком від 18 до 60 років (середній вік – 35,1 року).

Усі хворі дали письмову згоду на обстеження та використання у наукових дослідженнях даних, наведених в історії хвороби.

**Критерії залучення.** Вогнепальне непроникаюче черепно-мозкове поранення.

**Дизайн дослідження.** Для вивчення біофізичних особливостей формування різних видів ранових каналів при заданій незабій-

ДАНЧИН Андрій Олександрович  
д-р. мед. н., лікар-нейрохірург, завідувач відділенням  
нейрохірургії Національного військово-медичного  
клінічного центру «Головний військовий  
клінічний госпіталь»  
Адреса: 01133, м. Київ, вул. Госпітальна, буд. 18  
Тел.: +38 (044) 521-84-13  
E-mail: a.a.danchyn@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0001-6427-1908

ній кінетичній енергії, переданій тканинам голови, визначали вид снаряда, який ранив; траєкторію польоту, характер вогнепальних ушкоджень м'яких тканин склепіння черепа та переломів черепа і внутрішньочерепних ушкоджень за даними клінічних досліджень та комп'ютерної томографії, і зіставляли з результатами теоретичних досліджень з використанням двох законів ранової балістики [5]:

- ударно-хвильова дія кулі або осколка, яка має прямолінійний напрямок попереду снаряда, котрий ранив;

- ударно-хвильова дія бічних напрямків снаряда, який ранив («бічний удар»).

Орієнтувалися на величину незабійної кінетичної енергії (<80 Дж), прийняту деякими країнами-членами НАТО (США, Німеччина) [6]. Використовували класифікацію вогнепальних поранень залежно від кількості енергії, переданої снарядом, який ранив, тканинам [7–10]:

- поранення, спричинені високою енергією (>1000 Дж);
- поранення, спричинені середньою енергією (250–1000 Дж);
- поранення, спричинені низькою енергією (<250 Дж).

## Результати

### **Біофізичні механізми формування дотичних ранових каналів при вогнепальних непроникаючих вогнепальних черепно-мозкових пораненнях**

Частка кульових поранень в аналізованому клінічному матеріалі становила 7,1 % (11 із 155). Вони були лише дотичними пораненнями. Це теоретично може бути доведено таким положенням ранової балістики: що вище кінетична енергія кулі, котра залежить переважно від початкової швидкості та розраховується за формулою  $E = (MV^2) : 2$ , то більший об'єм ушкоджень вона спричиняє в проміжку ефективного ураження цілі (відстань від початку польоту кулі до мети, при якому досягається забійний ефект). Кулі стрілецької зброї зразка 1974 р. мають достатню забійну силу при дальності стрільби до 1350 м [1, 7, 9]. Це означає, що в проміжку ефективного ураження цілі (від місця пострілу до 1350 м), коли снаряд, який ранив, передасть >80 Дж кінетичної енергії тканинам голови, вогнепальні черепно-мозкові ушкодження будуть несумісні з життям [7,

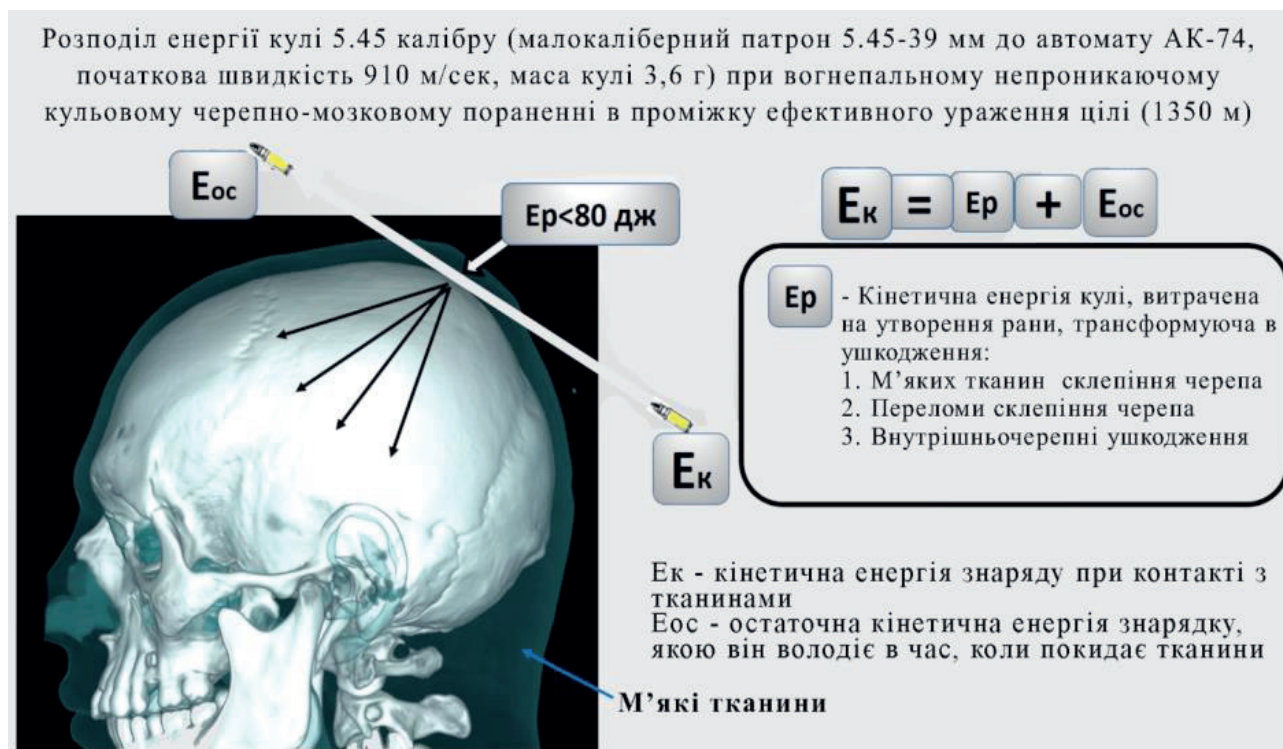
6, 11]. При нелетальних вогнепальних непроникаючих кульових пораненнях черепа і мозку куля, котра має таку велику забійну енергію в проміжку ефективного ураження цілі, теоретично може ізольовано пошкодити м'які тканини склепіння черепа лише як дотичне поранення. Лише частина енергії кулі (<80 Дж) трансформується в результаті ударно-хвильової дії прямолінійного напрямку ударної хвилі, яка поширюється попереду снаряда, котрий ранив, зі швидкістю звуку, в рани м'яких тканин склепіння черепа і переломи черепа, і в результаті ударно-хвильової дії бічних напрямків кулі («бічний удар») – у внутрішньочерепні ушкодження (рис. 1). Рани м'яких тканин склепіння черепа і переломи черепа разом утворюють дотичний рановий канал [2,12].

Припущення, що кульові поранення м'яких тканин склепіння черепа можуть бути лише дотичними і не можуть бути сліпими, наскрізними та рикошетними, підтверджено аналізованим клінічним матеріалом.

При дотичних вогнепальних кульових і осколкових пораненнях ранові канали являють собою ушкоджені м'які тканини склепіння черепа у вигляді напівциліндра (типу жолоба), дном якого є перелом склепіння черепа. Рановий канал не є замкнутим простором, тому «тимчасова порожнина» – чинник тяжких руйнувань тканин утворитися не може. При дотичних пораненнях м'яких покривів склепіння черепа і самого черепа снаряд, який ранив, і його ударно-хвильовий вплив механічно руйнують тканини в лінійному напрямку, а також спричиняють ударно-хвильові бічні руйнування у вигляді «бічного удару». Частина енергії руйнування кулі, яка реалізується в «бічний удар», є причиною великих скальпованих, багатоклаптевих ушкоджень м'яких тканин, вдавнених, дірчастих, дірчасто-вдавнених і неповних переломів, а також травматичних внутрішньочерепних ушкоджень – субарахноїдальних крововиливів, контузійних вогнищ, субдуральних і внутрішньомозкових гематом [2, 7, 12].

### **Біофізичні механізми формування ранових каналів при вогнепальних непроникаючих осколкових черепно-мозкових пораненнях**

За статистичними даними, в масштабних та локальних війнах і збройних кон-



**Рис. 1.** Схема розподілу кінетичної енергії кулі при вогнепальному непроникаючому черепно-мозковому пораненні. Кінетична енергія (80 Дж), витрачена на утворення рани, трансформується в ушкодження м'яких тканин склепіння черепа і переломи склепіння черепа (складові дотичного ранового каналу) та внутрішньочерепні ушкодження

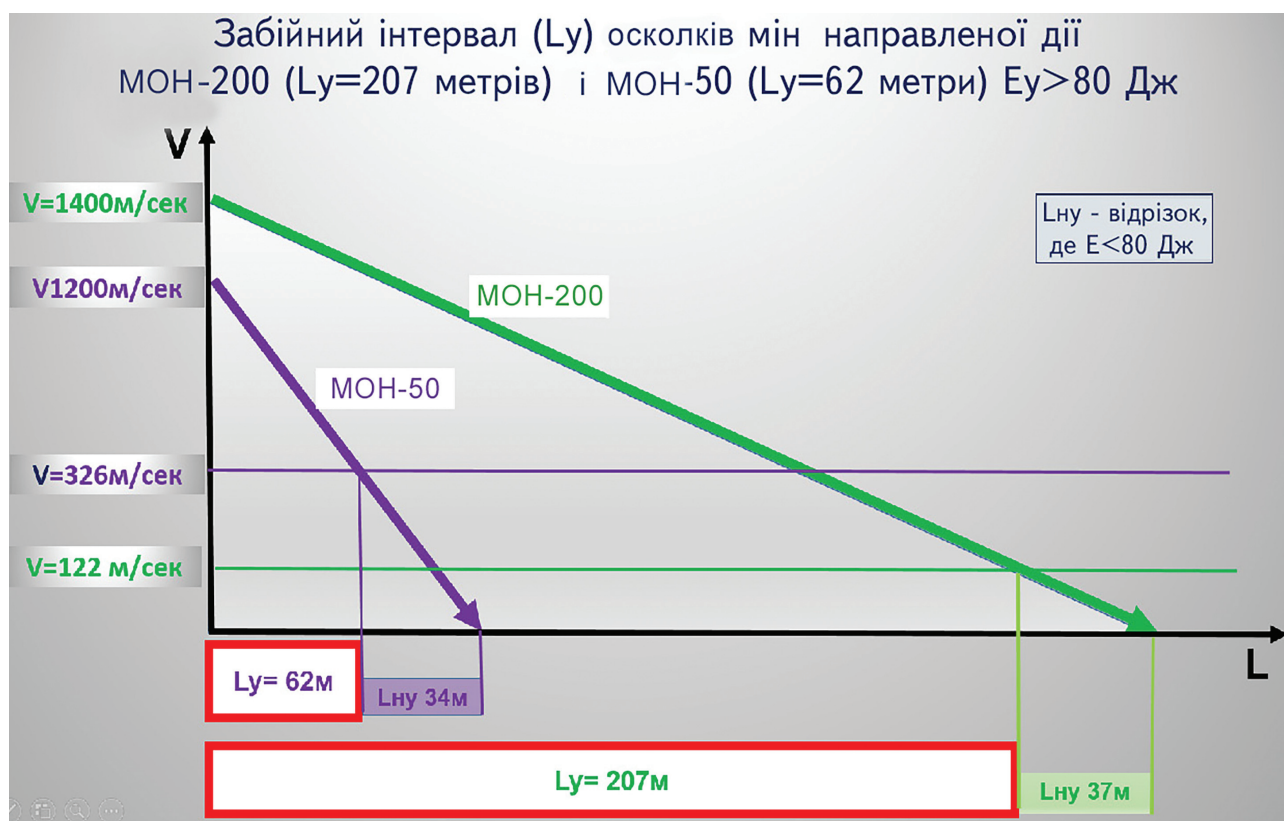
фліктах при вогнепальних черепно-мозкових пораненнях здебільшого переважають осколкові поранення [5, 7]. Це узгоджується з отриманими нами даними – на частку осколкових поранень припадало 92,9 % (144 із 155). Вогнепальні осколкові поранення спричинені вражаючими елементами осколково-фугасних снарядів, артилерійських снарядів і протипіхотних засобів ближнього бою. Багато сучасних боєприпасів мають елементи, котрі ранять, масою 0,2–0,5 г і діаметром 2–3 мм. На озброєнні багатьох країн є боєприпаси, які під час вибуху можуть виробляти натуральні частки фрагментації від мізерних часток пилу до металевих шматків масою понад 20 г [10]. На відміну від наближеної до ідеальної геометричної форми кулі осколки через форму, яка не обтікає і неоптимальна, для аеродинамічного польоту та внаслідок великого опору повітря, незважаючи на велику початкову швидкість (у деяких осколків навіть більшу, ніж швидкість кулі, – до 1800 м/с), швидко її втрачають. Початкова кінетична енергія також швидко гаситься, тому забійний інтервал і площа, котра ушкоджується осколками, порівняно невеликі.

Наприклад, протипіхотні осколкові, спрямованого ураження, керовані міни радянського виробництва МОП-50, МОН-100, МОН-200 (аналоги протипіхотної міни М18А1 «Клеймор» США), призначені для виведення з ладу особового складу противника, завдають шкоди за рахунок поранень готовими забійними елементами (кульками або роликами).

Дані щодо забійної швидкості та забійного інтервалу осколків мін МОП-50, МОН-100, МОН-200 (при забійній енергії осколка 80 Дж), обчислених за формулами [8], наведено в таблиці.

Для наочності на схемі (рис. 2) показано забійні інтервали осколків мін спрямованої дії МОП-200 і МОП-50. Вогнепальні поранення, отримані на відстані <207 м від епіцентру вибуху для міни МОН-200 і <62 м для міни МОН-50, належать до категорії забійних. У межах зазначених відстаней кінетична енергія осколків становить >80 Дж.

При вогнепальних непроникаючих осколкових черепно-мозкових пораненнях спостерігаються два види ранових каналів – дотичні та сліпі залежно від кількості осколків, які беруть безпосередню участь у пораненні.



**Рис. 2.** Найімовірніше вогнепальні непроникаючі осколкові черепно-мозкові поранення спостерігатимуться на відстані 62–96 м від епіцентру вибуху міни МОН-50 (відносно незабійний інтервал становить 34 м) і 207–244 м від епіцентру вибуху міни МОН-200 (відносно незабійний інтервал становить 37 м).  
У межах зазначених відстаней кінетична енергія осколків  $< 80$  Дж

### Біофізичні механізми формування дотичних ранових каналів при вогнепальних непроникаючих поодиноких осколкових черепно-мозкових пораненнях

Вогнепальне непроникаюче поодинокі осколкове дотичне черепно-мозкове поранен-

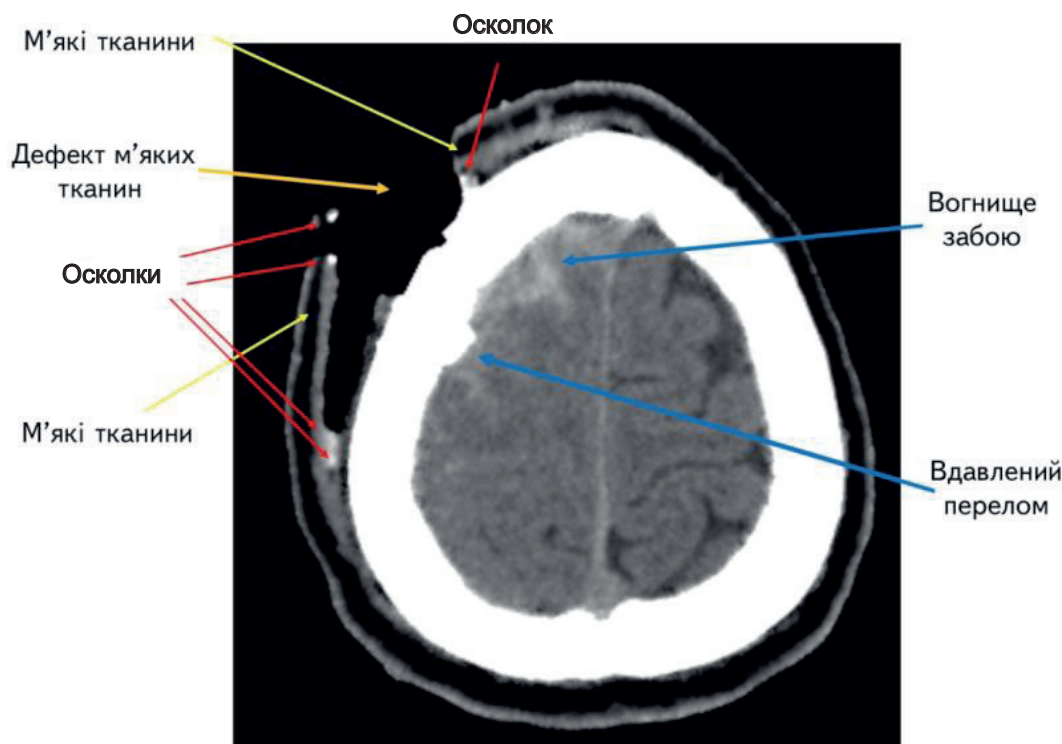
ня зумовлено передачею кінетичної енергії одного великого осколка м'яким тканинам склепіння черепа, самому черепу. Механізми формування дотичного ранового каналу аналогічні таким кульових. Внутрішньочерепна патоморфологія, пов'язана з феноменом біч-

**Таблиця.** Основні параметри мін МОН-50, МОН-100, МОН-200, забійна швидкість та забійний інтервал осколків (при забійній енергії осколка 80 Дж)

Міна	Маса осколка, г	Кількість осколків в міні	Маса, кг	Початкова швидкість осколка, м/с	Забійна швидкість осколка, м/с	Забійний інтервал осколка, м	Забійна енергія
МОН-50	1,5	485	0,7	1200	326	62	$\frac{1}{2} \cdot 0,0015 \cdot 106666 = 80$ Дж
МОН-100	6,2	400	2,0	1020	161	146	$\frac{1}{2} \cdot 0,0062 \cdot 25806 = 80$ Дж
МОН-200	10,7	900	12,0	1400	122	207	$\frac{1}{2} \cdot 0,0107 \cdot 14953 = 80$ Дж

*Примітка.* Забійну енергію ( $E$ ) розраховували за формулою  $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ , де  $m$  – маса осколка (кг);  $v$  – забійна швидкість осколка (м/с).





**Рис. 3.** Комп'ютерна томограма (аксіальний зріз) пораненого з вогнепальним непроникаючим множинним дотичним черепно-мозковим пораненням, спричиненим спрямованим пучком осколків. Стрілками показано велику рану м'яких тканин з дефектом тканин, вдавнений перелом правої тім'яної кістки, вогнище забою мозку, осколки по краях рани м'яких тканин

ного хвильового удару кулі, також ідентична. Лише за даними анамнезу можна зрозуміти є поранення осколковим чи кульовим.

#### **Біофізичні механізми формування дотичних ранових каналів при вогнепальних непроникаючих множинних осколкових черепно-мозкових пораненнях**

Вогнепальне непроникаюче множинне осколкове дотичне черепно-мозкове поранення зумовлено передачею кінетичної енергії спрямованого пучка осколків м'яким тканинам склепіння черепа, черепу. Механізми формування дотичного ранового каналу аналогічні описаним вище, але патоморфологія вогнепальних ран м'яких тканин склепіння черепа значно більша, рани великого розміру, з нерівними скальпованими рваними краями і вдавненим переломом (рис. 3).

Належність дотичного поранення до осколкового або кульового з'ясовують за наявністю множинних осколків по краях рани м'яких тканин.

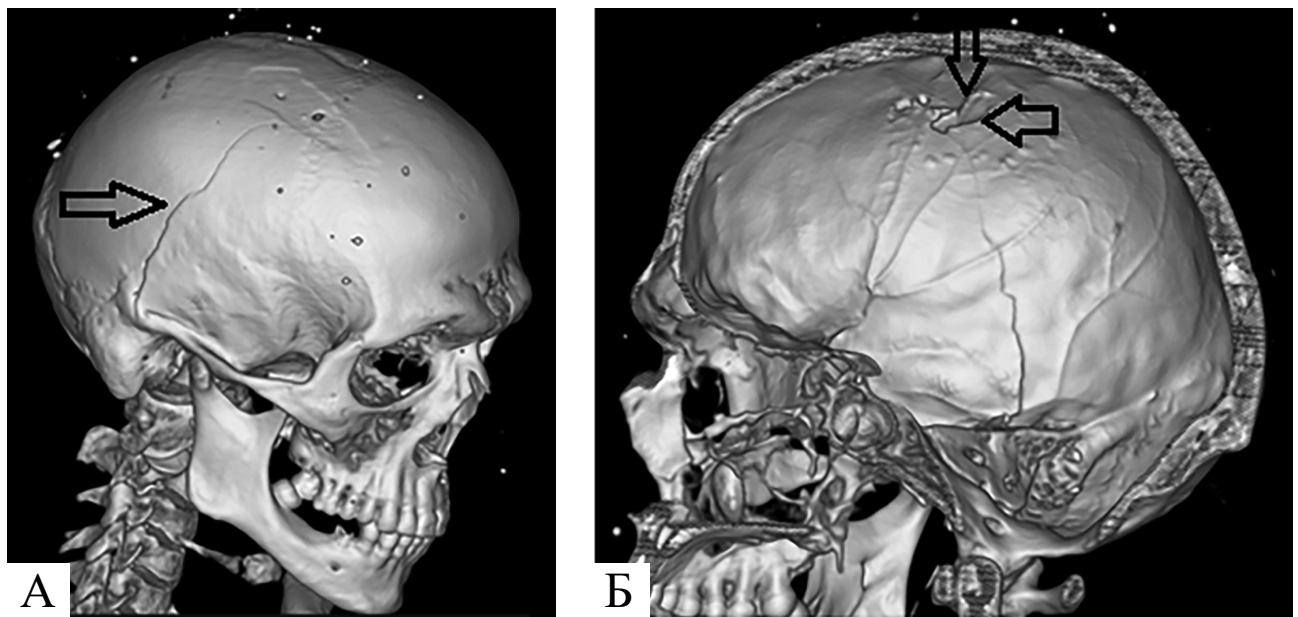
У наших спостереженнях лише при вогнепальних непроникаючих множинних дотичних черепно-мозкових пораненнях, спричинених спрямованим пучком осколків, мав місце ліній-

ний перелом черепа, який починався від вдавненого перелому і мав велику довжину (рис. 4).

#### **Біофізичні механізми формування сліпого ранового каналу при вогнепальному непроникаючому поодинокому осколковому сліпому вогнепальному черепно-мозковому пораненні**

У результаті трансформації кінетичної енергії осколка за допомогою ударно-хвильової дії попереду нього, яка має прямолінійний напрямок, утворюється рановий сліпий канал, котрий має геометричну форму у вигляді циліндра, із ушкодженими м'якими тканинами. Зазвичай він закінчується неповним, дірчастим або дірчасто-стисненим переломом черепа. Перелом невеликого розміру (<2 см) складається з декількох кісткових уламків, пов'язаних між собою, з невеликим (1–3 мм) вдавненням їх внутрішньої пластинки в порожнину черепа. Під час другої світової війни його називали роздробленим переломом. Ранові канали мають невелику ширину (найбільш типові – 2–4 мм) і довжину (5–30 мм).

Рани м'яких тканин склепіння черепа при вогнепальних непроникаючих черепно-мозкових пораненнях не мають зони вторинного



**Рис. 4.** Мультиспіральна комп'ютерна томографія з програмою 3D bones b/w: А – зовнішня поверхня черепа; Б – внутрішня поверхня черепа. Вогнепальне непроникаюче множинне дотичне черепно-мозкове поранення, спричинене спрямованим пучком осколків. Стрілкою показано лінійний перелом, двома стрілками – вдавнений перелом

некрозу, а зона первинного некрозу незначна, тому немає потреби під час первинної хірургічної обробки висікати краї рани, відступивши на 0,5 см, як пропонували раніше військово-польові хірурги. Достатньо з допомогою мікроскальпеля, мікроножиць і вакуумного аспіратора видалити явно нежиттєздатні тканини.

**Біофізичні механізми формування сліпих ранових каналів при вогнепальному непроникаючому множинному осколковому сліпому вогнепальному черепно-мозковому пораненні, спричиненому спрямованим пучком осколків**

При таких пораненнях мали місце множинні ушкодження м'яких тканин в одній або двох анатомічних ділянках черепа з вогнепальними множинними осколковими сліпими рановими каналами, кожен з яких мав характеристики, аналогічну такій поодинокого осколкового сліпого ранового каналу. Найхарактернішими ушкодженнями черепа є невеликі вдавнені переломи з наявністю в них декількох осколків. У зв'язку з тим, що багатоточкові рани м'яких тканин склепіння черепа зі сліпими рановими каналами без ушкодження черепа були без ознак забруднення, кровотечі та наявності підапоневротичної гематоми, вони не підлягали первинній хірургічній обробці. Лікування таких ран здійснювали проведенням туалету

і накладанням асептичних пов'язок. Ранові канали з наявністю вогнепальних переломів підлягали первинній хірургічній обробці. Хірургічні доступи при цьому не завжди відповідали проекції перелому так само, як і при плануванні операції видалення внутрішньочерепних гематом у рідкісних спостереженнях супутніх поранень.

**Обговорення**

Вогнепальні рани із незначною зоною первинного некрозу та без зони вторинного некрозу, нанесені снарядами, які ранять, з низькою кінетичною енергією [5]. До таких ран належать за патоморфологічною характеристикою всі ушкодження м'яких тканин склепіння черепа і переломи склепіння черепа при вогнепальних непроникаючих черепно-мозкових пораненнях. При осколкових сліпих непроникаючих черепно-мозкових пораненнях патоморфологія зумовлена руйнівною дією осколків, які втратили кінетичну енергію під час польоту і мають при зустрічі з об'єктом (головою) не низьку кінетичну енергію (<250 Дж), а значно меншу – незабігнута кінцева (залишкова) кінетичну енергію (<80 Дж), хоча спочатку осколки від вибуху міни або артилерійського снаряда мають високу кінетичну енергію (>1000 Дж). При осколкових дотичних непроникаючих черепно-мозкових

пораненнях патоморфологія тканин спричинена руйнівною дією снарядів, які ранять (куль і осколків), з широким діапазоном величини кінетичної енергії під час польоту (від низької (<250 Дж) до високої (>1000 Дж)), але при зустрічі з об'єктом (головою) вони витрачають на механізми поранення незабійну малу частину кінетичної енергії (<80 Дж).

### Висновки

1. Теоретичні розрахунки свідчать, що куля має забійну кінетичну енергію (>80 Дж) у проміжку ефективного ураження цілі та може ізольовано ушкоджувати м'які тканини склепіння черепа і сам череп у вигляді неповних або вдавнених переломів лише при дотичному пораненні. Для осколкових поранень характерні дотичні та сліпі ранові канали, для кульових – лише дотичні.

2. При вогнепальних непроникаючих поодиноких осколкових сліпих пораненнях ранові канали мають циліндричну форму та утворюються за рахунок трансформації невеликої кінетичної енергії ударно-хвильової дії осколка, котра має прямолінійний напрямок. Поодинокі вогнепальні непроникаючі осколкові сліпі поранення м'яких тканин склепіння черепа найчастіше бувають точковими. Ранові канали мають невелику довжину і ширину. Дном рани є неповний, дірчастий, дірчастовдавнений або вдавнений перелом. Такі рани не мають зони вторинного некрозу, а зона первинного некрозу невелика або незначна, що дає змогу не висікати м'які тканини навколо

рани під час первинної хірургічної обробки, а лише видалити некротичні тканини.

3. При вогнепальних непроникаючих множинних осколкових сліпих пораненнях, спричинених спрямованим пучком осколків, мали місце множинні ушкодження м'яких тканин в одній або двох анатомічних ділянках з вогнепальними множинними осколковими сліпими рановими каналами. Найхарактерніші вдавнені переломи склепіння черепа спричиняли окремі осколки, але найчастіше переломи черепа були зумовлені декількома осколками з поруч розташованими траєкторіями.

4. При вибухах мін спрямованої дії осколків, найімовірніше, вогнепальні непроникаючі осколкові черепно-мозкові поранення спостерігатимуться на відстані від 62 до 96 м від епіцентру вибуху міни МОН-50 (відносно незабійний інтервал становить 34 м) і від 207 до 244 м від епіцентру вибуху міни МОН-200 (відносно незабійний інтервал становить 37 м). У межах зазначених відстаней кінетична енергія осколків становить <80 Дж.

5. При вогнепальних непроникаючих осколкових дотичних і сліпих черепно-мозкових пораненнях, коли рани м'яких тканин склепіння черепа не зіяють, малого розміру (ушкодження шкіри, підшкірної клітковини до апоневроза), первинну хірургічну обробку не проводять. проведенням туалету і накладанням асептичних пов'язок. Ранові канали, які закінчуються вогнепальними переломами, підлягають первинній хірургічній обробці так само, як і вогнепальні переломи.

### References

1. Kuzyna MY, Kostiuhenko BM redactory. Rany u ranevaia infektsiya. Moskva. Medytyna; 1990. 592 s. (in Russian)
2. Eriukhyn YA, Zhyrnovoi VM, Khrupkyn VY Patoheze u lechenye ohnestrelnoi rany miahkykh tkanei. Vestn. khyrurhyi. 1990;145(8):53-58. (in Russian)
3. Molchanov V, Popov V, Kalmikov K. Ohnestrelnye povrezhdeniya u ykh sudebno-medytsynskaia ekspertyza. Leninhrad: Medytyna; 1990. 272 s. (in Russian)
4. Popov V, Shyheev V, Kuznetsov L. Sudebno-medytsynskaia ballistyka SPb: Hyppokrat; 2002. 83 s. (in Russian)
5. Danchyn A, Polishchuk M, Kazmirchuk A, Danchyn H. Vognepalni poranennia miakyykh tkanyn sklepinnia cherepa. Kyiv: Lazuryt-Polihrf; 2017. 115 s. (in Ukrainian)
6. Kneubuehl BP, ed. Wound Ballistics: Basics and Applications. Berlin: Springer-Verlag; 2011. 180 p.
7. Danchyn A, Polishchuk M, Danchyn O. Klyasyfikatsiya vognepalnykh poranen cherepa ta holovnoho mozku. Kyiv: Lazuryt-Polihrf; 2018. 135 s.
8. Selyanova V, red.. Sredstva porazheniya u boepypasy: uchebnyk: MHTU ym. N.E. Bauman; 2008. 284 s. (in Russian)
9. Humanenko E, Samokhvalov Y. Voenno-polevaia khyrurhyia lokalnyh voyn u vooruzhennykh konfliktov. Moskva: HEOTAR; 2014. 84 s. (in Russian)
10. Giannou C., Baldan M.. War surgery. Working with limited resources in armed conflict and other situations of violence. Geneva: International Committee of the Red Cross; 2009. 68 p.
11. Hill P, Edwards D, Bowyer G. Small fragment wounds: Biophysics, pathophysiology and principles of management. Army Med. Corps. 2001;147:41-51. DOI: 10.1136/jramc-147-01-04
12. Kostiuhyonok BM, Dumchev VA, Karlov VA. Sovremennaia ohnestrelnaia rana. Voen.-med. zhurn. 1977;6:16-18. (in Russian)



## BIOPHYSICAL MECHANISMS OF THE FORMATION OF WOUND CHANNELS IN NON-PENETRATING GUNSHOT CRANIOCEREBRAL WOUNDS

A.O. DANCHYN<sup>1</sup>, O.M. GONCHARUK<sup>2</sup>, S.A. USATOV<sup>3</sup>, M.S. ALTABURY<sup>3</sup>, G.O. DANCHYN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Clinic of Neurosurgery, National Military Medical Clinical Center «Main Military Clinical Hospital» of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Department of Neurosurgery, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> Department of Neurosurgery, Traumatology and Orthopedics with Physical Therapy, Lugansk State Medical University, Rubezhnoe, Ukraine

**Objective** – to develop recommendations for optimization of primary surgical treatment of gunshot penetrating craniocerebral wounds on the basis of theoretical and applied study of one of the sections of wound ballistics – biophysical mechanisms of wound canal formation, concomitant impenetrable wounds and intracranial injuries.

**Materials and methods.** The medical histories of 155 wounded who received a non-penetrating craniocerebral injury during the hostilities in the East of Ukraine in 2014–2020 were studied. All of the wounded were males between 18 and 60 years old (mean age – 35.1 years). To study the biophysical features of the formation of different types of wound canals at a given non-lethal kinetic energy transferred to the head tissues, the type of the wounding projectile, the flight trajectory, the nature of gunshot injuries to the soft tissues of the cranial vault and skull fractures and intracranial injuries were determined according to the data of clinical studies and computed tomography and compared with the results of theoretical studies using the laws of wound ballistics.

**Results.** There were 11 (7.1 %) bullet (only tangential) wounds, and 144 (92.9 %) shrapnel. The formation of wound channels depends on the type of the wounding projectile and its kinetic energy. Non-penetrating firearms bullet and shrapnel tangential craniocerebral wounds are caused by the destructive effect of injuring shells on the tissues, which at the moment of collision with the head have both destructive kinetic energy (>80 J) and less than destructive kinetic energy. Blind craniocerebral injuries are caused only by the traumatic effects of fragments with a small (<80 J) kinetic energy.

**Conclusions.** With gunshot non-penetrating single shrapnel blind wounds, the wounds do not have a zone of secondary necrosis, and the zone of primary necrosis is small or insignificant, which makes it possible not to carve soft tissues around the wound during primary surgical treatment, but only to remove necrotic tissues. With gunshot non-penetrating shrapnel tangential and blind craniocerebral wounds, when the soft tissue wounds of the cranial vault do not gap, small size (damage to the skin, subcutaneous tissue to aponeurosis), primary surgical treatment is not performed. Such wounds are treated with a toilet and aseptic dressings. Wound canals ending in gunshot fractures are subject to primary surgical treatment in the same way as gunshot fractures.

**Key words:** non-penetrating craniocerebral wounds; wound ballistics; kinetic energy of a wounding projectile; wound channel.

## БИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАНЕВЫХ КАНАЛОВ ПРИ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ НЕПРОНИКАЮЩИХ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВЫХ РАНЕНИЯХ

A.A. ДАНЧИН<sup>1</sup>, О.Н. ГОНЧАРУК<sup>2</sup>, С.А. УСАТОВ<sup>3</sup>, М.С. АЛТАБРОУРИ<sup>3</sup>, Г.А. ДАНЧИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Клиника нейрохирургии, Национальный военно-медицинский клинический центр «Главный военный клинический госпиталь» МО Украины, г. Киев, Украина

<sup>2</sup> Кафедра нейрохирургии, Национальный университет здравоохранения Украины имени П.Л. Шупика, г. Киев, Украина

<sup>3</sup> Кафедра нейрохирургии, травматологии и ортопедии с ЛФК, Луганский государственный медицинский университет, г. Рубежное, Украина

**Цель работы** – разработать рекомендации по оптимизации первичной хирургической обработки огнестрельных непроникающих черепно-мозговых ранений на основе теоретического

и прикладного изучения одного из разделов раневой баллистики – биофизических механизмов формирования раневых каналов, сопутствующих непроникающих ранений и внутричерепных повреждений.

**Материалы и методы.** Изучены истории болезни 155 раненых, получивших огнестрельное непроникающее черепно-мозговое ранение во время боевых действий на Востоке Украины в 2014–2020 гг. Все раненые были мужского пола в возрасте от 18 до 60 лет (средний возраст – 35,1 года). Для изучения биофизических особенностей формирования разных видов раневых каналов при заданной неубойной кинетической энергии, переданной тканям головы, определяли вид ранящего снаряда, траекторию полета, характер огнестрельных повреждений мягких тканей свода черепа и переломов черепа и внутричерепных повреждений по данным клинических исследований, и компьютерной томографии, и сопоставляли с результатами теоретических исследований с использованием законов раневой баллистики.

**Результаты.** Пулевых (только касательных) ранений было 11 (7,1 %), осколочных – 144 (92,9 %). Формирование раневых каналов зависит от вида ранящего снаряда и его кинетической энергии. Огнестрельные непроникающие пулевые и осколочные касательные черепно-мозговые ранения обусловлены разрушительным воздействием на ткани ранящих снарядов, которые имеют в момент столкновения с головой как убийную кинетическую энергию (>80 Дж), так и меньшую, чем убийная, кинетическую энергию. Слепые черепно-мозговые ранения вызваны лишь травматическим воздействием осколков, имеющих небольшую (<80 Дж) кинетическую энергию.

**Выводы.** При огнестрельных непроникающих одиноких осколочных слепых ранениях раны не имеют зоны вторичного некроза, а зона первичного некроза небольшая или незначительная, что позволяет не высекать мягкие ткани вокруг раны во время первичной хирургической обработки, а только удалить некротические ткани. При огнестрельных непроникающих осколочных касательных и слепых черепно-мозговых ранениях, когда раны мягких тканей свода черепа не зияют, малого размера (повреждение кожи, подкожной клетчатки до апоневроза) первичную хирургическую обработку не проводят. Лечение таких ран осуществляют проведением туалета и наложением асептических повязок. Раневые каналы, заканчивающиеся огнестрельными переломами, подлежат первичной хирургической обработке так же, как и огнестрельные переломы.

**Ключевые слова:** огнестрельные непроникающие черепно-мозговые ранения; раневая баллистика; кинетическая энергия; ранящий снаряд; раневой канал.