

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР ХІРУРГІЇ
ТА ТРАНСПЛАНТОЛОГІЇ імені О.О. ШАЛІМОВА»**

ГУМЕНЮК КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК: 616.381-001.45+616.348-001]-07-089:355.422+614.2:355

**ДІАГНОСТИКА ТА ХІРУРГІЧНЕ ЛІКУВАННЯ СУЧАСНИХ
ВОГНЕПАЛЬНИХ КУЛЬОВИХ ПОРАНЕНЬ ЖИВОТА
З УШКОДЖЕННЯМИ ОБОДОВОЇ КИШКИ НА РІЗНИХ РІВНЯХ
МЕДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ
(ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛІНІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ)**

14.01.03 «Хірургія»

Реферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора медичних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Українській військово-медичній академії Міністерства оборони України

Офіційні опоненти:

Заслужений лікар України, доктор медичних наук, професор **Пойда Олександр Іванович**, Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця МОЗ України, завідувач кафедри хірургії №1

Заслужений лікар України, доктор медичних наук, професор **Саволюк Сергій Іванович**, Національний університет охорони здоров'я ім. П.Л. Шупика МОЗ України, завідувач кафедри хірургії та судинної хірургії

Заслужений лікар України, доктор медичних наук, професор **Суходоля Анатолій Іванович**, Вінницький національний медичний університет ім.М.І.Пирогова, завідувач кафедри хірургії з курсом стоматології факультету післядипломної освіти лікарів

Захист відбудеться «___» _____ 2025 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.561.01 у ДУ «Національний науковий центр хірургії та трансплантології імені О. О. Шалімова» НАМН України за адресою: 03680, м. Київ, вул. Героїв Севастополя, 30

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці ДУ «Національний науковий центр хірургії та трансплантології імені О. О. Шалімова» НАМН України за адресою: 03680, м. Київ, вул. Героїв Севастополя, 30

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор медичних наук

О. С. Тивончук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

В умовах сьогодення діагностика та хірургічне лікування вогнепальних ушкоджень ободової кишки є складним питанням в системі надання медичної допомоги пораненим на різних рівнях медичного забезпечення не тільки на війні, локальних збройних конфліктах, але і в цивільному житті в усьому світі. Питома вага поранених в живіт при збройних конфліктах коливається від 3,5 % до 11,8% (Ремезюк Е.В., 2020). Ушкодження ободової кишки в загальній структурі проникаючих поранень живота становить 15–23,2% (Лурін І.А. та співавт., 2022).

На Сході України з 2014 року триває війна, в різні періоди проведення якої питома вага бойової травми живота коливалась в межах 4,0–7,3% (Бойко В.В. та співавт., 2014) без тенденції до зменшення, незважаючи на застосування сучасних індивідуальних засобів захисту тулуба - бронежилету. За даними проведення АТО-ООС, згодом широкомасштабного вторгнення та війни в Україні ушкодження ободової кишки зустрічаються у 43% поранених, з летальністю 26% (Заруцький Я.Л. та співавт., 2023). Незважаючи на досягнення сучасної хірургії при бойовій травмі живота залишаються високою частота виникнення післяопераційних ускладнень 54–81%, де летальність становить 12–31% (Усенко О.Ю., Сидюк А.В. та співавт., 2023, 2024; Хоменко І.П. та співавт., 2023). Згідно даних Johnston L.R. (2019), при вогнепальних ушкодженнях ободової кишки в останніх військових конфліктах, летальність навіть досягає 65 %.

Слід зазначити, що ушкодження ободової кишки з деструктивних набули характеру таких, які мали б призводити до зниження летальності, але вплив був прямо протилежний через складність своєчасної діагностики таких поранень, часту мезоперитонеальну локалізацію ушкоджень, значні перфузійні порушення, що призводить до відтермінованих ускладнень та, як наслідок, високої летальності (Дронов О.І. та співавт., 2023; Пойда О.І. та співавт., 2022; Gumeniuk K. et al., 2021; Jackson M., 2011; Khorram-Manesh A. et al., 2022; Murhega R.B. et al., 2022).

Наведене вище вимагає подальшого наукового дослідження, враховуючи появу нових раніше не описаних вогнепальних ушкоджень ободової кишки, сучасними раничими снарядами з експансивними властивостями, які були виявлені у поранених. Доцільне дослідження термінальної (ранової) балістики експансивних раничих снарядів. Вивчення незахищених ділянок тулуба та ободової кишки при наявності бронежилету, запровадження магнітних технологій для видалення сторонніх тіл (куль, осколків), розробка та впровадження ефективних нових відеолапароскопічних та ендоскопічних методик сучасної ранньої діагностики та хірургічних методів лікування вогнепальних кульових ушкоджень ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення з метою зменшення ускладнень, інвалідизації та летальності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є складовою частиною науково-дослідних робіт Української військово-медичної академії, передбачених планом Міністерства Оборони України, а саме: «Розроблення та удосконалення сучасних медичних технологій діагностики та лікування бойової хірургічної травми» (номер державної реєстрації 0123U102822). **Мета дослідження:** вирішення проблеми діагностики та лікування сучасних кульових вогнепальних поранень живота з ушкодженням ободової кишки експансивними раничими снарядами шляхом розробки алгоритму нових та удосконалення існуючих методів з

використанням відеолапароскопічних, ендоскопічних методик, магнітних інструментів на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети було необхідно вирішити наступні завдання:

1. Вивчити частоту, клініко-нозологічну структуру та особливості сучасних вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки експансивними ранячими снарядами в умовах війни в Україні.

2. В експериментальних умовах на імітаторі біологічних тканин та біологічній живій моделі (свинях) дослідити у порівнянні зі звичайною кулею 5,45x39 «ПС» (7Н6М), та кулею 5,45x39 мм, «V-Max» з експансивними властивостями особливості термінальної (ранової) балістики.

3. Дослідити в експериментальних умовах чисельне моделювання сучасних кульових каналів після пострілу різними типами куль: 5,45x39 «ПС» (7Н6М), та 5,45x39 «V-Max».

4. Вивчити незахищені ділянки тулуба та ободової кишки у військовослужбовців ЗС України в залежності від їх типу тілобудови при наявності бронежилету і сучасних кульових пораненнях.

5. Розробити та впровадити на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни сучасний алгоритм діагностики вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки з використанням відеолапароскопічних, ендоскопічних методик та магнітних інструментів з визначенням показань та протипоказань до їх використання.

6. В експерименті на біологічній живій моделі (свинях) дослідити особливості патоморфологічних змін з визначенням обсягу крововиливів в ободовій кишці при її вогнепальних кульових ушкодженнях різними типами куль 5,45x39 «ПС» (7Н6М) та 5,45x39 «V-Max» з експансивними властивостями.

7. Визначити особливості патоморфологічних та гістохімічних змін в ободовій кишці у поранених при її вогнепальних кульових ушкодженнях.

8. Визначити та дослідити предиктори, які впливають на прогноз та хірургічну тактику у поранених з сучасними вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки в умовах війни в Україні.

9. Дослідити ефективність розроблених та впроваджених сучасних нових діагностично – лікувальних методик відеолапароскопії, ендоскопії, магнітних інструментів у поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки кулею 5,45x39 мм, «V-Max» з експансивними властивостями.

Об'єкт дослідження: вогнепальні кульові ушкодження ободової кишки.

Предмет дослідження - рана балістика сучасних кульових ранячих снарядів, діагностичні та хірургічні методи лікування поранених з ушкодженнями ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни, результати експериментально-клінічних та інструментальних методів дослідження, алгоритм організаційних аспектів надання допомоги.

Методи дослідження: бібліосемантичний, експериментальний, чисельне моделювання, лабораторний, інструментальний, гістологічний, гістохімічний, медико-статистичний, аналітичний.

Наукова новизна отриманих результатів. За результатами проведенного мультицентрового наукового дослідження з урахуванням досвіду війни в Україні вперше вивчена частота та особливості вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки експансивними ранячими снарядами.

Вперше проведено порівняльне дослідження особливостей ранової балістики різними типами куль за умов експерименту та в клінічних умовах.

В експериментальних умовах на імітаторі біологічних тканин та біологічній живій моделі (свинях) вперше вивчені особливості термінальної (ранової) балістики сучасних раних снарядів куль 5,45x39 «V-Max» з експансивними властивостями.

Виконане чисельне моделювання ранового каналу дозволило вперше змодельовати процес ураження небіологічного імітатора біологічних тканин людини – геометричної моделі, різними типами куль 5,45x39 «ПС» (7Н6М) та 5,45x39 «V-Max».

Вперше проаналізована швидкість та траєкторія руху куль в середині моделі, як вони змінюються в часі та в процесі формування кульового каналу зі зміною його форми.

Вперше визначили величини еквівалентних напружень, які діють по ходу всього кульового каналу, вхідному, вихідному отворах, з визначенням максимального діаметру об'єму кульового каналу різних типів куль.

Вперше отримана візуалізація та геометрична форма об'єму тканин експериментальної моделі, на які діє кінетична енергія під дією різних типів куль в процесі формування кульового та відповідно ранового каналу.

Вперше вивчені незахищені ділянки тулуба та ободової кишки при наявності бронежилету в залежності від типу тілобудови людини при сучасних кульових пораненнях різними типами куль 5,45x39 «ПС» (7Н6М) та 5,45x39 «V-Max».

Вперше розроблений та впроваджений на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни сучасний алгоритм діагностики вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки з використанням відеолапароскопічних, ендоскопічних та магнітних технологій з визначенням показань та протипоказань до їх використання.

Вперше розроблені та впроваджені в хірургічну практику сучасні нові відеолапароскопічні – (крайова степлерна резекція), ендоскопічні – (кліпування мілких ушкоджень) оперативні втручання.

Вперше розроблені хірургічні магнітні інструменти для видалення сторонніх тіл (куль, осколків) для відеолапароскопічних та лапаротомних операцій.

Вперше досліджені та описані патоморфологічні зміни в ободовій кишці при її вогнепальних ушкодженнях різними типами сучасних куль в експерименті на біологічній живій моделі, описані особливості патоморфологічних та гістохімічних змін в ободовій кишці у поранених.

Отримали подальший розвиток уявлення про специфіку сучасної вогнепальної трансформації дефектів ободової кишки при її вогнепальних ушкодженнях з отриманням оптимальних результатів оперативних втручань.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження є науковим підґрунтям щодо внесення нових елементів у існуючі концепції, ідеї та підходи в галузі воєнно-польової хірургії у частині організації надання хірургічної допомоги пораненим.

Отримані наукові результати є важливими і мають бути враховані в існуючих керівництвах та підручниках з воєнно-польової хірургії.

Проведені експериментальні дослідження термінальної балістики сучасних кульових раних снарядів куль 5,45x39 «V-Max» з експансивними властивостями на імітаторі біологічних тканин та біологічній живій моделі дозволили в практичному плані змінити тактику та об'єм хірургічного лікування у поранених.

Експериментальне чисельне моделювання сучасних кульових ранових каналів дозволило в клінічній роботі при виконанні первинної хірургічної обробки, враховувати потенційні зони незворотних ушкоджень, які визначали ускладнення зони первинного некрозу, молекулярного струсу, та значних еквівалентних напружень які виникають саме при дії куль 5,45х39 «V-Max» з експансивними властивостями.

Досліджені та вивчені незахищені ділянки живота та ободової кишки при наявності бронежилету в залежності від типу тілобудови людини дали інформацію про доцільність при підборі розмірів бронежилету враховувати індекс маси тіла, з практичної точки зору це дає можливість зменшити кількість проникаючих вогнепальних поранень живота з ушкодженням ободової кишки.

Впровадження на II рівні медичного забезпечення сучасних відеолапароскопічних, ендоскопічних технологій дозволили на ранніх етапах діагностувати мезоперитонеальні вогнепальні поранення ободової кишки, що зменшило кількість ускладнень та летальність.

З урахуванням виявлених особливостей був розроблений та впроваджений сучасний алгоритм діагностики вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни.

Отримані результати дисертаційної роботи з розробкою відповідного хірургічного та магнітного інструментарію впроваджено в практичну роботу Військово-медичного клінічного центру Південного регіону (м. Одеса), Військово-медичного клінічного центру Північного регіону (м. Харків), КНП «Міська клінічна лікарня №4 Дніпровської міської ради» (м. Дніпро), Військової частини А 3309 (Запорізький військовий госпіталь) та Військово-медичного клінічного центру Східного регіону (м. Дніпро). Впроваджено до реалізації та практичного застосування 5 патентів України на винахід.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею автора, який визначив мету й завдання дослідження, провів патентний пошук і аналіз наукової літератури по даній темі.

Дизайн експериментальної та клінічної частини та її реалізація виконана особисто автором, який провів збір, аналіз та вивчив з статистичною обробкою отримані результати всього матеріалу.

Написані всі розділи дисертації, сформульовані її основні положення, практичні рекомендації й висновки. Більшість хірургічних оперативних втручань виконані автором самостійно у військово-мобільних госпіталях в зоні активних бойових дій.

В друкованих роботах, виконаних у співавторстві, реалізовані наукові ідеї та здобутки дисертанта, що також відображено в отриманих патентах України.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на 25 Міжнародних науково-практичних конференціях, конгресах, з'їздах

Публікації. Матеріали дисертації опубліковано в 51 друкованій праці, з яких 6 монографій у співавторстві, 33 статі, а саме 20 статей у фахових журналах України категорії Б, 6 статей у фахових журналах України категорії А, що реферуються міжнародними наукометричними базами *Scopus* або *Web of Science Core Collection*; 4 статті в іноземних періодичних виданнях, що реферуються міжнародною наукометричною базою *Scopus*, з яких 1 наукова публікація у виданні, віднесеному до 2-го квартилю (Q2) відповідно до класифікації *SCImago Journal and Country Rank*, що прирівнюється до 3-х публікацій (згідно із наказом МОН України № 1220 від 23.09.2019

р.) і 5 статей в іноземних періодичних виданнях, що реферуються міжнародними наукометричними базами *EBSCOhost*, *OCLC Word Cat*, *Ulrichs Web*, *Google Scholar*, *Cross ref* та ін. Окрім того, опубліковано 7 тез доповідей у матеріалах конгресів і конференцій. Дисертант є автором 5 патентів України на корисну модель.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційне дослідження викладено українською мовою на 572 сторінках друкованого комп'ютерного тексту. Обсяг основного тексту розміщено на 340 сторінках. Робота складається із анотації, вступу, 8 розділів власних досліджень, висновків, практичних рекомендацій та додатків. Дисертація ілюстрована 83 таблицями та 247 рисунками. Перелік використаної літератури містить 356 джерел наукової інформації, з них 74 кирилицею, 282 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Матеріали і методи дослідження. Експериментальна та клінічна частина дослідження. Програмно-цільова структура та обсяг дослідження визначалися поставленою метою та колом вирішуваних завдань. Дослідження здійснювали за програмою, розробленою із використанням системного підходу.

Для досягнення поставленої мети та завдань дисертаційної роботи було проведено експериментально-клінічне дослідження, яке включало 5 етапів:

Завданням першого етапу було вивчення термінальної (ранової) балістики (ТРБ) при прострілах небіологічної моделі – балістичного пластиліну (БП) різними типами ранихих снарядів: 5,45х39 мм, патронів з кулями «ПС» зі сталевим осердям (7Н6М), патронів калібру 5,45х39 мм, споряджені експансивними кулями типу «V-Max».

Завданням другого етапу було отримання силікованих форм (СФ) кульового каналу при прострілах небіологічної моделі – БП з проведенням метричної оцінки в поперечному та поздовжньому січенні з використанням програмного забезпечення «ImageJ», та рентгенологічного дослідження отриманих форм.

На третьому етапі досліджували (ТРБ) при прострілах небіологічної моделі - балістичного гелю, як імітатору біологічних тканин людини різними типами ранихих снарядів: 5,45х39 мм., патронів з кулями «ПС» зі сталевим осердям (7Н6М), патронів калібру 5,45х39 мм., споряджені експансивними кулями типу «V-Max». З наступним рентгенологічним та ультразвукографічним (УСГ) дослідженням.

На четвертому етапі досліджували ТРБ при прострілах біологічної живої моделі – свині, різними типами ранихих снарядів: 5,45х39 мм, патронів з кулями «ПС» зі сталевим осердям (7Н6М), патронів калібру 5,45х39 мм, споряджені експансивними кулями типу «V-Max», з наступним макроскопічним та гістологічним дослідженням ободової кишки.

Завданням п'ятого етапу було проведення сучасних розрахунків експериментального чисельного моделювання сучасних кульових каналів після прострілів різними типами куль.

Клінічна частина роботи була заснована на дизайні досліджень, де були чітко визначені послідовні етапи її виконання.

Перший етап – проведений огляд джерел наукової інформації з приводу загальної характеристики вогнепальних поранень ободової кишки та сучасних кульових ранихих снарядів. Досліджена хірургічна тактика при вогнепальних пораненнях ободової кишки, її ефективність та наслідки і організація надання хірургічної допомоги пораненим на різних рівнях медичного забезпечення (РМЗ) з досвіду сучасних збройних конфліктів та під час війни в Україні.

Другий етап – мав клінічне значення та вивчення незахищених ділянок тулуба і ободової кишки при наявності бронежилету в залежності від типу тілобудови людини при сучасних вогнепальних кульових пораненнях різними типами куль.

Третій етап – мав практичне значення саме аналізу результатів діагностики сучасних вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки у поранених на різних (РМЗ).

Четвертий етап – розкрив та представив патоморфологічні зміни в ободовій кишці при сучасних вогнепальних кульових пораненнях які отримані в експерименті та при клінічних результатах.

П'ятий етап – був заключним, він представлений безпосередньо сучасними хірургічним методам лікування – відеолапароскопії (ВЛС), ендоскопії, використання магнітів для діагностики та видалення сторонніх тіл (СТ) у поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки, які були виконані на різних (РМЗ).

Експериментальне дослідження проведено на базі тиру Київського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України із залученням для проведення експериментів фахівців Державного науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України. В якості балістичного матеріалу, як імітатора біологічних тканин людини, використовували спеціальний сертифікований БП (ROMA PLASTILINA №.1, Ballistic Testing Backing Material, США).

В клінічній частині дослідження було проаналізовано 346 випадків бойової вогнепальної кульової проникаючої травми живота з ушкодженням ободової кишки, які були отримані військовослужбовцями ЗСУ під час проведення бойових дій в Україні з 2014 по 2021 рр.

Статистична обробка даних. Аналіз та опрацювання отриманих статистичних даних проводили за допомогою програм STATISTICA 13.3 EN (комплектція Statistica Base) та Microsoft Excel 2010, Version 14.0.7268.5000 (Product Number 02260-018-0000106-48453). Нами проводилась оцінка абсолютних (m) та частотних (p) характеристик показників для якісних параметрів та середніх величин для кількісних даних (середньої арифметичної – $\bar{X}$) з оцінкою їх варіабельності (середнє квадратичне відхилення – σ). Також визначалась середня похибка досліджуваних показників з оцінкою довірчого інтервалу.

Для детального аналізу впливовості фактора на окремі градації використовували параметричні (t -критерій Ст'юдента, одноваріантна АНОВА) та непараметричні (критерії Манн-Уїтні, Вілкоксона, Крушкел-Валліса та Фрідмана) методи оцінки отриманих результатів. Вливовість фактора на ознаку оцінювали за рівнем статистичної значущості p_α . Вплив є статистично значущим при $p_\alpha < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз результатів дослідження (ТРБ) сучасних кульових ранихих снарядів 5,45х39 мм, «ПС» (7Н6М) та 5,45х39 «V-Max» з експансивними властивостями в експерименті на імітаторі біологічних тканин та біологічній живій моделі, дозволив констатувати, що між характеристиками вхідного отвору існують достовірно встановлені та клінічно значимі відмінності.

Отримані на імітаторах біологічних тканин дані були підтверджені та доповнені при прострілах біологічної живої моделі (свині), де для кулі 5,45х39 мм, «V-Max» середній розмір вхідного отвору склав (22 ± 7) мм., у порівнянні зі снарядом 5,45х39 «ПС» (12 ± 5) мм, ($p \leq 0,05$). Мав овальну форму з ознаками дефекту поверхневих тканин та наявністю по краю кульового отвору осаднення темно-багряного кольору з ділянками некротизованих тканин та крововиливами синюшного кольору в оточуючі тканини навколо вхідного отвору. У той же час, для кулі 5,45х39 «ПС», була властива овальна

форма вхідного отвору з ознаками дефекту доступних візуальній оцінці поверхневих тканин та краплиною згорнутої крові у вхідному отворі.

Характеристики вхідного отвору є важливими і впливають на тактику хірургічної обробки вогнепальних поранень, а й виступають діагностичним критерієм, який свідчить про передачу більшої кількості кінетичної енергії, а отже відіграють роль предикторів наявності важчих та більших за обсягом ушкоджень анатомічних органів і структур.

Експериментальне чисельне моделювання сучасних кульових каналів різними типами куль. Проведене чисельне моделювання кульового каналу дозволило вперше змодельовати процес ураження небіологічного імітатора біологічних тканини людини – геометричної моделі, різними типами куль 5,45x39 «ПС» (7Н6М) та 5,45x39 «V-Max». Це дозволило нам відмічати швидкість польоту куль (м/с), їх траєкторію руху, формування кульового каналу, вимірювати еквівалент напруження вхідного та вихідного отвору, еквівалент напруження при умовному розрізі геометричної моделі, еквівалент напруження на поверхню моделі яка характеризує саме об'єм тканин на які діє кінетична енергія ранячого снаряду.

Відповідні розрахункові експерименти, на відміну від натурних випробувань, надали можливість візуалізувати динамічні процеси руйнування, які виникають в часовому проміжку та розвиваються одночасно з формуванням кульового каналу.

При цьому нами було вперше:

- отримана та проаналізована швидкість та траєкторія руху куль в середині моделі, як вони змінюються в часі в процесі формування кульового каналу зі зміною його форми;
- визначені величини еквівалентних напружень, які діють по ходу всього кульового каналу, вхідному, вихідному отворах, з визначенням максимального діаметру об'єму кульового каналу різних типів куль;
- отримані візуалізації та геометричні форми об'ємів умовних тканин експериментальної моделі, на які діє кінетична енергія під дією різних типів куль.

Ці важливі наукові дані можуть бути використані в клінічній роботі при виконанні ПХО, для оцінки потенційної зони незворотних ушкоджень, що в проекції на біологічні тканини людини визначатимуть можливі ускладнення - розвиток некрозу та інших негативних фізіологічних процесів, адже мова йде про зону первинного некрозу, молекулярного струсу, які зазнали значних еквівалентних напружень при вогнепальному ушкодженні саме кулею з експансивними властивостями 5,45x39 «V-Max».

Отримані дані дозволяють обґрунтованим чином здійснювати чисельне моделювання тих фізичних процесів, які відбуваються під час балістичного ураження і можуть бути використані для широкого кола наступних обчислювальних експериментів при сучасній вогнепальній травмі різними кульовими ранячими снарядами.

Клінічне значення та вивчення незахищених ділянок тулуба і ободової кишки при наявності бронежилету в залежності від типу тілобудови людини при сучасних кульових пораненнях різними типами куль.

Проведені антропометричні, рентгенологічні та клініко-анатомічні дослідження незахищених ділянок тулуба і ободової кишки при наявності бронежилету та в залежності від антропометричних показників людини при сучасних кульових пораненнях дозволили виділити особливості.

Виявлений зв'язок між (ІМТ), вагою та цими зазначеними вище критеріями для оцінки вразливості незахищених бронежилетом ділянок. Хоча в даному випадку спостерігався сильний та статистично достовірний зв'язок з розміром площі та часткою

поверхні тіла, яка незахищена бронежилетом і для ваги, так і для (ІМТ), слід звернути увагу на те, що (КК) та (R2) є більшими саме для маси тіла. Маса тіла є більш вагомим критерієм, який потрібно враховувати для прогнозування вразливої площі поверхні тіла, незахищеної бронежилетом.

Встановлений характер зв'язку між зростом та площею і часткою поверхні тіла, незахищеною бронежилетом, як найбільш вживаним критерієм для підбору розміру бронежилету, але статистично достовірного зв'язку між цими двома параметрами не було виявлено. Це стало не лише остаточним підтвердженням зазначеної вище прогностичної цінності маси тіла, а й свідченням недоцільності використання зросту для формування стандартних розмірних сіток бронежилетів.

Найбільш достовірним та обґрунтованим критерієм, в даному випадку, є вага тіла. Згідно антропометричного аналізу, встановлено, що передня поверхня тулуба є найбільш вразливою в генеральній сукупності і складає від (59%) до (71%) від загальної структури незахищеної ділянки. Це підтверджується і результатами клініко-анатомічних спостережень, відповідно до яких, переважна кількість вхідних вогнепальних отворів, локалізованих в ділянці живота, розташована на його передній поверхні 102 з 132 вхідних отворів в цій анатомічній зоні (77,3%), що приблизно відповідає частці в загальній структурі незахищеної ділянки.

Крім того, встановлені особливості розподілу вразливих ділянок, залежно від типу тілобудови. Так, найбільш вразливою передня поверхня тулуба є для осіб з нормостенічним типом тілобудови (71%) в загальній структурі незахищеної ділянки. Для осіб з астеничним типом тілобудови, порівняно з іншими групами, характерна більша вразливість бічних ділянок (21%) в загальній структурі незахищеної ділянки, проти (9%) у нормостеніків та (16%) у гіперстеніків. Для гіперстеніків вразливішою є задня поверхня тулуба (25%) в загальній структурі незахищеної ділянки, проти (13%) у астеників та (20%) у нормостеніків.

Відповідно до проведеного нами статистичного аналізу, наведені ділянки є потенційно найбільш вразливими при сучасних вогнепальних пораненнях, які потрібно враховувати, як при підборі індивідуальних засобів захисту-бронежилету, так і при наданні медичної допомоги таким пораненим.

За допомогою рентгенологічного дослідження іригографії було виконано візуалізацію потенційно вразливих ділянок ободової кишки у військовослужбовців при наявності бронежилету та виявлено наступне: якщо не брати до уваги сліпу та сигмоподібну кишку, які є вразливими для всіх груп у 100% випадків, найменшу варіабельність та найбільшу вразливість спостерігаємо для нижньої половини висхідного відділу ободової кишки вразлива у (80%) для астеників та (69%) для гіперстеніків, що підтверджується клініко-анатомічними спостереженнями вразливих ділянок ободової кишки, відповідно до яких, висхідний відділ ободової кишки, при вогнепальних кульових ушкодженнях, травмується частіше у (12,46%) випадків у порівнянні з низхідним відділом (9,2%) випадків, ($p \leq 0,01$).

У поранених з астеничним типом тілобудови немає різниці між потенційною вразливістю правих і лівих відділів, тоді як у осіб з гіперстенічним типом тілобудови та нормостеніків ліві відділи захищені дещо краще. За результатами клініко-анатомічних спостережень, праві відділи також демонструють більшу вразливість, у порівнянні з контралатеральними лівими.

Однак, тоді як за результатами іригографії для всіх груп найменш вразливими є печінковий та селезінковий вигин ободової кишки, при цьому потенційна вразливість поперечної ободової кишки є значно варіабельнішою, в залежності від типу тілобудови

(25-28%) у осіб з гіперстенічним типом тілобудови проти (70-80%) у астеніків, та (42,9-50%) у нормостеніків. Найбільша варіабельність, в залежності від типу тілобудови, характерна для верхньої половини низхідного відділу ободової кишки. Якщо у астеніків вона є вразливою в (70%) випадків, то у гіперстеніків всього лише в (9%). Найбільш вразливою ободова кишка є у осіб з астенічним типом тілобудови (72%), найбільш захищеною у гіперстеніків (45%), у нормостеніків цей показник становить (55,7%).

При подальшому дослідженні за результатами клініко-анатомічних спостережень у поранених при наявності бронежилету у 133 (65,5%) випадках були сліпі вогнепальні поранення, у 70 (34,5%) наскрізні. Відмічено, що поранення які отримані внаслідок ураження звичайною кулею 5,45x39 «ПС» мають переважно в (75,36%) випадків наскрізний характер, тоді як при ураженні висококінетичними кулями з експансивними властивостями 5,45x39 «V-Мах», переважають сліпі ушкодження, які складають (86,57%) випадків.

Більшість вогнепальних поранень припадають на правий верхній квадрант живота (25,8%) з усіх отворів, локалізованих в цій ділянці та лівий нижній квадрант (23,5%). Втім, при клініко-анатомічному аналізі була також виявлена велика кількість вогнепальних кульових отворів, які були локалізовані екстраабдомінально (35%) вхідних та (45,7%) вихідних вогнепальних кульових отворів у поранених з ушкодженням ободової кишки при наявності бронежилету. Слід звернути увагу, що в ділянці живота було розташовано лише близько 2/3 таких вхідних вогнепальних отворів 132 з 203 спостережень, що складає (65%). Другою за частотою є локалізація вхідного отвору в ділянці грудної клітини 24 з 203 спостережень (12%), що вказує не тільки на велику питому вагу (ТА) поранень, а й на збільшення відстані між вхідним отвором та ушкодженими ділянками, що ймовірно обумовлено кінетичними та балістичними характеристиками сучасних ранихих снарядів.

Нами відмічена велика кількість атипових для ушкодження органів черевної порожнини локалізацій, де вхідні вогнепальні отвори мали місце в ділянках стегна, криж, сідниць та промежини. Це є ознакою на першочергову необхідність і значущість узагальнення саме клінічного досвіду в цьому напрямку, наявних експансивних поранень.

Значний обсяг вхідних отворів у поранених з вогнепальним ушкодженням ободової кишки були розташовані в поперековій ділянці 23 з 203 спостережень, (11%). Дана локалізація є також предиктором ушкодження мезоперитонеально розташованих відділів ободової кишки та розвитку заочеревинних гематом, що пов'язано з високим ризиком гнійно-септичних ускладнень, де при екстраабдомінальних ушкодженнях на ліву поперекову ділянку приходиться (21,1%) та ліву бічну поверхню грудної клітини (14%).

Зокрема відмічено, що розташування вхідного отвору в правому верхньому квадранті живота призводить до значного зростання летальності (14,71%) проти (11,82%) в усій групі, ($p \leq 0,01$). Кількості ускладнень (52,94%) при локалізації вхідного отвору в правому верхньому квадранті живота проти (42,86%) в усій групі ($p \leq 0,01$), та кількістю релапаротомій через ускладнення (41,18%) проти (29,56%) в усій групі, різниця ($p \leq 0,01$). Отже, дана локалізація вхідного отвору може виступати предиктором тяжчого прогнозу для пораненого.

Також зі статистично значимим збільшенням летальності пов'язано розташування вхідного отвору в лівій сідничній ділянці (16,67%) проти (11,82%) в усій групі ($p \leq 0,01$). В крижовій ділянці зі зростанням питомої ваги ускладнень (57,14%) проти (42,86%) в

усій групі ($p \leq 0,01$). Кількістю релапаротомій через ускладнення (42,86%) при цій локалізації вхідного отвору проти (29,56%) в усій групі ($p \leq 0,01$).

Переважає кількість вогнепальних ушкоджень ободової кишки припадає на один її відділ (77,83%) випадків, однак в тих випадках, коли поранено кілька відділів, спостерігається значне зростання рівня летальності, та відповідно зростання кількості ускладнень та релапаротомій у порівнянні з генеральною сукупністю.

При аналізі кількості відділів, які зазвичай ушкоджуються при пораненнях звичайними та експансивними кулями відмічено, що при пораненні звичайними кулями 5,45x39 «ПС» ушкоджується переважно один (84,06%) відділ, рідше два відділи ободової кишки (15,94%) випадків. При ураженні кулями 5,45x39 «V-Мах» з експансивними властивостями ушкодження мають місце трьох і більше відділів (8,21%) випадків.

Відмічено, що для звичайних куль характерна більша питома вага тяжчих ушкоджень з великою зоною безпосередньої деструкції 4 та 5 ступеню за AAST сумарно (24,63%) випадків, тоді як для експансивних куль 5,45x39 «V-Мах», питома вага таких ушкоджень складає всього (14,18%). При аналізі частоти ушкодження окремих відділів ободової кишки при вогнепальному кульовому пораненні звичайними 5,45x39 «ПС» та експансивними кулями 5,45x39 «V-Мах» встановлено, що найбільш часто має місце вогнепальне ушкодження сигмовидної кишки у (31,88%) випадках при пораненнях звичайною кулею, проти (26,12%) експансивною, різниця ($p \leq 0,05$).

Проте, саме при пораненнях експансивною кулею, відмічено більш часте ушкодження печінкового вигину (23,13%) та попереково ободової кишки (25,37%), проти звичайної кулі відповідно (14,49%) та (17,39%), різниця ($p \leq 0,01$). Найменш ушкодженими відділами були селезінковий вигин (10,14%), при пораненнях звичайною кулею, проти (12,69%) експансивною. Низхідний відділ ободової кишки був менш ушкодженим у (10,45%) випадках при пораненнях експансивною кулею, проти (14,49%) звичайною кулею, різниця ($p \leq 0,05$). Такі результати свідчать про певні незахищені та захищені відділи ободової кишки при вогнепальних кульових пораненнях різними типами куль при наявності бронежилету.

При цьому, значний вплив на наслідки при вогнепальних пораненнях ободової кишки чинить саме властива експансивним кулям більша кількість ушкоджень та кількість відділів, в яких ці ушкодження локалізовані. Напроти ступінь безпосередньої деструкції кишки була більшим при пораненнях звичайними кулями. Але вплив висококінетичних ранячих снарядів куль з експансивними властивостями пов'язаний зі значною зоною молекулярного струсу та мікрокавітацією. Такі ушкодження підступні тим, що невидимі нашому оку під час лапаротомії ушкодження, чинять не менший вплив на прогноз та наслідки лікування, ніж безпосередня деструкція кишки, яка виявлена під час операції.

Діагностика сучасних вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки у поранених на різних рівнях медичного забезпечення.

Нами визначені особливості клінічних проявів сучасних вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки в умовах війни: стерта клінічна картина 44 (12,8%) випадків, невиражений больовий синдром 91 (26,3%), екстраабдомінальні ушкодження ободової кишки 116 (33,5%), евентрація ободової кишки 21 (6,06%).

Наведені особливості були обумовлені видом ранячого снаряду (в даному контексті – типом кулі та її будовою), обтурацією ушкодженої ободової кишки ранячим снарядом або його фрагментами, часом з моменту поранення та огляду медичним фахівцем на різних (РМЗ), характером ушкодження ободової кишки, розмірами та кількістю дефектів стінки, відривом кишки чи її повною руйнацією, а також тими анатомічними ділянками

ободової кишки, які були ушкоджені з урахуванням її мезоперитонеального розташування, яке було діагностованим у 14 (66,6%) поранених. Слід зазначити, що серед 346 (100%) поранених з ушкодженням ободової кишки тільки у 48 (13,8%) був встановлений діагноз на догоспітальному рівні надання допомоги, що безумовно характеризує проблему в діагностиці таких вогнепальних поранень.

Відмічено, що лабораторні методи дослідження в оцінці стану поранених з вогнепальними кульовими пораненнями живота з ушкодженням ободової кишки мають допоміжну роль. Однак проведені дослідження свідчать про тяжкий перебіг сучасної бойової травми ободової кишки в основній групі з демонстрацією накопичення значної кількості предикторів несприятливого перебігу ранового процесу і реакції системної запальної відповіді. Ймовірно, це пов'язано із загальною тяжкістю травми, кількістю та обсягом ушкоджених анатомічних структур, органів та тканин та ступенем контамінації черевної порожнини в наслідок вогнепального ушкодження ободової кишки.

При рентгенологічному дослідженні відмічено, що цей метод є високоефективним у виявленні металевих (СТ) (куль та їх фрагментів) у поранених. Крім того, він дозволяє встановити тип раннячого снаряду, по наявності цільної кулі, яка була діагностована у 55 (15,8%) випадках так і по наявності у 27 (20,9%) випадках фрагментованих осколків по типу «квітки смерті» та «свинцевого шторму», що є характерною ознакою для куль з експансивними властивостями у 129 (37,2%) поранених з формуванням трьох зон фрагментації. Специфічність даного методу дослідження для встановлення особливостей раннячого снаряду за експансивними властивостями на II (PM3) становила (79,7%). Чутливість (94,5%).

Для встановлення наявності саме вогнепального ушкодження ободової кишки на II (PM3) провідна роль перейшла до (УСГ) діагностики FAST протоколу, які в більшій мірі замінили використання лапароцентеза. Ознаки наявності вільної рідини в черевній порожнині були діагностовані у 52 (30,2%) поранених, вони мали супутнє ушкодження інших органів, тому специфічність FAST протоколу саме для ушкодження ободової кишки лишається в даному випадку сумнівною.

Чутливість діагностики ушкоджень ободової кишки склала (95,3%). Специфічність (88,5%). Безумовно діагностична роль (СКТ) є провідною для встановлення ушкоджень ободової кишки її чіткої локалізації, однак низька доступність цього методу в прифронтових умовах на II (PM3) не дозволяє його широко застосовувати для ранньої діагностики, лише у 38 (10,9%) пораненим було виконано (СКТ). Специфічність даного методу дослідження на II (PM3) становила (98,5%). Чутливість (85,5%).

Діагностична (ВЛС), (ФКС) в тому числі інтраопераційна є безпечними методами, які можуть бути використані для діагностики у поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки на II (PM3) – у (ВМГ) для швидкої верифікації наявності ушкоджень ободової кишки та їх чіткої локалізації. Ці сучасні малоінвазивні методи попереджають розвиток ускладнень, які пов'язані із недіагностованими та пропущеними випадками. Для їх виконання необхідно чітко дотримуватись визначених нами показань та протипоказань. Було виконано 42 (12,1%) (ФКС), з яких інтраопераційних 28 (66,6%), діагностовано 21 (50%) ушкоджень різних відділів ободової кишки серед них надзвичайно важливою була можливість виявити ушкодження мезоперитонеальних відділів ободової кишки у 14 (66,6%), які мають стерті клінічні ознаки та важко діагностуються на ранніх етапах надання допомоги. Таким чином, застосування (ФКС) на ранніх етапах – II (PM3), дозволило своєчасно діагностувати вогнепальні кульові ушкодження ободової кишки у 21 (50%) поранених.

ІФКС була додатковим методом діагностики особливо у важких діагностично-клінічних випадках та при стертій клінічній картині вогнепального ушкодження ободової кишки. За результатами діагностичних (ВЛС) у 122 (35,2%) поранених, було діагностовано наявність мезоперитонеально розташованого вогнепального кульового ушкодження ободової кишки у 14 (66,6%) поранених, серед них ушкодження висхідного відділу виявлені у 11 (78,5%) випадках, у 3 (21,5%) її низхідного відділу. Для повноцінної ревізії зони ушкодження у всіх випадках потрібно виконувати мобілізацію ободової кишки в зоні проекції ранового каналу та гематом.

Наш досвід показує, що розробка, використання та запровадження сучасного магнітного інструментарію під час виконання діагностичної (ВЛС) чи лапаротомії дозволяє швидко діагностувати (СТ). Під час лапаротомії у 105 (57,06%) поранених було діагностовано наявність (СТ), при виконанні (ВЛС) діагностовано 79 (42,9%). Цілих куль було діагностовано у 55 (29,8%) поранених, у інших 129 (62,7%) випадках були діагностовані різноманітні фрагменти куль, серед них виявлені кулі з деформацією по типу «квітки смерті» у 27 (20,9%). Особливим було те, що у 23 (12,5%) поранених виявити (СТ) за допомогою магніту в черевній порожнині при лапаротомії не вдалось у 8 (7,6%) випадках, при (ВЛС) у 15 (19%). Таким чином, специфічність застосування сучасного магнітного інструменту для діагностики сторонніх тіл при вогнепальних ушкодженнях ободової кишки у поранених під час виконання лапаротомії становила (88,1%) та чутливість (100%). При виконанні (ВЛС), ендоскопічних оперативних втручань (74,1%) та (100%) відповідно.

Отже, застосування визначеного алгоритму діагностики вогнепального кульового поранення живота з ушкодженням ободової кишки на різних (РМЗ) (рис. 1) в комплексі з клінічними, лабораторно-інструментальними а особливо запровадженими сучасними (ВЛС), ендоскопічними, променевими методами, магнітним інструментом дало нам можливість ранньої діагностики наявності вогнепального ушкодження ободової кишки з швидкою візуалізацією та магнітодетекцією наявності сторонніх тіл, що визначало подальшу хірургічну тактику, об'єм та вибір оперативного втручання.

Патоморфологічні зміни в ободовій кишці при сучасних вогнепальних кульових пораненнях. Експериментальні та клінічні результати. Проведені патоморфологічні дослідження визначили, що застосування бойових патронів з кулями 5,45x39 «ПС» (7Н6М) та 5,45x39 «V-Max» призводить не тільки до значних морфологічних змін в стінці ободової кишки у дослідних тварин, але і до кількісних ознак важких крововиливів у власну пластинку слизової оболонки та підслизову основу. Зміни в ободовій кишці достовірно були більш виразні при вогнепальних пораненнях з застосуванням експансивної кулі 5,45x39 «V-Max», з наявним більшим обсягом не тільки характеру ушкодження, а і осередків масивних крововиливів на відстані понад 20,0 см., та на всю товщину стінки кишки, ніж у кулі 5,45x39 «ПС» (7Н6М). Згідно отриманих результатів для всіх чотирьох варіантів використання показників sV ВП (X) та sV ПО (Y) має місце відмінність середніх арифметичних M_e та M_k для експериментальної та контрольної групи, оскільки виконується умова $t \geq t_{кр}$.

І рівень МЗ				
Поле бою	Огляд			
	Поранення живота		Екстраабдомінальні поранення	
	Абсолютні ознаки проникаючих поранень живота: • локалізація вхідного і вихідного отворів у ділянці живота; • наявність ободової кишки в рані (евентерація); • захисний пакет; • каловий вміст в рані.		Локалізація екстраабдомінальних поранень • торако-абдомінальні; • поперекової ділянки; • сідничної ділянки; • кінцівки.	
Долікарська допомога	Клініка	Огляд	Пальпація	
Перша лікарська допомога	Медична документація	Клініка	Огляд	Пальпація
	FAST – протокол, лапаросцентез, R-графія ОГК, ОЧП			
II рівень МЗ				
ПХГ, ВМГ	Медична документація	Клініка	Огляд	Пальпація
	Лабораторні аналізи, FAST – протокол, R-графія ОГК, ОЧП, МСКТ			
	Інтраопераційна ФКС, Ендоскопічне кліпсування, Магнітні інструменти			
III рівень МЗ				
ВМКЦ	Медична документація	Клініка	Огляд	Пальпація
	Лабораторні аналізи, УЗД, FAST – протокол, R – графія ОГК,ОЧП, МСКТ ФКС, ІФКС, ВЛС, Магнітні інструменти			
IV рівень МЗ				
НВМКЦ «ГВКГ», Провідні інститути НАМН України	Медична документація	Клініка	Огляд	Пальпація
	Лабораторні аналізи, УЗД – експертного класу, МСКТ Ендовідеохірургія - ФКС, ІФКС, ВЛС – 6К, Магнітні інструменти			

Рис. 1. Алгоритм діагностики вогнепального кульового поранення живота з ушкодженням ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення.

Обсяг ушкодження ободової кишки при її вогнепальному пораненні та її кількісна оцінка характеру крововиливів повинна бути врахована при визначенні хірургічної тактики.

При аналізі проведених результатів патоморфологічних змін в ободовій кишці у поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями було встановлено наступне:

1) вид раннячого снаряду впливає на характер та структуру патоморфологічних змін в ободовій кишці,

2) вплив параколярного вогнепального кінетичного удару є руйнівним для всіх анатомічних структур стінки ободової кишки, але найбільше для кровоносних судин, які мають різний ступінь руйнування з наявними різко розширених, повнокровних до спазмованих судин з діapedезними крововиливами, з розвитком гострої гіпоксії та ацидозу, посилюючи тим самим дистрофічні, атрофічні та некротичні зміни в стінці ободової кишки,

3) найбільша сила кінетичного удару на кишку припадає на зовнішню поверхню де ушкоджується брижа, параколярна тканини та очеревина, яка часто руйнується з повздовжнім м'язовим шаром стінки кишки, у різко спазмованих гладких міоцитах нами виявлено різку гіпертрофію їх ядер, що є ознакою кінетичного внутрішньоклітинного вибуху під впливом збільшеного внутрішнього тиску у клітинах,

4) вогнепальне кульове поранення ободової кишки у пораненого стимулює загострення хронічних захворювань ободової кишки, що змінює їх статус на гострі

невідкладні хірургічні стани з розвитком ускладнень в місцях ушкоджень та ділянках проведених оперативних втручань.

Отже вогнепальне поранення ободової кишки носить складний, поєднаний характер, коли механічне ушкодження призводить до наслідків у діапазоні від дистрофічних проявів на клітинному рівні до незворотних некротичних на тканинному рівні. Методом вибору для хірургічного відновлення наслідків вогнепального поранення з ушкодженням ободової кишки, є резекція некротичних вогнищ, великих геморагій для уникнення розвитку ускладнень.

Гістохімічне дослідження коефіцієнта R/B при забарвленні бромфеноловим синім дозволяє визначати ступень та глибину локального протеолізу в тканинах стінки ободової кишки поряд з місцем оперативного втручання. Оцінюючи величину цього коефіцієнта R/B, можливо врахувати адекватність відступу від ушкоджених ділянок стінки кишки та прогнозувати ймовірність успішного загоєння шва.

Значення коефіцієнта R/B до 1,0 дозволяє оцінити накладання анастомозу у межах життєздатних тканин ободової кишки і прогнозувати успішне загоєння місця анастомозу чи ушивання ділянки ушкодження.

Коефіцієнт R/B у діапазоні 0,99–1,47 свідчить про накладання анастомозу в зоні тканин підвищеного ризику нежиттєздатності, що потребує ретельного динамічного спостереження за пораненим, додаткового призначення антиоксидантної, вазотропної та реологічної терапії, аби уникнути ускладнень.

Перевищення коефіцієнта R/B - 1,47 та вище, свідчить про накладання анастомозу у зоні явно нежиттєздатних тканин, що з великою вірогідністю у подальшому буде потребувати повторного оперативного втручання в зв'язку з розвитком ускладнень.

Ізольоване перевищення коефіцієнта R/B у зовнішніх відділах ободової кишки дозволяє прогнозувати більшу вірогідність розвитку спайкової хвороби у післяопераційному періоді, що потребує призначення ферментної, протизапальної терапії та ранньої противоспайкової гімнастики для попередження утворення спайок.

Ізольоване перевищення коефіцієнта R/B у підслизовому шарі ободової кишки дозволяє прогнозувати більшу вірогідність розвитку запальних явищ в зоні анастомозу чи місці ушивання яке потребує проведення інтенсивної коригуючої терапії в післяопераційному періоді. Порушення білкового метаболізму кишкової стінки призводить до активації карбоксильних груп, що сприяє затримці репарації та регенерації ушкоджених при вогнепальному пораненні ділянок ободової кишки, і при неблагоприємних подальших умовах до порушення кровопостачання, некрозів слизової, що є ризиком розвитку ускладнень - перфорацій, неспроможності анастомозу.

Сучасне хірургічне лікування поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення.

Нами було проаналізовано 203 (58,7%) випадків бойової вогнепальної кульової проникаючої травми живота з ушкодженням ободової кишки, які були оперовані лапаротомним доступом. Всі оперативні втручання були умовно розподілені на резекції кишки та первинні ушивання без резекції. Також окремо враховувалося формування стоми під час первинної операції (рис. 2, 3).

У поранених з вогнепальним кульовим ушкодженням ободової кишки, при виконанні лапаротомних оперативних втручань при резекції кишки, кращі результати були у поранених у яких формували стому.

Виконання первинного відновлення безперервності ободової кишки після резекції супроводжується статистично значимим зростанням рівня летальності з (7,69%) до (20,83%) в генеральній сукупності ($p \leq 0,01$), з (6,25%) до (20,0%) при пораненнях

експансивними кулями ($p \leq 0,01$), з (8,7%) до (21,43%) при пораненнях кулями без експансивних властивостей, різниця ($p \leq 0,01$)

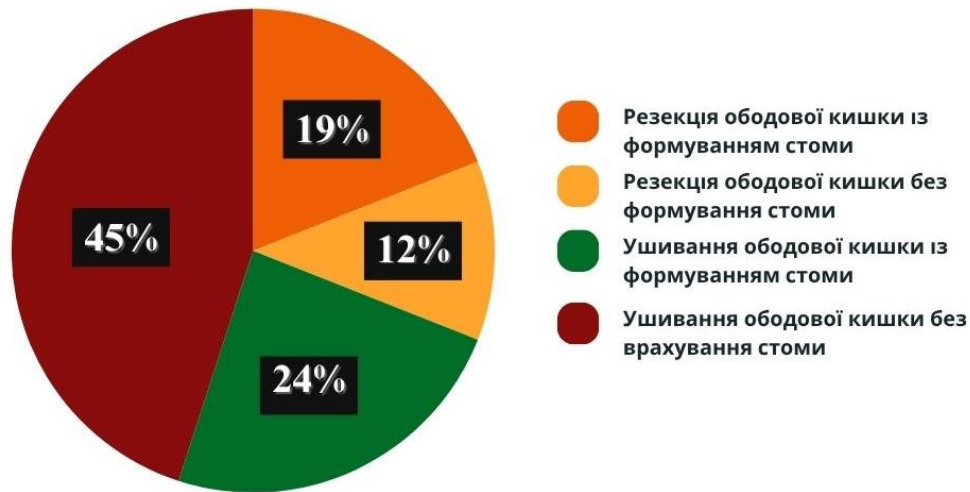


Рис. 2. Графічне зображення розподілу лапаротомних оперативних втручань при кульових пораненнях з ушкодженням ободової кишки в генеральній сукупності.

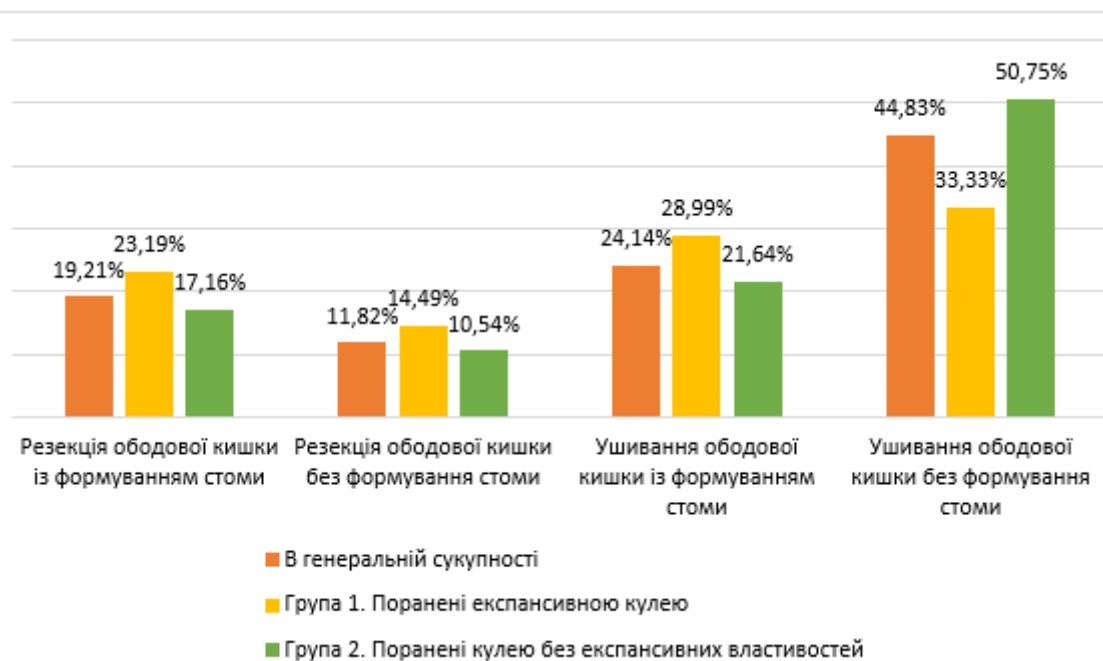


Рис. 3. Графічне зображення порівняльного розподілу лапаротомних оперативних втручань при кульових пораненнях з ушкодженням ободової кишки в генеральній сукупності та досліджуваних групах.

За розвитком ускладнень з (43,59%) до (58,33%) в генеральній сукупності, різниця ($p \leq 0,01$), з (43,75%) до (70,0%) при пораненнях експансивними кулями ($p \leq 0,01$), з (43,48%) до (50,0%) при пораненнях кулями без експансивних властивостей, ($p \leq 0,05$).

При виконанні ушивань формування стом призводить до зростання рівня ускладнень після (ВЛС) втручань майже в три рази з (16,33%) при виконанні ушивання без формування стом до (42,86%), якщо стома була сформована, ($p \leq 0,01$). Обсяг

ускладнень при виконанні ушивання зі стомою виявився навіть вищим, ніж при виконанні резекції зі стомою (37,5%) проти (42,86%), ($p \leq 0,01$).

Для поранених експансивною кулею – найвищий рівень ускладнень відмічений після ушивань із формуванням стом (45,45%), на відміну від втручань без формування стом, де ускладнення спостерігались лише у (30%) поранених ($p \leq 0,01$). При пораненнях кулею без експансивних властивостей зберігається тенденція до збільшення кількості ускладнень при виконанні резекційних втручань з (31,82%) при виконанні резекції, проти (19,23%) при виконанні первинного ушивання, ($p \leq 0,01$), та їх зростання при формуванні стом під час ушивання якщо стома була сформована (38,46%), без неї (12,82%), ($p \leq 0,01$).

Відмічено, зростання обсягу ускладнень і при виконанні резекцій зі стомою до (35,29%) проти (20%) у випадках, коли стому не виводили, ($p \leq 0,01$) оскільки кількість таких втручань в дані групі є репрезентативною.

При проведенні аналізу порівняння виконаних лапаротомій та (ВЛС) встановлено, що при пораненнях кулею з експансивними властивостями спостерігається суттєве збільшення обсягу ускладнень саме при виконанні лапаротомних резекцій у порівнянні з (ВЛС) де (50%) при лапаротоміях проти (43,7%) при (ВЛС) ($p \leq 0,01$). Також при формуванні стом при ушиванні, якщо операція була виконана лапаротомним доступом (53,3%) проти (45,4%) при виконанні (ВЛС) ($p \leq 0,05$).

При пораненнях кулею без експансивних властивостей відмічено суттєве зростання обсягу ускладнень при виконанні ушивань ободової кишки до (30,8%) лапаротомним доступом проти (19,2%) при (ВЛС), ($p \leq 0,01$). Двократно зростає і обсяг ускладнень при формуванні стом під час ушивання, якщо операція виконувалась лапаротомним доступом (29,7%) проти (12,8%) під час (ВЛС) ($p \leq 0,01$). Однак при виконанні ушивання із наступним накладанням стом, (ВЛС) втручання демонструють вищий рівень ускладнень (38,4%) ніж при лапаротоміях (33,3%), ($p \leq 0,05$). При виконанні резекції із накладанням стом, під час лапаротомних втручань відмічений більший рівень ускладнень (41,6%) проти (35,2%) при (ВЛС), ($p \leq 0,05$).

При пораненнях кулею з експансивними властивостями краще уникати виконання первинних ушивань, оскільки вони супроводжуються гіршим прогнозом для цієї категорії поранених, у порівнянні із виконанням первинних резекцій, де відмічено зростання летальності з (11,5%) до (16,2%), ($p \leq 0,01$). Ймовірно це обумовлено передачею більшого обсягу кінетичної енергії із формуванням значної зони молекулярного струсу та мікрокавітації, які неможливо оцінити макроскопічно під час оперативного втручання, але саме вони виступають причиною ішемії та наступної деструкції тканин в післяопераційному періоді, що і приводить до несприятливих наслідків, що було доведено при проведенні наших експериментальних досліджень. Формування стом або відмова від них не чинили впливу на прогноз у цієї категорії поранених.

При пораненнях кулею без експансивних властивостей виконання первинного ушивання є цілком прийнятною тактикою, якщо ушкодження є локалізованим в межах одного сегменту ободової кишки та не більшим за 2 стадію за AAST. Ця тактика не супроводжується зростанням рівня ускладнень (45,9%) при виконанні резекцій у цієї категорії поранених та (36,08%) при виконанні первинних ушивань, ($p \leq 0,01$), чи летальності (13,5%) при виконанні резекцій у цієї категорії поранених та (9,2%) при виконанні первинних ушивань, ($p \leq 0,05$). На прогноз не впливає також і формування стом, беручи до уваги той факт, що виведення стом призводить до подовження терміну лікування пораненого та погіршує якість його життя (ЯЖ), ускладнює подальший догляд і реабілітацію – тому доцільним буде відмовитися від формування стом при виконанні

первинних ушивань у поранених з кульовим вогнепальним ушкодженням ободової кишки кулею без експансивних властивостей.

Застосування (ВЛС) не спричиняє зростання рівня летальності та рівня ускладнень у генеральній сукупності у поранених з бойовою вогнепальною кульовою проникаючою травмою живота та ушкодженням ободової кишки, незалежно від типу обраного оперативного втручання. Виконання запропонованої нами (ВЛС) крайової степлерної резекції в основній групі 6 (4,44%) випадків, в групі порівняння в 1 (0,47%) випадку ушкоджених ділянок ободової кишки не мали ускладнень. Летальність становила при резекціях (7,89%) при (ВЛС) та (7,89%) при лапаротоміях. У випадках ушивання дефекту ободової кишки (6,19%) при лапаротоміях та (5,95%) при (ВЛС). Рівень ускладнень був при резекціях (42,1%) при виконанні лапаротомій та (36,84%) при (ВЛС) операціях. У випадках ушивання дефекту ободової кишки (32,9%) при лапаротоміях та (27,38%) при (ВЛС).

У поранених експансивними кулями краще віддати перевагу лапаротоміям перед (ВЛС) оскільки для цієї категорії поранених спостерігаємо двократне зростання летальності при використанні (ВЛС) у порівнянні з лапаротомними операціями, як для операцій по типу резекції ободової кишки де рівень летальності становив (6,25%) проти (12,5%) при (ВЛС) ($p \leq 0,01$), так і для ушивань де рівень летальності становив (6,9%) для лапаротомних операцій проти (12,5%) для (ВЛС) ($p \leq 0,01$).

При пораненнях кулями без експансивних властивостей при виконанні (ВЛС) операцій летальність суттєво нижча, ніж для лапаротомій. Так, для резекцій, що були виконані лапаротомним доступом летальність становила (9,09%), тоді як для (ВЛС) (4,54%), ($p \leq 0,01$). Для оперативних втручань по типу ушивань ободової кишки в цій групі поранених, летальність при використанні лапаротомного доступу становила (5,8%), в той же час для (ВЛС) операцій (1,92%), ($p \leq 0,01$). В генеральній сукупності найвищий рівень ускладнень (36,8%) був при виконанні (ВЛС) операціях, проти (27,38%) при виконанні ушивань ($p \leq 0,01$). Запропонована методика ендоскопічного кліпування мілких вогнепальних дефектів ободової кишки була виконана у 18 (13,33%) поранених основної групи та у 3 (1,42%) випадках порівняльної групи з гарним клінічним результатом, без розвитку ускладнень.

Тип ранячого снаряду має значний вплив на медико-соціальні наслідки вогнепальних поранень. В основній групі експансивні кулі призводять до тяжчих ушкоджень, які потребують тривалішої госпіталізації та знижують ймовірність повернення поранених в стрій. Так, середня тривалість лікування після (ВЛС) операцій при пораненнях кулями без експансивних властивостей становить 23,16 ліжко-днів, тоді як при пораненнях експансивними кулями 38 ліжко-днів ($p \leq 0,01$). В порівняльній групі при пораненнях кулями без експансивних властивостей частка повернення в стрій становить 62,2% (46 з 74), тоді як при пораненнях експансивними кулями 35,42% (17 з 48) ($p \leq 0,01$).

Різновид обраного хірургічного втручання суттєво впливає на медико-соціальні наслідки лікування, (ВЛС) операції та ушивання ободової кишки без формування стом демонструють кращі результати в контексті тривалості лікування та повернення в стрій. Зокрема, формування стом призводить до статистично значущого збільшення тривалості лікування як при резекціях 44,41 ліжко-днів проти 26,25 так і при ушиванні 32,38 ліжко-днів проти 23,31 ($p \leq 0,01$). У той же час, ушивання ободової кишки демонструє кращі результати щодо повернення в стрій, ніж резекція (53,5%) проти (39,5%), ($p \leq 0,01$).

Найвищі показники (ЯЖ) по фізичному так і психологічному компоненту здоров'я, демонструють ушивання ободової кишки без формування стом на всьому часовому

проміжку. (ВЛС) операції демонструють кращі результати в контексті (ЯЖ) ніж лапаротомні в довгостроковій перспективі.

Значний вплив на (ЯЖ) має формування стом. В сфері фізичного здоров'я, операції без формування стом мають значно кращі показники. Це спостерігається для всіх типів операцій та в усі часові проміжки. Через 6 місяців після (ВЛС) резекції кишки фізичне здоров'я становить (35%) з формуванням стом та (43%) без формування стом ($p \leq 0,05$). В той же час, вплив формування стом на психологічне здоров'я менш виражений, але операції без формування стом все ж мають невелику перевагу. Зокрема, через 6 місяців після операції психологічне здоров'я пацієнтів, яким було проведено резекцію з формуванням стом становить (70%), тоді як у пацієнтів без формування стом (78%). Аналогічна тенденція спостерігається і після ушивання де показник психічного здоров'я становить (71%) після операцій з формуванням стом проти (75%) без формування стом.

Застосування сучасних магнітних інструментів є ефективним методом видалення (СТ) при вогнепальних пораненнях живота з ушкодженням ободової кишки. Лапаротомія є більш ефективним методом їх видалення, особливо у випадках складної локалізації (СТ). (ВЛС) операції хоч і менш ефективними але залишаються менш інвазивними методами, і можуть бути важливим фактором при виборі методу оперативного втручання.

Так, лапаротомія показала вищий відсоток випадків з оцінкою ефективності видалення (СТ) на «відмінно» у (63,8%) випадках проти (54,4%) при (ВЛС), ($p \leq 0,01$), що свідчить про її перевагу у видаленні (СТ). При (ВЛС) отримали вищий відсоток оцінок «добре» у (24,1%) випадках проти (20,0%), що може бути пов'язано з менш інвазивним характером оперативного втручання. Середній час видалення (СТ) при лапаротоміях був значно меншим ($1,5 \pm 0,9$) хв., порівняно з (ВЛС) ($3,7 \pm 1,8$) хв. Ця різниця статистично достовірна ($p \leq 0,01$), та може бути обумовлена кращим доступом до черевної порожнини та безпосередньо до (СТ) саме при лапаротоміях.

При виконанні (ВЛС) операцій частота невидалених (СТ) була вищою у (19,0%) випадках порівняно з лапаротомією лише (7,6%), різниця ($p \leq 0,01$). Це було пов'язано з обмеженим полем зору та маневреністю інструментів при виконанні саме (ВЛС) особливо у випадках глибокого розташування (СТ) куль та їх фрагментів та їх близького розташування до крупних судин та важливих анатомічних структур.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні представлено науково теоретичне обґрунтування з експериментально-клінічним та практичним вирішенням актуальної проблеми діагностики та лікування сучасних кульових вогнепальних поранень живота з ушкодженням ободової кишки експансивними ранячими снарядами в умовах війни в Україні, шляхом розробки нових та удосконалення існуючих методів з використанням відеолапароскопічних, ендоскопічних методик, магнітних інструментів на різних рівнях медичного забезпечення.

1. Вогнепальні кульові поранення живота з ушкодженням ободової кишки сучасними ранячими снарядами - кулями 5,45x39 мм, «V-Max» з експансивними властивостями - в умовах війни в Україні зустрічаються у (39,02%) випадках. Мають 2 клас тяжкості загального стану поранених за шкалою BATLS у (30,37%) випадків, екстра абдомінальну локалізацією у (24,4%), фрагментацію кулі за типом «квітки смерті» зі сліпими проникаючими ушкодженнями живота у (95,6%), понад трьох відділів ободової кишки у (5,97%) випадках з переважним ушкодженням сигмовидної (25,93%), поперечно ободової (25,19%) кишки та печінкового вигину у (22,96%).

Характерна найбільша зона деструкції 2 ступеня за AAST у (37,31%), 2 ступінь контамінації черевної порожнини за Флінтом (45,93%), мезоперитонеальним ушкодженням у (27,04%). Супроводжуються супутніми інтраабдомінальними ушкодженнями внутрішніх органів у (54,8%) випадках, розвитком ускладнень у (40,74%) з рівнем летальності у (11,85%) поранених.

2. При порівняльному дослідженні особливостей термінальної ранової балістики кулі 5,45х39 мм «V-Max» з експансивними властивостями проти звичайної кулі 5,45х39 «ПС» (7Н6М) в експериментальних умовах доведена більша її швидкість ($1185 \pm 1,05$ м/с), більші розміри вхідного отвору (92 ± 9 мм) зірчаста форма з радіальними розривами та вивернутими краями БП назовні зі сліпим типом кульового каналу та високою питомою кінетичною енергією ранячого снаряду ($114,37 \pm 12,3$ Дж/мм²; у всіх випадках $p \leq 0,001$).

Кульовий канал характеризується значно більшою ТПП з максимальними лінійними розмірами утвореної залишкової порожнини (82х57 мм; $p \leq 0,05$), виникненням «мікровибуху» як додаткового фактору ушкодження тканин, характерна фрагментація куль, яка додатково обтяжує множинний характер ушкодження ободової кишки за рахунок повної руйнації стінки кишки у (35%) випадках до множинних мілких у (65%).

3. При чисельному моделюванні та відтвореній 3D-моделі ураження різними типами куль 5,45х39 «ПС» (7Н6М) та 5,45х39 «V-Max» за експериментальних умов встановлено, що куля типу 5,45х39 «V-Max» з експансивними властивостями завдає значно більш руйнуючого впливу на геометричну модель з великим тиском на кульовий канал, де в середині геометричної моделі він дорівнює 1,5 МПа (15 атм) проти 0,8 МПа (8 атм), на зрізі кульового каналу 1,7 МПа (17 атм) проти 1,4 МПа (14 атм). Максимальний діаметр кульового каналу з найбільшим напруженням становив 65 мм проти 35 мм, максимальним значенням тиску для вхідного отвору 0,48 МПа (4,8 атм) проти 0,35 МПа (3,5 атм).

4. У військовослужбовців ЗС України з нормостенічним типом тілобудови при наявності бронежилету найбільш вразливою є передня поверхня тулуба у (71%), з астенічним типом тілобудови більш вразливими є бічні ділянки у (21%), для гіперстеніків вразливішою є задня поверхня тулуба (25%). При наявності бронежилету найбільш вразливою для всіх типів тілобудови є сліпа та сигмоподібна кишка (100%), найменша варіабельність та найбільша вразливість притаманна нижній половині висхідного відділу ободової кишки у астеніків (80%) та гіперстеніків (69%; $p \leq 0,01$). Найбільш вразливою ободова кишка є у осіб з астенічною тілобудовою, найбільш захищеною у гіперстеніків ($p \leq 0,01$).

Вогнепальні кульові ушкодження живота при наявності бронежилету локалізуються у правому верхньому (25,8%) та лівому нижньому квадрантах живота (23,5%). Найчастіше ушкодження зазнає сигмовидна кишка (21,4%), поперечно ободова (17,62%), печінковий вигин (15,71%), селезінковий вигин є найбільш захищеним і ушкоджується у (9,2%) випадків.

При екстраабдомінальній локалізації вогнепальних поранень з ушкодженням ободової кишки у (35%) випадків найбільш вразливими є ліва поперекова ділянка (21,1%) та ліва бічна поверхня грудної клітини (14%).

5. Розроблений та впроваджений до практичного застосування алгоритм діагностики вогнепальних кульових поранень живота з ушкодженням ободової кишки на різних рівнях медичного забезпечення в умовах війни надав можливість ранньої діагностики вогнепальних кульових ушкоджень ободової кишки у (50,0%) поранених зі швидкою візуалізацією та магнітодетекцією сторонніх тіл під час лапаротомії у (57,06%) при (ВЛС), у (42,9%) поранених з відповідною специфічністю (88,1%) та

(74,1%), та чутливістю (100%) з визначенням чітких показань та протипоказань до їх використання.

6. Вид кульового раннячого снаряду впливає на характер та структуру патоморфологічних змін в ободовій кишці. При вогнепальних пораненнях експансивною кулею 5,45x39 «V-Max» руйнування елементів стінки кишки виражені на більшій ділянці зі значними морфологічними змінами кількісних ознак важких крововиливів у власну пластинку слизової оболонки, підслизову основу, серозну оболонку мезентеріального краю кишки, з наявними осередками масивних крововиливів на відстані понад 20,0 см, від вхідного отвору з індексом оцінки обсягу крововиливів до $1,4 \pm 0,02$ у.о., на всю товщину її стінки. Такі зміни виявилися суттєво більш вираженими не лише безпосередньо в місці проходження через неї кулі, а також її фрагментів.

7. Особливостями патоморфологічних та гістохімічних змін в ободовій кишці у поранених з вогнепальними кульовими ушкодженнями є: вплив параколярного вогнепального кінетичного удару з руйнацією всіх анатомічних структур стінки кишки, найбільшим для кровоносних судин. Сила кінетичного удару на кишку припадає на зовнішню поверхню де ушкоджується брижа, параколярна тканина та очеревина в спазмованих гладких міоцитах виявлено різку гіпертрофію їх ядер, що є ознакою кінетичного внутрішньоклітинного вибуху під впливом збільшеного внутрішнього тиску у клітинах. Крім того, вогнепальне кульове поранення ободової кишки стимулює загострення хронічних захворювань ободової кишки, що змінює їх статус на гострі невідкладні хірургічні стани з розвитком ускладнень в місцях ушкоджень та ділянках проведених оперативних втручань.

Гістохімічна оцінка значення коефіцієнта R/V до 1,0 дозволяє накладання анастомозу в межах життєздатних тканин ободової кишки і прогнозувати успішне загоєння місця анастомозу чи ушивання ділянки ушкодження. Коефіцієнт R/V у діапазоні 0,99–1,47 свідчить про накладання анастомозу в зоні тканин підвищеного ризику нежиттєздатності, потребує ретельного динамічного спостереження за пораненим. Перевищення коефіцієнту R/V вище 1,47 свідчить про накладанні анастомозу у зоні явно нежиттєздатних тканин.

Порушення білкового метаболізму кишкової стінки призводять до активації карбоксильних груп, які сприяють затримці репарації та регенерації ушкоджених ділянок ободової кишки, до порушення кровопостачання, некрозів слизової, що є ризиком розвитку ускладнень – перфорацій та неспроможності анастомозу.

8. Предикторами, які достовірно впливають на прогноз та хірургічну тактику у поранених з сучасними вогнепальними кульовими ушкодженнями ободової кишки в умовах війни в Україні є: 1) десерозація ободової кишки – підвищує рівень летальності з (7,6%) до (12,83%), рівень ускладнень з (29,9%) до (48,5%), кількість релапаротомій з (22,37%) до (39,4%), ($p \leq 0,05$); 2) деваскуляризація ободової кишки спричиняє зростання рівня ускладнень з (32,5%) до (50,7%), кількість виконаних релапаротомій з (23,6%) до (44,4%), ($p \leq 0,05$); 3) кількість вогнепальних кульових ушкоджень ободової кишки збільшує кількість ускладнень та їх тяжкого перебігу для загального рівня ускладнень (КК) - 0,89 для релапаротомій після ускладнень – 0,95 значення коефіцієнту апроксимації (R^2) для рівня ускладнень та обсягу релапаротомій був вище критичного.

9. Доведена ефективність розроблених та впроваджених сучасних нових відеолапароскопічних оперативних втручань – крайової степлерної резекції ободової кишки у (4,4%) поранених, ендоскопічних кліпувань малих вогнепальних дефектів у (13,3%).

На II рівні медичного забезпечення мезоперитонеальне вогнепальне ушкодження кишки кулями 5,45x39 «V-Max» експансивними властивостями вчасно діагностовано під час інтраопераційної фіброколоноскопії у (6,06%) поранених, сторонні тіла (кулі, фрагменти) при відеолапароскопії магнітними інструментами діагностовані у (42,9%) випадках, вони були видалені з оцінкою ефективності «відмінно» у (54,4%), «добре» у (24,1%) поранених.

Повернуто в стрій (35,42%) поранених, середній ліжко день становив 33,21; ЯЖ через 6 місяців по психологічному здоров'ю зі стоною дорівнювала (71%), без стоми – (78%), фізичне здоров'я зі стоною становило (35%), без стоми (43%).

Специфічність застосування розробленого сучасного магнітного інструменту для діагностики сторонніх тіл при вогнепальних ушкодженнях ободової кишки у поранених під час відеолапароскопічних та ендоскопічних втручаннях становила (74,1%), чутливість (100%).

Gumeniuk K.V. DIAGNOSTICS AND SURGICAL TREATMENT OF MODERN GUNSHOT WOUNDS OF THE ABDOMEN WITH COLON INJURIES AT DIFFERENT LEVELS OF MEDICAL SUPPORT IN WAR CONDITIONS (EXPERIMENTAL CLINICAL INVESTIGATION) – Qualification scientific work as the manuscript.

Relevance.

Nowadays, diagnosis and surgical treatment of gunshot injuries to the colon remain a complex issue within the various levels of the healthcare services for wounded individuals, not only in war and local armed conflicts, but also in civilian life worldwide. The proportion of colon injuries during armed conflicts ranges from 3.5% to 11.8% (Remeziuk E.V., 2020). Injuries to the colon account for 15–23.2% of all penetrating abdominal wounds (Lurin I.A. et al., 2022).

Since 2014, war has been ongoing in Eastern Ukraine, during which the proportion of abdominal combat injuries has ranged from 4.0% to 7.3% at its various stages (Boiko V.V. et al., 2014), without a tendency of decrease, despite the use of modern individual body protection, namely, bulletproof vests. According to data from the Anti-Terrorist Operation (ATO), the Joint Forces Operation (JFO), and those regarding the full-scale invasion and war in Ukraine, colonic injuries are observed in 43% of wounded individuals, with a mortality rate of 26% (Zarutskyi Ya.L. et al., 2023). Despite the advancements of modern surgery, abdominal combat trauma is still associated with a high rate of postoperative complications: 54–81%, with mortality ranging from 12% to 31% (Usenko O.Yu., Sydiuk A.V. et al., 2023, 2024; Khomenko I.P. et al., 2023). According to Johnston L.R. (2019), in recent military conflicts, mortality from gunshot injuries to the colon has reached as high as 65%.

Significantly, colonic injuries have evolved from predominantly destructive lesions to those ones that should lead to reduced mortality. However, the actual effect has been the opposite due to the difficulty of timely diagnosis, the frequent mesoperitoneal localization of injuries, and significant perfusion disturbances. These factors contribute to delayed complications and, consequently, high mortality rates (Dronov O.I. et al., 2023; Poida O.I. et al., 2022; Gumeniuk K. et al., 2021; Jackson M., 2011; Khorram-Manesh A. et al., 2022; Murhega R.B. et al., 2022).

The aforementioned issues necessitate further scientific investigation, particularly in light of the emergence of new, previously undescribed gunshot injuries to the colon caused by modern projectiles with expanding properties. It is advisable to study the terminal (wound) ballistics of such expanding projectiles. Research should also focus on unprotected areas of the torso and colon despite the use of body vests, the implementation of magnetic technologies for the removal of foreign bodies (bullets, shrapnel), and the development and introduction of effective new video-laparoscopic and endoscopic techniques for early diagnosis and surgical treatment of gunshot injuries to the colon at various levels of medical care. These efforts aim to reduce complications, disability, and mortality.

Connection of work with scientific programs, plans, and themes. The dissertation is an integral part of the research projects conducted by the Ukrainian Military Medical Academy, as outlined in the plan of the Ministry of Defence of Ukraine, namely: “Development of new methods for the diagnosis and treatment of acute diseases and combat injuries of the abdominal organs” (State Registration No. 0116U007313).

The aim of the study: to address the problem of diagnosis and treatment of modern abdominal gunshot wounds involving colonic injury caused by expanding projectiles through

the development of an algorithm incorporating new and improved methods. These include the use of video-laparoscopic and endoscopic techniques, as well as magnetic instruments, at various levels of medical care under wartime conditions.

Research objectives were defined in accordance with the aim of the study and included the following:

1. To study the incidence, clinical and nosological structure, and characteristics of modern abdominal gunshot wounds involving colonic injuries caused by expanding projectiles under wartime conditions in Ukraine.
2. To investigate the terminal (wound) ballistics of expanding 5.45×39 mm “V-Max” bullets in comparison with standard 5.45×39 mm “PS” (7N6M) bullets under experimental conditions, using both biological tissue simulants and live biological models (pigs).
3. To conduct numerical modeling of wound channels resulting from gunshots using different bullet types: 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max”.
4. To examine unprotected areas of the torso and colon in servicemen of the Armed Forces of Ukraine, according to their body type, with body armor, regarding the gunshot injuries.
5. To develop and implement at various levels of wartime medical care a modern diagnostic algorithm for abdominal gunshot wounds involving the colon. This algorithm should incorporate video-laparoscopic, endoscopic techniques, and magnetic instruments, with clear indications and contraindications for their use.
6. To study the pathomorphological changes and quantify hemorrhage in the colon resulting from gunshot injuries using a live biological model (pigs), with injuries caused by different bullet types: 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max” with expanding properties.
7. To identify the pathomorphological and histochemical features of colon in wounded individuals with colonic gunshot wounds.
8. To determine and analyse the predictors affecting prognosis and surgical strategy in patients with wartime colonic gunshot wounds in Ukraine.
9. To evaluate the effectiveness of the developed and implemented modern diagnostic and therapeutic methods: video-laparoscopy, endoscopy, and magnetic instruments in patients with colonic gunshot injuries caused by 5.45×39 mm “V-Max” bullets with expanding properties.

Object of the study: gunshot injuries to the colon.

Subject of the study: wound ballistics of up-to-date projectiles, diagnostic and surgical treatment methods for patients with colonic injuries at various levels of wartime medical care, results of experimental, clinical, and instrumental research methods, and an algorithm for the organizational aspects of medical assistance.

Research methods: bibliosemantic analysis, experimental research, numerical modeling, laboratory methods, instrumental diagnostics, histological and histochemical methods, medical statistics, and analytical methods.

Scientific Novelty of the Obtained Results.

For the first time:

-a multicenter scientific study, based on the experience of the war in Ukraine, examined the frequency and characteristics of abdominal gunshot wounds involving colonic injuries caused by expanding projectiles.

-a comparative study of wound ballistics using different types of bullets was conducted in both experimental and clinical settings.

- the terminal (wound) ballistics of modern 5.45×39 mm “V-Max” shells with expanding properties were experimentally analysed using both biological tissue simulants and a live biological model (pigs).

- numerical modeling of the wound channel enabled the simulation of tissue damage in a non-biological human tissue simulant represented by a geometric model, as for that caused by different bullet types: 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max.”

- the speed and trajectory of bullet movement within the model were analysed, including how they change over time and during the formation of the wound channel as its shape evolves.

- the study also established the values of equivalent stresses along the entire bullet path, including the entry and exit points, as well as the maximum diameter of the wound channel volume created by different bullet types.

- the research produced the visualizations and geometric representations of the tissue volume in the experimental model affected by the kinetic energy of various bullets during the formation of the bullet- wound channel.

- unprotected areas of the torso and colon were studied on the body with body vests, considering variations in human body types and modern gunshot injuries caused by different bullet types: 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max.”

- a modern diagnostic algorithm for abdominal gunshot wounds involving colonic injury was developed and implemented at various levels of wartime medical care. This algorithm incorporates video-laparoscopic, endoscopic, and magnetic technologies, with clearly defined indications and contraindications for their use.

- new surgical interventions were developed and introduced into practice, including modern video-laparoscopic techniques, such as marginal stapled resection, and endoscopic techniques, such as clipping of minor injuries.

- surgical magnetic instruments were also developed for the removal of foreign bodies (bullets, shrapnel) during video-laparoscopic and laparotomic procedures.

- pathomorphological changes in the colon resulting from gunshot injuries caused by various modern bullet types were studied and described in a live biological model. Additionally, the specific features of pathomorphological and histochemical alterations in the colons of wounded individuals were documented.

This research has further advanced the understanding of the specific nature of modern gunshot-induced tissue transformation in colonic defects, contributing to improved surgical outcomes.

The **practical significance of the research findings.** The results of the study provide a scientific foundation for introducing new elements into existing concepts, ideas, and approaches in the field of military field surgery, particularly in the surgical care for wounded individuals.

The obtained scientific data are of high practical value and should be considered in current guidelines and textbooks on military field surgery.

The experimental studies on the terminal ballistics of modern 5.45×39 mm “V-Max” projectiles with expanding properties, conducted using both biological tissue simulants and live biological models, have led to practical changes in the surgical treatment strategies and scope of interventions in wounded patients.

Additionally, numerical modeling of modern bullet wound channels has enabled clinicians to better assess and manage potential zones of irreversible damage during primary surgical debridement. This includes areas of primary necrosis, molecular concussion, and

high equivalent stress, specifically caused by the 5.45×39 mm “V-Max” bullets with expanding properties, thus improving clinical decision-making and outcomes.

Studies of unprotected abdominal areas and the colon protected by body vests, considering different body types, have demonstrated the practical importance of body mass index (BMI) when selecting body vest sizes. This approach can significantly reduce the incidence of penetrating abdominal gunshot wounds involving the colon.

The implementation of modern video-laparoscopic and endoscopic technologies at the second level of medical care has made it possible to diagnose mesoperitoneal gunshot injuries to the colon at earlier stages. This has led to a reduction in both complications and mortality rates.

Based on the identified injury characteristics, the author developed a modern diagnostic algorithm for abdominal gunshot wounds involving the colon and implemented it across various levels of medical wartime care under.

The results of the thesis, including the development of specialized surgical and magnetic instruments, have been implemented in the practice of the Military Medical Clinical Center of the Southern Region (Odesa), the Military Medical Clinical Center of the Northern Region (Kharkiv), the Municipal Clinical Hospital No. 4 of the Dnipro City Council (Dnipro), Military Unit A 3309 (Zaporizhzhia Military Hospital), and the Military Medical Clinical Center of the Eastern Region (Dnipro). Additionally, the author has practically implemented five Ukrainian patents for inventions.

Author’s Personal Contribution. The thesis is an independent research conducted by the author, who defined the aim and objectives of the research, carried out a patent search, and performed a comprehensive review of the literature on the topic.

The author has designed and implemented both the experimental and clinical components of the research. He also collected, analysed, and statistically processed all research data.

The author wrote all chapters of the thesis, formulated its key provisions, practical recommendations, and conclusions. The majority of surgical procedures were personally performed by the author in military mobile hospitals located in active combat zones.

The co-authored publications contain author’s scientific concepts and findings of the thesis, which are also reflected in the patents granted in Ukraine.

Approbation of the Thesis Results. The main theoretical and practical findings of the thesis were presented and discussed at 25 international research conferences, congresses, and symposia.

Publications. The dissertation materials have been published in 53 printed works, including 6 co-authored monographs and 35 journal articles. Of these articles, 20 were published in Ukrainian professional journals of Category B, and 6 in Category A journals indexed in international scientometric databases such as Scopus or Web of Science Core Collection. Additionally, 4 articles were published in foreign periodicals indexed by Scopus, including 1 scientific publication in a Q2 journal according to the SCImago Journal and Country Rank classification, which is equivalent to 3 publications (in accordance with the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1220 dated 23.09.2019). Furthermore, 5 articles were published in foreign journals indexed in international databases such as EBSCOhost, OCLC WorldCat, UlrichsWeb, Google Scholar, CrossRef, and others. In addition, 7 conference abstracts were published in the materials of congresses and conferences. The author also holds 5 Ukrainian utility model patents.

Structure and Volume of the Dissertation. The dissertation is written in Ukrainian and comprises 572 pages of printed computer text. The main text is 340 pages long. The work

includes an abstract, introduction, nine chapters presenting the author's original research, conclusions, practical recommendations, and appendices. The dissertation is illustrated with 83 tables and 247 figures. The list of references contains 356 scientific sources, including 74 in Cyrillic and 282 in Latin script.

MAIN CONTENT OF THE WORK

Materials and Methods of the Study. Experimental and Clinical Components of the Research. The program and goal-defined structure and volume of the study were determined by its aim and the range of objectives to be addressed. The research was conducted in accordance with a program developed using a systemic approach.

To achieve the aim and objectives of the thesis, an experimental and clinical study was conducted, comprising five stages:

The objective of the *first stage* was to examine the terminal (wound) ballistics (TB) during the shooting of a non-biological model—ballistic gelatin (ballistic plasticine, BP) using different types of projectiles: 5.45×39 mm cartridges with "PS" bullets featuring a steel core (7N6M), and 5.45×39 mm cartridges loaded with expanding bullets of the "V-Max" type.

The objective of the *second stage* was to obtain silicone casts (SC) of the bullet channel after shooting the non-biological model—ballistic plasteline (BP) followed by metric assessment of the channel in transverse and longitudinal sections using the ImageJ software, as well as radiographic examination of the obtained casts.

In the *third stage*, terminal wound ballistics (TWB) were studied using a non-biological model—ballistic gel—as a human tissue simulant. The model was subjected to gunshots from different types of projectiles: 5.45×39 mm cartridges with "PS" bullets featuring a steel core (7N6M), and 5.45×39 mm cartridges loaded with expanding "V-Max" bullets. The analysis was followed by radiographic and ultrasonographic (US) examination.

In the *fourth stage*, TWB was investigated using a live biological model—pigs, exposed to the same types of projectiles: 5.45×39 mm cartridges with "PS" (7N6M) bullets and 5.45×39 mm cartridges with expanding "V-Max" bullets. This stage included subsequent macroscopic and histological examination of the colon.

The objective of the *fifth stage* was to perform advanced calculations for the experimental numerical modeling of modern bullet wound channels resulting from gunshots with different types of bullets.

The clinical part of the study was based on a well-structured research design with clearly defined sequential stages of implementation.

The first stage involved a review of scientific literature concerning the general characteristics of gunshot injuries to the colon and modern types of projectiles. It included an analysis of surgical strategies for treating colonic gunshot wounds, their effectiveness and outcomes, as well as the organization of surgical care for the wounded at various levels of medical support (VMS), based on the experience of recent armed conflicts and the ongoing war in Ukraine.

The second stage is clinically significant, focused on the study of unprotected areas of the torso and colon under the body vest protection, depending on individual body types and context of modern gunshot injuries, etc.

The third stage is practically significant as it involves the analysis of diagnostic results for modern abdominal gunshot wounds with colonic injury in patients treated at different LMS.

The fourth stage presented and examined the pathomorphological changes in the colon caused by modern gunshot injuries, based on both experimental and clinical findings.

The *fifth stage* was the final one, focused on the application of modern surgical treatment methods: video-laparoscopy (VLS), endoscopy, and the use of magnetic tools for the diagnosis and removal of foreign bodies (FB) in patients with gunshot injuries to the colon, performed at various levels of medical support.

The experimental study was conducted at the shooting range of the Kyiv Scientific Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, with the involvement of specialists from the State Scientific Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. A special certified ballistic plasticine (ROMA PLASTILINA No. 1, Ballistic Testing Backing Material, USA) was used as the ballistic medium simulating human biological tissues.

The clinical part of the study contains analysis of 346 cases of combat-related penetrating abdominal gunshot injuries involving the colon. These injuries were sustained by servicemen of the Armed Forces of Ukraine during military operations in Ukraine between 2014 and 2021.

Statistical Data Processing. The analysis and processing of the obtained statistical data were by STATISTICA 13.3 EN software (Statistica Base package) and Microsoft Excel 2010, Version 14.0.7268.5000 (Product Number 02260-018-0000106-48453). Absolute (m) and frequency (p) characteristics were assessed for qualitative parameters, while mean values (arithmetic mean – $\bar{X}$) were calculated for quantitative data, along with measures of variability (standard deviation – σ). The standard error of the studied parameters was also determined, along with confidence intervals.

To perform a detailed analysis of the factor's effect on individual gradations, both parametric (Student's t -test, one-way ANOVA) and non-parametric methods (Mann–Whitney, Wilcoxon, Kruskal–Wallis, and Friedman tests) were applied. The influence of a factor on a variable was evaluated based on the level of statistical significance ($p\alpha$), with $p\alpha < 0.05$ considered statistically significant.

The analysis of the results of terminal wound ballistics (TWB) involving modern 5.45×39 mm projectiles “PS” (7N6M) and “V-Max” with expanding properties, in experiments using a human tissue simulator and a live biological model, revealed statistically significant and clinically relevant differences in the characteristics of the entry wound.

The data obtained with biological tissue simulants were confirmed and completed by findings from ballistic tests on a live biological model (pigs). For the 5.45×39 mm “V-Max” bullet, the mean diameter of the entry wound was (22 ± 7) mm, compared to (12 ± 5) mm for the 5.45×39 mm “PS” shell, with statistical significance ($p \leq 0.05$). The entry wound from the “V-Max” bullet had an oval shape with surface tissue damage, dark crimson-colored abrasion around the wound margins, and areas of necrotic tissue accompanied by bluish hemorrhages in the surrounding tissues. However, the entry wound from the 5.45×39 mm “PS” bullet also had an oval shape, but was characterized by more localized superficial tissue damage and the presence of a small droplet of coagulated blood within the wound.

The characteristics of the entry wound are of critical importance, as they not only influence the surgical management strategy for gunshot injuries, but also serve as a diagnostic criterion indicative of the transfer of greater kinetic energy. As such, they function as predictors of more severe and extensive damage to anatomical organs and structures.

Experimental numerical modeling of bullet channels with different bullet types.

The numerical modeling of the bullet channel allowed, for the first time, the simulation of damage to a non-biological human tissue simulator—a geometric model, using different types of bullets: 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max.” This modeling enabled us to track bullet velocity (m/s), trajectory, and the formation of the wound channel.

It also allowed for the measurement of equivalent stress at the entry and exit points, equivalent stress at a cross-section of the geometric model, and the equivalent stress on the surface of the model, which characterizes the volume of tissue affected by the kinetic energy of the shell.

Unlike physical testing, the corresponding calculation experiments made it possible to visualize the dynamic destruction processes that occur over time and develop simultaneously with the formation of the bullet channel.

In the course of this research, we achieved the following for the first time:

- Obtained and analysed the velocity and trajectory of bullet movement within the model, observing how these parameters change over time during the formation and transformation of the bullet channel;
- Determined the values of equivalent stresses along the entire bullet path, including the entry and exit points, as well as the maximum diameter of the wound channel volume for different bullet types;
- Generated visualizations and geometric representations of the tissue-equivalent volumes in the experimental model that are affected by the kinetic energy of various types of bullets.

These important scientific findings can be applied in clinical practice during primary surgical debridement (PSD) to assess the potential zone of irreversible damage. When projected onto human biological tissues, these data help predict possible complications, such as the development of necrosis and other adverse physiological processes. This is particularly relevant to the zones of primary necrosis and molecular concussion, which are exposed to significant equivalent stress resulting from gunshot injuries caused specifically by expanding 5.45×39 mm “V-Max” bullets.

The obtained data provide a scientifically proven basis for performing numerical modeling of the physical processes that occur during ballistic injury. These findings can be utilized in a wide range of subsequent calculation experiments related to modern gunshot trauma caused by various types of projectiles.

Clinical significance and study of unprotected areas of the torso and colon protected by body vests, depending on human body type in gunshot injuries from various bullet types.

Anthropometric, radiological, and clinical-anatomical studies of unprotected areas of the torso and colon protected by body vests, with consideration of human anthropometric parameters in modern gunshot injuries, made it possible to identify specific features.

The author has found a correlation between body mass index (BMI), body weight, and the aforementioned criteria and used it to assess the vulnerability of body areas not covered by body vests. Although a strong and statistically significant correlation was observed between the size and proportion of unprotected body surface area regarding both weight and BMI, it should be noted that the correlation coefficient (CC) and determination coefficient (R^2) were higher for body weight. Thus, body weight is a more significant predictive factor that should be regarded when estimating the vulnerable body surface area unprotected by body vests.

The author identified a relationship between height and the area and proportion of body surface unprotected by body vest, as height is commonly used as a criterion for selecting vest size. However, the study did not show a statistically significant correlation between these two parameters. This finding not only confirms the superior predictive value of body weight, but also demonstrates poor practical significance of height as the primary basis for standard sizing charts for body vests.

Body weight proved to be the most reliable and justified criterion in this context. According to anthropometric analysis, the anterior surface of the torso is the most vulnerable area, generally, accounting for between 59% and 71% of the total unprotected surface area.

Clinical and anatomical observations support this finding: the majority of abdominal gunshot entry wounds are located on the anterior abdominal wall: 102 out of 132 entry wounds (77.3%), which nearly corresponds to its proportion within the total unprotected area structure.

In addition, the study identified specific patterns in the distribution of vulnerable areas depending on body type. The anterior surface of the torso was the most vulnerable in individuals with a normosthenic body type, accounting for 71% of the total unprotected area. Individuals with an asthenic body type showed greater vulnerability in the lateral areas—21% of the total unprotected surface, compared to 9% in normosthenics and 16% in hypersthenics. On the opposite, hypersthenic individuals were more vulnerable in the posterior torso area, which comprised 25% of the unprotected surface, compared to 13% in asthenics and 20% in normosthenics.

According to our statistical analysis, the identified areas are potentially the most vulnerable in cases of modern gunshot injuries. These findings should be taken into account both when selecting individual protective equipment, such as body vests, and when providing medical care to the wounded.

Using radiological imaging and irrigography, the author visualized the potentially vulnerable segments of the colon in combatants wearing body vests, and identified the following: excluding the cecum and sigmoid colon, which are vulnerable in 100% of cases across all body types, the least variability and highest vulnerability were observed in the lower half of the ascending colon, affected in 80% of asthenic individuals and 69% of hypersthenic individuals. These findings are supported by clinical-anatomical observations, which indicate that the ascending colon is more frequently injured in gunshot wounds, i.e., 12.46% of cases, compared to the descending colon, which is affected in 9.2% of cases ($p \leq 0.01$).

In wounded individuals with an asthenic body type, no difference was observed between the potential vulnerability of the right and left colonic segments, while the individuals with hypersthenic and normosthenic body types showed slightly better protection of the left segments. Clinical and anatomical observations also confirmed greater vulnerability of the right colonic segments compared to the contralateral left segments.

However, while irrigographic results show that the hepatic and splenic flexures of the colon are the least vulnerable across all body types, the potential vulnerability of the transverse colon varies significantly depending on body type, ranging from 25–28% in hypersthenic individuals to 70–80% in asthenics, and 42.9–50% in normosthenics. The highest variability by body type was observed in the upper half of the descending colon: it was vulnerable in 70% of asthenic individuals, compared to only 9% of hypersthenics. Overall, the colon is most vulnerable in individuals with an asthenic body type (72%), most protected in hypersthenics (45%), and shows intermediate vulnerability in normosthenics (55.7%).

Further analysis based on clinical and anatomical observations of wounded individuals wearing body vests showed that 133 cases (65.5%) involved blind (non-exit) gunshot wounds, while 70 cases (34.5%) were through-and-through injuries. It was noted that injuries caused by standard 5.45×39 mm “PS” bullets were predominantly through-and-through in 75.36% of cases. However, wounds inflicted by high-kinetic 5.45×39 mm “V-Max” bullets with expanding properties were predominantly blind injuries, accounting for 86.57% of cases.

The majority of gunshot wounds were located in the right upper quadrant of the abdomen (25.8%) and the left lower quadrant (23.5%). However, clinical and anatomical analysis also revealed a significant number of gunshot entry and exit wounds located extra-abdominally, 35% of entry and 45.7% of exit wounds, in patients with colonic injuries who

were wearing body armor. Notably, only about two-thirds of such entry wounds (132 out of 203 cases, or 65%) were located in the abdominal region. The second most frequent entry site was the chest, accounting for 24 out of 203 cases (12%), which not only highlights the considerable proportion of thoracoabdominal injuries but also indicates an increased distance between the entry wound and the site of internal injury. This is likely due to the kinetic and ballistic properties of modern projectiles.

We observed a significant number of atypical entry wound locations for abdominal injuries, with gunshot entry points in the thigh, sacral area, buttocks, and perineum. This highlights the critical need to generalize and systematize clinical experience specifically related to such cases, particularly those involving expanding injuries.

A significant proportion of entry wounds in patients with gunshot injuries to the colon were located in the lumbar region, 23 out of 203 cases (11%). This localization also serves as a predictor of injuries to the mesoperitoneally located segments of the colon and the development of retroperitoneal hematomas, which are associated with a high risk of purulent-septic complications. Among extra-abdominal injuries, 21.1% were located in the left lumbar region and 14% on the left lateral surface of the chest.

It was particularly noted that the location of the entry wound in the right upper quadrant of the abdomen is associated with a significantly higher mortality rate, 14.71% compared to 11.82% in the overall group ($p \leq 0.01$). The complication rate was also higher in this subgroup, 52.94% versus 42.86% in the entire group ($p \leq 0.01$), along with an increased rate of relaparotomies due to complications, 41.18% compared to 29.56% overall ($p \leq 0.01$). Therefore, an entry wound located in the right upper abdominal quadrant may serve as a predictor of a more severe prognosis for the injured patient.

A statistically significant increase in mortality was also associated with entry wounds located in the left gluteal region: 16.67% compared to 11.82% in the overall group ($p \leq 0.01$). Entry wounds in the sacral region were linked to a higher incidence of complications, 57.14% versus 42.86% in the total group ($p \leq 0.01$), and a higher rate of relaparotomies due to complications, 42.86% compared to 29.56% overall ($p \leq 0.01$).

The majority of gunshot injuries to the colon involve a single segment, 77.83% of cases. However, in instances where multiple colonic segments are injured, there is a significant increase in mortality rates, as well as a corresponding rise in the incidence of complications and the need for relaparotomies compared to the overall cohort.

An analysis of the number of colonic segments typically affected by standard and expanding bullets revealed that injuries caused by standard 5.45×39 mm “PS” bullets predominantly involve a single segment in 84.06% of cases, and two segments in 15.94% of cases. However, injuries from 5.45×39 mm “V-Max” expanding bullets more frequently involve three or more colonic segments, which occurs in 8.21% of cases.

It was noted that standard bullets are more often associated with severe injuries involving a large zone of direct destruction of grades 4 and 5 according to the AAST classification, in a total of 24.63% of cases. It’s worth noting that such injuries occurred in only 14.18% of cases involving 5.45×39 mm “V-Max” expanding bullets. An analysis of the frequency of damage to specific segments of the colon in gunshot injuries caused by standard 5.45×39 mm “PS” bullets and expanding 5.45×39 mm “V-Max” bullets showed that the sigmoid colon was most frequently affected, in 31.88% of cases with standard bullets versus 26.12% with expanding bullets ($p \leq 0.05$).

However, in cases of injury caused by expanding bullets, there was a higher frequency of damage to the hepatic flexure (23.13%) and the transverse colon (25.37%) compared to standard bullets: 14.49% and 17.39%, respectively, with a statistically significant difference

($p \leq 0.01$). The least affected segment was the splenic flexure, observed in 10.14% of cases with standard bullets versus 12.69% with expanding bullets. The descending colon was less frequently injured in cases involving expanding bullets—10.45% versus 14.49% with standard bullets ($p \leq 0.05$). These results indicate the existence of relatively more protected and more vulnerable segments of the colon in gunshot injuries caused by different types of bullets protected by body vests.

At the same time, one of the key factors that affects outcomes in gunshot injuries to the colon is the greater number of injuries and the broader distribution of damage across multiple colonic segments typically associated with expanding bullets. On the opposite, the degree of direct colonic tissue destruction was higher in cases involving standard bullets. However, the influence of high-kinetic projectiles with expanding properties is linked to a substantial zone of molecular concussion and microcavitation. Such injuries are particularly insidious, as the damage may be invisible during laparotomy, yet it can have an equally significant impact on prognosis and treatment outcomes as the overt tissue destruction identified during surgery.

Diagnosis of abdominal gunshot wounds involving colonic injury at various levels of medical care. We identified the clinical features of abdominal wartime gunshot wounds involving colonic injury: blurred clinical presentation in 44 cases (12.8%), mild or poorly expressed pain syndrome in 91 cases (26.3%), extra-abdominal colonic injuries in 116 cases (33.5%), and evisceration of the colon in 21 cases (6.06%).

The identified features were determined by the type of wounding projectiles (in this context—the type and design of the bullet), obstruction of the injured colon by the shell or its fragments, the time elapsed between injury and medical evaluation at different levels of medical support, the nature of the colonic injury, the size and number of wall defects, bowel avulsion or complete destruction, as well as the anatomical segments of the colon involved, particularly its mesoperitoneal position, which was diagnosed in 14 cases (66.6%). It should be noted that among 346 (100%) wounded individuals with colonic injuries, the diagnosis was established at the pre-hospital level in only 48 cases (13.8%), which clearly highlights the diagnostic challenges associated with such gunshot wounds.

It was noted that laboratory diagnostic methods play a supplementary role in assessing the condition of patients with abdominal gunshot wounds involving colonic injury. However, the studies indicate a more severe course of modern combat-related colonic trauma in the main group, characterized by the accumulation of numerous predictors of unfavorable wound healing and systemic inflammatory response. This is likely associated with the overall severity of the injury, the number and extent of damaged anatomical structures, organs, and tissues, as well as the degree of contamination of the abdominal cavity resulting from the gunshot injury to the colon.

Radiological examination proved to be highly effective in detecting metallic foreign bodies (bullets and their fragments) in wounded individuals. In addition, this method allows for the identification of the type of projectile, either by detecting an intact bullet, which was diagnosed in 55 cases (15.8%), or by identifying fragmented debris, such as "flower of death" or "lead storm" patterns, observed in 27 cases (20.9%). These patterns are characteristic of bullets with expanding properties and were found in 129 patients (37.2%) with observed three fragmentation zones. The specificity of this method for identifying the properties of expanding projectiles at the second level of medical support (LMS) was 79.7%, and its sensitivity was 94.5%.

At the second level of medical support, the primary role in detecting gunshot injuries to the colon has shifted to ultrasound diagnostics using the FAST protocol, which has largely replaced the use of laparocentesis. Signs of free fluid in the abdominal cavity were identified in 52 wounded individuals (30.2%), all of whom had simultaneous injuries to other organs. Therefore, the specificity of the FAST protocol for diagnosing isolated colonic injuries in this context remains questionable.

The sensitivity of colonic injury diagnosis was 95.3%, and the specificity was 88.5%. Without doubt, CT scanning (MSCT) plays a leading role in identifying colonic injuries and determining their exact localization. However, due to the limited availability of this method in frontline settings at the second level of medical support, its use for early diagnosis remains restricted: only 38 wounded individuals (10.9%) underwent CT scanning. The specificity of this method at the second level of medical support was 98.5%, and the sensitivity was 85.5%.

Diagnostic video-laparoscopy (VLS) and fiberoptic colonoscopy (FCS), including intraoperative procedures, are safe methods that can be used at the second level of medical support in military mobile hospitals (MMHs) for diagnosing gunshot injuries to the colon and determining their precise localization. These modern minimally invasive techniques help prevent complications associated with undiagnosed or missed injuries. Their use requires strict adherence to the indications and contraindications we have defined. A total of 42 colonoscopies (12.1%) were performed, 28 of which (66.6%) were intraoperative. Colonic injuries were diagnosed in 21 cases (50%), among which detection of injuries to the mesoperitoneal segments of the colon was particularly important, with 14 cases (66.6%) detected, these injuries often present with subtle clinical signs and are difficult to diagnose in the early stages of care. Thus, the use of FCS at early stages, specifically at the second level of medical support, enabled timely diagnosis of colonic gunshot injuries in 21 wounded individuals (50%).

Intraoperative fiberoptic colonoscopy (IFCS) served as an additional diagnostic method, particularly in diagnostically complex cases and in the presence of a subtle clinical presentation of colonic gunshot injury. The results of VLS performed in 122 wounded individuals (35.2%) identified mesoperitoneally located gunshot injuries to the colon in 14 cases (66.6%). Among these, injuries to the ascending colon were found in 11 cases (78.5%), and to the descending colon in 3 cases (21.5%). In all cases, complete inspection of the injury zone required mobilization of the colon in the area corresponding to the wound channel and associated hematomas.

Our experience demonstrates that the development, use, and implementation of modern magnetic instruments during diagnostic VLS or laparotomy enables the rapid detection of foreign bodies (FBs). During laparotomy, FBs were identified in 105 wounded individuals (57.06%), while VLS detected them in 79 cases (42.9%). Intact bullets were found in 55 patients (29.8%), while various bullet fragments were identified in 129 cases (62.7%). Among them, bullets deformed in the characteristic "flower of death" pattern were detected in 27 cases (20.9%).

A notable issue was that in 23 wounded individuals (12.5%), it was impossible to detect FBs in the abdominal cavity using magnetic instruments—8 cases (7.6%) during laparotomy and 15 cases (19%) during VLS. Thus, the specificity of modern magnetic instruments for diagnosing FBs in gunshot injuries to the colon during laparotomy was 88.1%, with a sensitivity of 100%. During VLS and endoscopic procedures, the specificity was 74.1%, and the sensitivity remained at 100%.

Thus, the use of the defined diagnostic algorithm for abdominal gunshot wounds involving colonic injury at various levels of medical support (Fig. 1), combined with clinical, laboratory, and instrumental methods, particularly the introduction of modern VLS, endoscopic, radiological

techniques, and magnetic instruments, enabled early diagnosis of colonic gunshot injuries. This approach allowed for rapid visualization and magnetodetection of FBs, which, in turn, guided the subsequent surgical strategy, including the scope and type of surgical intervention.

Level 1 of Medical Support				
Battlefield	Examination			
	Abdominal injuries		Extraabdominal injuries	
	Absolute signs of penetrating abdominal injuries: - localised entrance and exit abdominal wound; - evisceration of the colon; - feces in the wound.		Localisation of extraabdominal injuries: - thoracic-abdominal; - lumbar; - gluteal; - extremities.	
Pre-medical support	Clinical pattern		Examination	Palpation
First Aid	Medical documenting	Clinical pattern	Examination	Palpation
	FAST protocol, laparocentesis, R-graphy of chest and abdomen			
Level 2 of Medical Support				
Primary surgical group Secondary surgical group	Medical documenting	Clinical pattern	Examination	Palpation
	Laboratory analyses, FAST protocol, R-graphy of chest and abdomen, M-CT			
	Intraoperation fibrocolonoscopy, endoscopic clipping, magnetic instruments			
Level 3 of Medical Support				
Military Medical Clinical Center	Medical documenting	Clinical pattern	Examination	Palpation
	Laboratory analyses, Ultrasound, FAST protocol, R-graphy of chest and abdomen, M-CT, fibrocolonoscopy, intraoperation fibrocolonoscopy, VLS, magnetic instruments			
Level 4 of Medical Support				
National Military, Medical Clinical Center Main Military Clinical Hospital, Institutes of NAMN of Ukraine	Medical documenting	Clinical pattern	Examination	Palpation
	Endo-videosurgery, fibrocolonoscopy, intraoperation fibrocolonoscopy, VLS-6K, magnetic instruments			

Fig. 1. Algorithm for the diagnosis of abdominal gunshot wounds involving colonic injury at various levels of medical support.

Pathomorphological changes in the colon in gunshot injuries nowadays: experimental and clinical results. Pathomorphological studies have shown that the use of combat projectiles with 5.45×39 mm “PS” (7N6M) and 5.45×39 mm “V-Max” bullets results not only in significant morphological alterations in the colonic wall of experimental animals, but also in quantitative changes in severe hemorrhages within the lamina propria of the mucosa and the submucosal layer.

The changes in the colon were significantly more pronounced in gunshot injuries caused by the expanding 5.45×39 mm “V-Max” bullet, showing not only a greater extent of tissue damage but also larger areas of massive hemorrhages extending over distances exceeding 20.0 cm and affecting the full thickness of the intestinal wall, compared to injuries from the 5.45×39 mm “PS” (7N6M) bullet. According to the obtained results, for all four variants using the parameters sV VP (X) and sV PO (Y), a statistically significant difference was observed between the arithmetic means Me and Mk for the experimental and control groups, as the condition $t \geq t_{critical}$ was met.

The extent of colonic injury in gunshot wounds, along with the quantitative assessment of hemorrhage patterns, should be regarded at deciding on the surgical approach.

Based on the analysis of pathomorphological changes in the colon of patients with gunshot injuries, the author established the following conclusions:

1) the type of projectile affects the nature and pattern of pathomorphological changes in the colon,

2) the effect of a paracolic ballistic kinetic impact is destructive for all anatomical layers of the colonic wall, with the greatest damage observed in blood vessels. These vessels show varying degrees of destruction, from markedly dilated and engorged to spasmodic, accompanied by diapedetic hemorrhages, acute hypoxia, and acidosis, which aggravate dystrophic, atrophic, and necrotic changes in the colonic wall,

3) the greatest force of the kinetic impact affects the outer surface of the colon, where damage occurs to the mesentery, paracolic tissue, and peritoneum. The peritoneum is frequently destroyed along with the longitudinal muscle layer of the bowel wall. In severely spasmodic smooth myocytes, we observed marked hypertrophy of their nuclei, which indicates a kinetic intracellular explosion caused by increased internal cellular pressure,

4) a gunshot wound to the colon can exacerbate pre-existing chronic colonic diseases, as it transforms them into acute surgical emergencies and contributes to complications both at the injury sites and in areas, where surgical interventions were performed.

Thus, a gunshot injury to the colon is complex and combined in nature, where mechanical trauma leads to consequences ranging from dystrophic changes at the cellular level to irreversible necrotic damage at the tissue level. The method of choice for surgical management of such injuries is the resection of necrotic foci and areas of extensive hemorrhage to prevent the development of complications.

So, a gunshot injury to the colon is complex and combined in nature, while mechanical trauma leads to consequences which may range from dystrophic changes at the cellular level to irreversible necrotic damage at the tissue level. The method of choice for surgical management of such injuries is the resection of necrotic foci and areas of extensive hemorrhage to prevent the development of complications.

Histochemical evaluation of the R/B coefficient using bromophenol blue staining allows for the assessment of the extent and depth of local proteolysis in the tissues of the colonic wall near the site of surgical intervention. By analysing the value of this R/B coefficient, surgeons can determine the adequacy of resection margins from damaged tissue and predict the likelihood of successful suture healing.

An R/B coefficient value up to 1.0 indicates that the anastomosis has been performed within viable colonic tissue and allows for a favorable prognosis regarding proper healing of the anastomotic site or the sutured injury area.

An R/B coefficient in the range of 0.99–1.47 suggests that the anastomosis is within a zone of tissue with an increased risk of non-viability. This requires close dynamic monitoring of the patient and the additional administration of antioxidant, vasotropic, and rheological therapy to prevent complications.

An R/B coefficient exceeding 1.47 indicates that the anastomosis has been performed in an area of clearly non-viable tissue, which is highly likely to require further reoperation due to the development of complications.

An isolated elevation of the R/B coefficient in the outer layers of the colon indicates a higher likelihood of developing adhesive disease in the postoperative period. This necessitates the prescription of enzyme and anti-inflammatory therapy, as well as early anti-adhesion physiotherapy to prevent adhesion formation.

An isolated increase of the R/B coefficient in the submucosal layer of the colon suggests a greater risk of inflammatory processes in the area of the anastomosis or suture site. This requires intensive corrective therapy during the postoperative period.

Disruption of protein metabolism in the intestinal wall leads to the activation of carboxyl groups, which prolongates the repair and regeneration of areas damaged by gunshot trauma. Under unfavorable conditions, this may result in compromised blood supply, mucosal necrosis, and a heightened risk of complications such as perforations or anastomotic failure.

Up-to-date surgical treatment of patients with abdominal gunshot injuries involving the colon at various levels of medical support.

We analysed 203 cases (58.7%) of combat-related abdominal penetrating gunshot traumas involving the colon, which were managed via laparotomy. All surgical procedures were categorized into two groups: bowel resections and primary suture repairs without resection. The formation of a stoma cases during the primary operation were also recorded (Figs. 2 and 3).

In patients with colonic gunshot injuries undergoing laparotomic procedures, we observed better outcomes in those who had a stoma.

Performing primary restoration of colonic continuity after resection was associated with a statistically significant increase in mortality, from 7.69% to 20.83% in the overall group ($p \leq 0.01$), from 6.25% to 20.0% in cases involving expanding bullets ($p \leq 0.01$), and from 8.7% to 21.43% in injuries caused by non-expanding bullets ($p \leq 0.01$).

According to complication development, the rate increased from 43.59% to 58.33% in the overall cohort ($p \leq 0.01$), from 43.75% to 70.0% in cases of injuries caused by expanding bullets ($p \leq 0.01$), and from 43.48% to 50.0% in injuries caused by non-expanding bullets ($p \leq 0.05$).

The formation of a stoma during suturing procedures resulted in nearly a threefold increase in the complication rate following VLS, from 16.33% when suturing was performed without a stoma, to 42.86% when a stoma was formed ($p \leq 0.01$). The complication rate for suturing with a stoma was even higher than that observed after resection with a stoma: 42.86% vs 37.5%, respectively ($p \leq 0.01$).

Among patients injured by expanding bullets, the highest complication rate was noted after suturing with stoma formation: 45.45%, compared to 30% for suturing without stoma formation ($p \leq 0.01$). In cases involving non-expanding bullets, there was a consistent tendency toward a higher complication rate after resection procedures, 31.82% following resection vs 19.23% after primary suturing ($p \leq 0.01$), with further increases observed when a stoma was formed during suturing, 38.46% with a stoma vs 12.82% without one ($p \leq 0.01$).

An increase in the complication rate was also observed in cases where resections were performed with stoma formation: 35.29% versus 20% when no stoma was created ($p \leq 0.01$), as the number of such interventions in this group was representative.

A comparative analysis of laparotomies and VLS revealed that, in cases of injury by expanding bullets, a significant increase in complications occurred specifically after laparotomic resections, 50% for laparotomy versus 43.7% for VLS ($p \leq 0.01$). Additionally, when a stoma was formed during suturing, the complication rate was higher for procedures performed via laparotomy, 53.3% compared to 45.4% for VLS ($p \leq 0.05$).

In cases of injury caused by non-expanding bullets, a significant increase in the complication rate was observed when suturing the colon via laparotomy: 30.8% compared to 19.2% for VLS ($p \leq 0.01$). The complication rate also doubled when a stoma was formed during suturing and the procedure was performed via laparotomy — 29.7% versus 12.8% during VLS ($p \leq 0.01$).

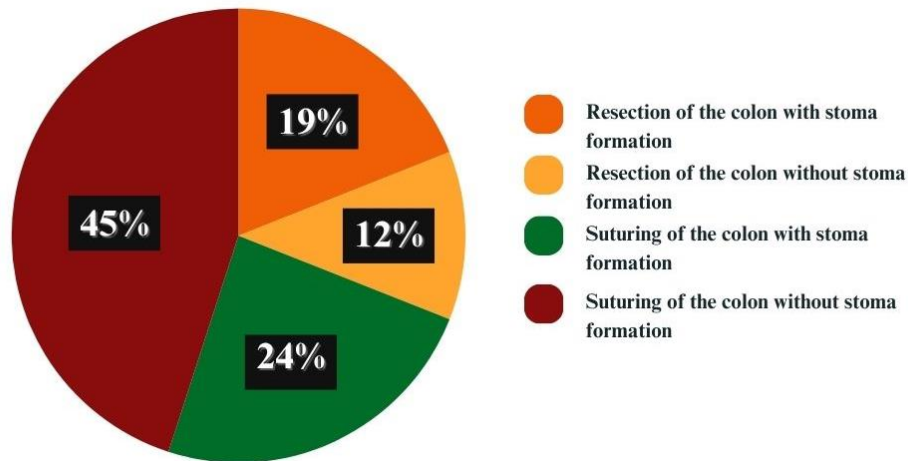


Fig. 2. Graphical representation of the distribution of laparotomic surgical interventions for gunshot injuries involving the colon overall.

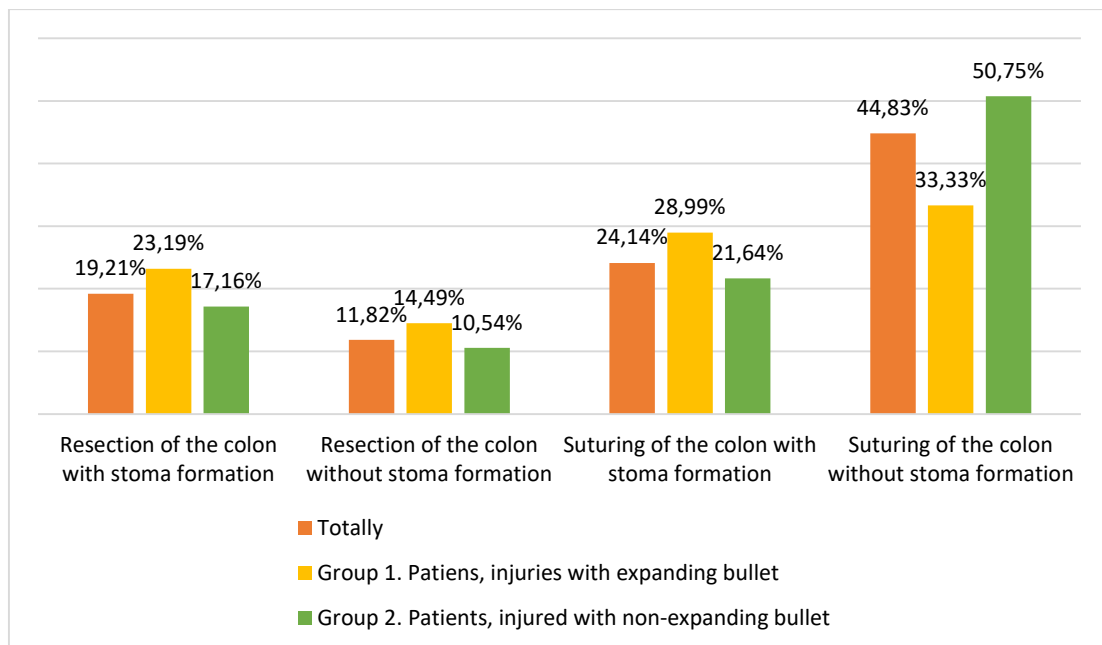


Fig. 3. Graphical representation of the comparative distribution of laparotomic surgical interventions for gunshot injuries involving the colon overall and the studied groups.

However, when suturing was followed by stoma formation, VLS showed a higher complication rate: 38.4% compared to 33.3% for laparotomies ($p \leq 0.05$). When resection with stoma formation was performed, laparotomic interventions resulted in a higher complication rate: 41.6% versus 35.2% for VLS ($p \leq 0.05$).

In cases of injury caused by expanding bullets, primary suturing should preferably be avoided, as it is associated with a worse prognosis for this category of wounded patients compared to primary resection. An increase in mortality was observed from 11.5% to 16.2% ($p \leq 0.01$). This is likely due to the greater transfer of kinetic energy, which results in the formation of an extensive area of molecular shock and microcavitation, effects that cannot be assessed macroscopically during surgery, yet contribute to ischemia and subsequent tissue destruction in the postoperative period. These adverse outcomes were confirmed in our

experimental studies. The formation or refusal from a stoma had no significant effect on prognosis in this group of patients.

In cases of gunshot wounds caused by non-expanding bullets, primary suturing is a fully acceptable surgical tactic, provided the injury is localized within a single segment of the colon and does not exceed Grade II according to the AAST classification. This approach does not lead to an increased rate of complications (45.9% for resections vs. 36.08% for primary sutures; $p \leq 0.01$) or mortality (13.5% for resections vs. 9.2% for primary sutures; $p \leq 0.05$). The formation of a stoma also does not significantly influence prognosis. However, considering that stoma formation prolongs treatment duration, reduces the patient's quality of life (QoL), and complicates further care and rehabilitation, it is advisable to avoid stoma formation during primary suturing in patients with colonic injuries caused by non-expanding bullets.

The use of VLS does not lead to an increase in mortality or complication rates in the general cohort of patients with combat-related penetrating gunshot abdominal injuries involving the colon, regardless of the type of surgical intervention selected. The proposed marginal stapled resection technique via VLS was performed in 6 (4.44%) cases in the main group and in 1 (0.47%) case in the comparison group; no complications were observed in these cases of colonic injury. Mortality following resections was identical at 7.89% for both VLS and laparotomy. In cases involving suturing of colonic defects, mortality was 6.19% for laparotomy and 5.95% for VLS. The complication rate following resections was 42.1% for laparotomies and 36.84% for VLS procedures. In cases involving suturing, the complication rate was 32.9% for laparotomy and 27.38% for VLS.

In patients wounded by expanding bullets, laparotomy is preferable over VLS, as this category of patients showed a twofold increase in mortality with VLS compared to laparotomy. This trend was observed both in colon resection procedures, where the mortality rate was 6.25% with laparotomy versus 12.5% with VLS ($p \leq 0.01$), and in suturing procedures, where the mortality rate was 6.9% with laparotomy compared to 12.5% with VLS ($p \leq 0.01$).

In cases of injury caused by non-expanding bullets, mortality following VLS procedures was significantly lower than that after laparotomy. Specifically, for resections performed via laparotomy, the mortality rate was 9.09%, compared to 4.54% with VLS ($p \leq 0.01$). For colon suturing procedures in this patient group, mortality with laparotomy was 5.8%, while with VLS it was only 1.92% ($p \leq 0.01$). In the general cohort, the highest complication rate (36.8%) was observed following VLS procedures, compared to 27.38% for suturing ($p \leq 0.01$). The proposed technique of endoscopic clipping for small gunshot defects of the colon was applied in 18 (13.33%) patients in the main group and 3 (1.42%) in the comparison group, with good clinical outcomes without complications.

The type of wounding projectile has a significant effect on the medical and social consequences of gunshot injuries. In the main group, expanding bullets result in more severe injuries that require longer hospitalization and reduce the likelihood of wounded personnel returning to duty. Specifically, the average duration of treatment following VLS procedures for injuries caused by non-expanding bullets was 23.16 bed-days, whereas for injuries caused by expanding bullets it was 38 bed-days ($p \leq 0.01$). In the control group, the return-to-duty rate for those injured by non-expanding bullets was 62.2% (46 out of 74), while for those injured by expanding bullets it was only 35.42% (17 out of 48) ($p \leq 0.01$).

The type of surgical intervention also significantly affects the medical and social outcomes of treatment. VLS procedures and primary suturing of the colon without stoma formation show better results in terms of treatment duration and return to duty. Specifically, stoma formation leads to a statistically significant increase in treatment duration: 44.41 bed-days vs. 26.25 for resections, and 32.38 vs. 23.31 bed-days for suturing ($p \leq 0.01$). At the same

time, colon suturing demonstrates better return-to-duty rates compared to resections: 53.5% vs. 39.5% ($p \leq 0.01$).

The highest QoL indicators, both physical and psychological, are observed in patients who underwent colon suturing without stoma formation across the entire follow-up period. VLS procedures also show better QoL outcomes compared to laparotomies in the long term.

Stoma formation significantly affects the QoL. In terms of physical health, operations without stoma formation show markedly better outcomes across all types of procedures and time points. Six months after a VLS bowel resection, the physical health index was 35% in patients with stomas compared to 43% in those without ($p \leq 0.05$). While the impact of stoma formation on psychological well-being is less pronounced, operations without stoma formation still offer a slight advantage. Six months postoperatively, psychological health in patients who underwent resection with stoma formation was 70%, compared to 78% in those without a stoma. A similar trend is observed after primary suturing: the psychological health index was 71% with a stoma versus 75% without.

The use of up-to-date magnetic instruments is an effective method for removing FBs in abdominal gunshot wounds with colonic injury. Laparotomy proves to be a more effective method of FB removal, particularly in cases with complex localization. Although less effective, VLS procedures remain minimally invasive and can be an important factor in the choice of surgical approach.

Laparotomy demonstrated a higher percentage of cases rated as “excellent” for FB removal effectiveness: 63.8% compared to 54.4% with VLS ($p \leq 0.01$), indicating its superiority in FB extraction. VLS procedures received a higher percentage of “good” ratings: 24.1% versus 20.0%, likely reflecting the benefit of reduced invasiveness. The mean FB removal time during laparotomy was significantly shorter at 1.5 ± 0.9 minutes versus 3.7 ± 1.8 minutes for VLS, a statistically significant difference ($p \leq 0.01$), likely due to better access to the abdominal cavity and the FB itself during laparotomy.

The rate of unretrieved FBs during VLS operations was higher (19.0%) compared to laparotomy (7.6%) ($p \leq 0.01$). This was attributed to limited visual field and reduced instrument manoeuvrability during VLS, particularly in cases involving deeply embedded FBs or fragments located near major vessels and critical anatomical structures.

CONCLUSIONS

The thesis presents a scientifically substantiated theoretical framework along with experimental, clinical and practical solutions to the pressing issue of diagnosis and treatment of abdominal gunshot wounds involving colonic injury, caused by expanding projectiles, in the context of war in Ukraine. This is achieved through the development of new and the improvement of existing techniques utilizing videolaparoscopic and endoscopic methods, as well as magnetic instruments, at various levels of medical support.

1. Gunshot wounds to the abdomen involving colonic injury caused by modern 5.45×39 mm expanding bullets such as the “V-Max” type are observed in 39.02% of cases during wartime conditions in Ukraine. These injuries are classified as class 2 in terms of severity according to the BATLS scale in 30.37% of cases, with extra-abdominal localization in 24.4%. Bullet fragmentation in the form of a “flower of death” with blind penetrating abdominal wounds occurs in 95.6% of cases. Injuries affect more than three sections of the colon in 5.97% of cases, with predominant damage to the sigmoid colon (25.93%), transverse colon (25.19%), and hepatic flexure (22.96%). The most common destruction corresponds to AAST grade 2 in 37.31% of cases, with Flint grade 2 peritoneal contamination in 45.93%, and mesoperitoneal injury in 27.04%. These injuries are accompanied by associated intra-

abdominal damage to internal organs in 54.8% of cases, complications in 40.74%, and a mortality rate of 11.85%.

2. A comparative study of the terminal wound ballistics of the 5.45×39 mm “V-Max” bullet with expanding properties versus the standard 5.45×39 mm “PS” (7N6M) bullet under experimental conditions demonstrated the former’s higher velocity (1185 ± 1.05 m/s), larger entry wound dimensions (92 ± 9 mm) with a stellate shape, radial tears, and everted wound edges. The bullet created a blind-type wound channel and possessed significantly higher specific kinetic energy (114.37 ± 12.3 J/mm²; $p \leq 0.001$ in all cases). The wound channel exhibited a markedly larger affected tissue surface, with maximum linear dimensions of the residual cavity measuring 82×57 mm ($p \leq 0.05$). The formation of a “microexplosion” served as an additional tissue-damaging factor. Bullet fragmentation was typical and contributed to a more complex injury pattern in the colon, leading to complete wall destruction in 35% of cases and multiple small injuries in 65%.

3. Numerical modeling and the recreated 3D model of tissue damage caused by different types of 5.45×39 mm bullets: “PS” (7N6M) and “V-Max” under experimental conditions showed that the 5.45×39 mm “V-Max” bullet with expanding properties inflicts significantly more destructive effects on the geometric model. This is evidenced by higher pressure levels along the bullet channel: 1.5 MPa (15 atm) versus 0.8 MPa (8 atm) at the center of the model, and 1.7 MPa (17 atm) versus 1.4 MPa (14 atm) at the channel cross-section. The maximum diameter of the wound channel with the highest stress was 65 mm compared to 35 mm, and the peak pressure at the entry wound reached 0.48 MPa (4.8 atm) versus 0.35 MPa (3.5 atm), confirming the higher kinetic and destructive potential of the “V-Max” bullet.

4. Among combatants of the Armed Forces of Ukraine with a normosthenic body type wearing body vests, the most vulnerable area is the anterior surface of the torso (71%). In those with an asthenic body type, the lateral regions are more exposed (21%), while in hypersthenic individuals, the posterior surface is the most vulnerable (25%). Regardless of body type, when body armor is worn, the sigmoid and descending colon are the most susceptible to injury (100%). The lowest variability and highest vulnerability are noted in the lower half of the ascending colon in asthenic (80%) and hypersthenic (69%) individuals ($p \leq 0.01$). Overall, the colon is most vulnerable in individuals with an asthenic body type and best protected in those with a hypersthenic build ($p \leq 0.01$).

Gunshot wounds to the abdomen protected by body vests are most commonly localized in the right upper (25.8%) and left lower (23.5%) abdominal quadrants. The sigmoid colon is most frequently affected (21.4%), followed by the transverse colon (17.62%) and the hepatic flexure (15.71%). The splenic flexure is the most protected segment, being injured in only 9.2% of cases. In cases of extra-abdominal localization of gunshot wounds involving the colon (35%), the most vulnerable areas are the left lumbar region (21.1%) and the left lateral surface of the thoracic cage (14%).

5. The developed and implemented diagnostic algorithm for abdominal gunshot wounds with colonic injury at various levels of military medical care enabled early diagnosis of such injuries in 50.0% of wounded personnel. It also allowed for rapid visualization and magneto-detection of foreign bodies during laparotomy in 57.06% of cases and during laparoscopic surgery in 42.9% of cases, demonstrating a corresponding specificity of 88.1% and 74.1%, and a sensitivity of 100%. The algorithm provides clearly defined indications and contraindications for its use.

6. The type of bullet projectile significantly affects the nature and structure of the pathomorphological changes in the colon. In gunshot wounds caused by the expanding

5.45×39 mm "V-Max" bullet, the destruction of the intestinal wall elements occurs over a longer segment, accompanied by pronounced morphological alterations. These include extensive hemorrhages in the lamina propria of the mucosa, submucosal layer, and serosal membrane on the mesenteric edge of the colon, with massive hemorrhagic foci located more than 20.0 cm. The hemorrhage volume index reached up to 1.4 ± 0.02 units, affecting the full thickness of the intestinal wall. These changes were significantly more pronounced not only at the direct trajectory of the bullet but also at the sites impacted by its fragments.

7. The characteristic features of pathomorphological and histochemical changes in the colon in patients with gunshot wounds include: the effect of the paracolic ballistic kinetic impact resulting in the destruction of all anatomical structures of the intestinal wall, with the greatest damage occurring to blood vessels. The kinetic force impacts the outer surface of the intestine, where the mesentery, paracolic tissue, and peritoneum are damaged. In the spasmed smooth myocytes, a marked hypertrophy of their nuclei is observed, which is a sign of a kinetic intracellular explosion caused by increased intracellular pressure. In addition, gunshot wounds to the colon stimulate the exacerbation of chronic colon diseases, transforming them into acute surgical conditions with the development of complications at the injury sites and in areas where surgical interventions were performed. Histochemical evaluation of the R/B coefficient values up to 1.0 indicates that an anastomosis is being performed within viable colonic tissue and allows for the prediction of successful healing at the anastomotic site or the site of injury repair. An R/B coefficient ranging from 0.99 to 1.47 indicates that the anastomosis has been performed in an area of tissue at increased risk of non-viability, which requires close and dynamic monitoring of the wounded patient. An R/B coefficient exceeding 1.47 signifies that the anastomosis has been performed in an area of clearly non-viable tissue.

Disruptions in protein metabolism in the intestinal wall lead to the activation of carboxyl groups, which contribute to delayed repair and regeneration of damaged segments of the colon. This results in impaired blood supply, mucosal necrosis, and poses a risk for complications such as perforations and anastomotic failure.

8. Within the war context in Ukraine, predictors that significantly affect the prognosis and surgical tactics in wounded individuals with combat gunshot injuries to the colon include: 1) deserosation of the colon, which increases the mortality rate from 7.6% to 12.83%, the complication rate from 29.9% to 48.5%, and the number of relaparotomies from 22.37% to 39.4% ($p \leq 0.05$); 2) devascularization of the colon, which leads to an increase in the complication rate from 32.5% to 50.7% and the number of relaparotomies from 23.6% to 44.4% ($p \leq 0.05$); 3) the number of gunshot injuries to the colon, which increases both the frequency and severity of complications, with a complication coefficient (CC) of 0.89 and a coefficient of 0.95 for relaparotomies following complications. The approximation coefficient (R^2) for the complication rate and the volume of relaparotomies exceeded the critical threshold.

9. The effectiveness of newly developed and implemented modern video laparoscopic surgical interventions has been proven: marginal stapled resection of the colon was performed in 4.4% of wounded patients, and endoscopic clipping of small gunshot defects in 13.3%. At the level 2 of medical support, mesoperitoneal gunshot injury of the colon caused by 5.45×39 mm "V-Max" bullets with expanding properties was timely diagnosed intraoperatively by fibroscopy in 6.06% of patients. Foreign bodies (bullets, fragments) were diagnosed in 42.9% of cases during laparoscopy using magnetic instruments, and were removed with an "excellent" effectiveness rating in 54.4% and "good" in 24.1% of the cases. A total of 35.42% of the wounded were returned to duty. The average hospital stay was 33.21 bed-days. Six months after surgery, QoL by psychological health was 71% in

patients with a stoma and 78% without a stoma; physical health was 35% with a stoma and 43% without.

The specificity of the developed modern magnetic instrument for the detection of foreign bodies in gunshot injuries to the colon during video laparoscopic and endoscopic interventions was 74.1%, and the sensitivity was 100%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

Публікації у наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science

1. Гуменюк, К.В., Гангал, І.І., та Карпенко, К.К. (2021). Надання високоспеціалізованої медичної допомоги військовослужбовцям Збройних Сил України мініінвазивними рентгенендоваскулярними методиками. *Запорізький медичний журнал*, 23(3), 375-380. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmzh_2021_23_3_11 Web of Science. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
2. Цимбалюк, В.І., Лурін, І.А., Усенко, О.Ю., Гуменюк, К.В., Кримчук, С.Г., Грищенко, О.В., та Лопатюк, К.А. (2021). Результати експериментального дослідження ранової балістики окремих типів і калібрів сучасних куль. *Медичні Перспективи*, 26(4), 4–14. doi: [10.26641/2307-0404.2021.4.247409](https://doi.org/10.26641/2307-0404.2021.4.247409) SCOPUS Q4. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
3. Tsymbalyuk, V.I., Lurin, I.A., Chaikovskiy, Yu.B., Graboviy, O.M., Gumenyuk, K.V., Nehoduiko, V.V., & Makarov, V.V. (2022). Comparative evaluation of histological results of modern fire inflammatory injuries of the column by different types of bullets in the experiment. *World of Medicine and Biology*, 1(79), 244-248. doi: 10.26724/2079-8334-2022-1-79-244-248 Web of Science.
(Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
4. Tsymbaliuk, V.I., Lurin, I.A., Gumeniuk, K.V., Savitsky, O.F., Popova, O.M., Gorobeiko, M.B., & Dinets, A.V. (2022). Translational study of gunshot injury to the colon by modern types of bullets. *World of Medicine and Biology*, 4(82), 192-196. doi: 10.26724/2079-8334-2022-4-82-192-196 Web of Science. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
5. Gumeniuk, K., Lurin, I.A., Tsema, I., Malynovska, L., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2023). Gunshot injury to the colon by expanding bullets in combat patients wounded in hybrid period of the Russian-Ukrainian war during 2014–2020. *BMC Surgery*, 23(1), 23. doi: [10.1186/s12893-023-01919-6](https://doi.org/10.1186/s12893-023-01919-6) SCOPUS Q2. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
6. Tsymbaliuk, V., Lurin, I., Gumeniuk, K., Herasymenko, O., Furkalo, S., Oklei, D., Negoduyko, V., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2023). Modeling of wound ballistics in biological tissues using engineering simulation software. *Medicni perspektivi*, 28(1), 37-48. doi: 10.26641/2307-0404.2023.1.275866 SCOPUS Q4 (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
7. Quinn, J., Panasenko, S. I., Leshchenko, Y., Gumeniuk, K., Onderková, A., Stewart, D., Gimpelson, A. J., Buriachyk, M., Martinez, M., Parnell, T. A., Brain, L., Sciulli, L., & Holcomb, J. B. (2024). Prehospital Lessons From the War in Ukraine: Damage Control Resuscitation and Surgery Experiences From Point of Injury to Role 2. *Military*

medicine, 189(1-2), 17–29. <https://doi.org/10.1093/milmed/usad253> SCOPUS Q3. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).

8. Гуменюк, К.В., Сіваш, Ю.Ю., Роговський, В.М., Бешлей, Д.М., та Слободянюк, А.Т. (2024). Перший досвід застосування ендovasкулярної балонної оклюзії аорти у поранених з геморагічним шоком під час війни в Україні. *Медицина невідкладних станів*, 20(6), 47-55. doi: 10.22141/2224-0586.20.6.2024.1754 SCOPUS Q4. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).

Публікації у наукових виданнях України та інших держав

9. Хоменко, І.П., Гуменюк, К.В., Цема, Є.В., Михайлусов, Р.М., Тертишний, С.В., Попова, С.В. (2020). Перший етап реконструкції дефектів м'яких тканини при вогнепальному пораненні. *International Academy Journal Web of Scholar*, 6(48), 31-35. doi: 10.31435/rsglobal_wos/30062020/7129 (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
10. Хоменко, І.П., Гуменюк, К.В., Цема, Є.В., та Тертишний, С.В. (2020). Створення концепції термографічної класифікації вогнепальних поранень м'яких тканини. *World of Science*, 1(4), 32-36. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30042020/7022 (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
11. Хоменко, І.П., Гуменюк, К.В., Король, С.О., Михайлусов, Р.М., Тертишний, С.В., Гринчук, М.М., та Попова, О.М. (2020). Імплементация принципів реконструктивної хірургії у поранених з дефектами м'яких тканин на IV рівні медичного забезпечення. *World of Science*, 8 (60), 30-34. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31102020/7215. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
12. Gumeniuk, K., Lurin, I., Tsema, I., Susak, Ya., Mykhaylenko, O., Nehoduiko, V., Krymchuk, S., Gryshchenko, O. Lopatiuk, K., Maksymenko, M., Dubenko, D., & Tsema, Ye. (2021). Woundary ballistics of biological tissue's plastic deformation on the model of ballistic plastiline using hollow point and shape-stable bullets. *Journal of Education, Health and Sport*, 11(11), 37-57. doi: <https://doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.11.003>. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
13. Lurin, I.A., Khomenko, I.P., Gumeniuk, K.V., Nehoduiko, V.V., Tertyshnyi, S.V., Hrynychuk, M.M., Maidaniuk, V.P., & Popova, O.M. (2022). Firearm reconstruction of the lower extremity. Multi-modal concept. A case report. *American Journal of Medicine and Surgery*, 9(3), 12-15. doi: 10.5281/zenodo.7091423. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
14. Роцін, Г.Г., Мазуренко, О.В., Гуменюк, К.В., Кузьмін, В.Ю., Сличко, І.Й., Іванов, В.І., Дорош, В.М., та Гуменюк, Н.І. (2020). Єдині протоколи надання екстреної медичної допомоги як елемент цивільно-військової взаємодії на територіях проведення спеціальних операцій в Україні. *Травма*, 21(2), 74-87. doi: 10.22141/1608-1706.2.21.2020.202236. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
15. Гуменюк, К.В., та Горошко, В.Р. (2020). Погляд із минулого в майбутнє: безпілотні літаючі дрони як елемент евакуації поранених у медичній службі Збройних Сил України. *Медицина невідкладних станів*, 16(5), 22-27. doi: 10.22141/2224-0586.16.5.2020.212220. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та

дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).

16. Лурін, І.А., Цема, Є.В., Гуменюк, К.В., Сусак, Я.М., Дубенко, Д.Є., та Цема, Є.Є. (2021). Експериментальне моделювання залишкової ранової порожнини на балістичному пластиліні з використанням стандартних та експансивних куль. *Медицина науки України*, 17(4), 10-17. doi: 10.32345/2664-4738.4.2021.02. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
17. Гречаник, О.І., Абдуллаєв, Р.Я., Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Негодуйко, В.В., та Слесаренко, Д.О. (2021). Сучасні аспекти діагностики вогнепальних поранень живота. Досвід гібридної війни на сході України. *Український журнал клінічної хірургії*, 88(5-6), 42-52. doi: [10.26779/2522-1396.2021.5-6.42](https://doi.org/10.26779/2522-1396.2021.5-6.42). (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
18. Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Тимчук, О.Б., та Попова, О.М. (2021). Вогнепальні поранення товстої кишки як предиктор тяжкого перебігу бойової травми живота. *Український журнал клінічної хірургії*, 88(7-8), 39-43. doi: <https://doi.org/10.26779/2522-1396.2021.7-8.39>. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
19. Хоменко, І.П., Гуменюк, К.В., Король, С.О., Цема, Є.В., Михайлусов, Р.М., Майданюк, В.П., Тертишний, С.В., та Попова, О.М. (2021). Визначення провідного виду уражень військовослужбовців у сучасних військових конфліктах. *Харківська хірургічна школа*, 2, 128-133. doi: 10.37699/2308-7005.2.2021.23. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
20. Гуменюк, К.В., та Лавренчук, О.А. (2021). Величина та структура санітарних втрат у війнах сучасних локальних збройних конфліктах при вогнепальних пораненнях живота з ушкодженням ободової кишки. *Харківська хірургічна школа*, 5-6(110-111), 47-51. doi: 10.37699/2308-7005.5-6.2021.10. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
21. Гуменюк, К.В., Прохоренко, Г.А., Трутняк, І.Р., та Соболев, І.П. (2021). Особливості хірургічної тактики при пораненнях і травмах товстої кишки в умовах ведення бойових дій. *Український журнал клінічної хірургії*, 88, (9-10), 33-37. doi: [10.26779/2522-1396.2021.9-10.33](https://doi.org/10.26779/2522-1396.2021.9-10.33). (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
22. Усенко, О.Ю., Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Негодуйко, В.В., Михайлусов, Р.М., та Салютін, Р.В. (2021). Органозберігальні операції при вогнепальних проникаючих пораненнях живота з ушкодженням товстої кишки. Досвід надання медичної допомоги в умовах Антитерористичної операції/Операції об'єднаних сил. *Український журнал клінічної хірургії*, 88 (11-12), 3-7. doi: [10.26779/2522-1396.2021.11-12.03](https://doi.org/10.26779/2522-1396.2021.11-12.03). (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
23. Lurin, I.A., Khomenko, I.P., Gumeniuk, K.V., Negoduiko, V.V., Tertyshnyi, S.V., Grinchuk, M.M., Maidanyuk, V.P., & Popova, O.M. (2021). Case report of multimodal approach during reconstruction of gunshot defects the soft tissue of the forearm and wrist. *Klinichna khirurgiia*, 88 (11-12), 93-95. doi: 10.26779/2522-1396.2021.11-12.93. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
24. Гуменюк, К.В., Якимова, Т.П., Губіна-Вакулик, Г.І., Негодуйко, В.В., Макаров, В.В., та Михайлусов, Р.М. (2022). Особливості патоморфозу вогнепальних кульових

- поранень живота з ушкодженням товстої кишки. *Медицина сьогодні і завтра*, 91(2), 96-108. doi: 10.35339/msz.2022.91.2.gyg. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
25. Гуменюк, К.В., Якімова, Т.П., Губіна-Вакулик, Г.І., Негодуйко, В.В., Макаров, В.В., та Михайлусов, Р.М. (2022). Гістохімічна оцінка ступеня ушкодження товстої кишки при вогнепальних кульових пораненнях. *Експериментальна і клінічна медицина*, 91(1), 71-79. doi: [10.35339/ekm.2022.91.1.gyg](https://doi.org/10.35339/ekm.2022.91.1.gyg). (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації)
 26. Khomenko, I., Tsema, I., Humeniuk, K., Slobodianyuk, V., & Rahushyn, D. (2022). Case of gunshot injury to the liver by a hand-made modified sniper bullet: organ-preserving surgical management with damage control tactics and transpapillary biliary decompression. *General Surgery*, 2(3), 64-67. doi: [10.30978/GS-2022-2-64](https://doi.org/10.30978/GS-2022-2-64). (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
 27. Лурін, І.А., Хоменко, І.П., Гуменюк, К.В., Король, С.О., Цема, Є.В., Тертишний, С.В., та Попова, О.М. (2022). Особливості ключового виду та характеру вогнепальних уражень військовослужбовців під час сучасних збройних конфліктів. *Харківська хірургічна школа*, 2(113), 59-63. doi: 10.37699/2308-7005.2.2022.1. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
 28. Лурін, І.А., Бойко, В.В., Гуменюк, К.В., Замятін, П.М., Хорошун, Е.М., Михайлов, І.Ф., Батурін, О.А., Негодуйко, В.В., Замятін, Д.П., та Тертишний, С.В. (2022). Показники інтенсивності рентгенофлюоресценції вмісту капсул металевих осколків м'яких тканин у поранених зі вибуховою та вогнепальною травмою. *Медицина невідкладних станів*, 18(3), 49-56. doi: 10.22141/2224-0586.18.3.2022.1491. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).
 29. Усенко, О.Ю., Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Негодуйко, В.В., Михайлусов, Р.М., Риженко, А.П., та Салютін, Р.В. (2022). Використання хірургічного магнітного інструментарію для діагностики та видалення феромагнітних сторонніх тіл черевної порожнини при бойовій вогнепальній травмі. *Український журнал клінічної хірургії*, 89 (7-8), 30-34. doi: <https://doi.org/10.26779/2522-1396.2022.7-8.30>. (Особистий внесок здобувача - формування концепції та дизайну роботи, збір та аналіз даних, підготовка до друку).
 30. Король, С.О., Білий, В.Я., Гуменюк, К.В., Гибало, Р.В., Грішов, А.А., та Заговець, М.А. (2023). Актуальні питання та особливості підготовки військових хірургів в умовах повномасштабної агресії РФ проти держави Україна. *Український журнал військової медицини*, 4(1), 5-12. doi 10.46847/ujmm.2023.1(4) - 005. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, оцінка та аналіз отриманих результатів, написання та підготовка публікації до друку).
 31. Лурін, І.А., Хорошун, Е.М., Воровський, О.О., Негодуйко, В.В., Макаров, В.В., Панасенко, С.І., Гуменюк, К.В., Осовський, О.В., Якімова, Т.П., та Салютін, Р.В. (2023). Ушкодження червоподібного відростка і дивертикула Меккеля при вогнепальних пораненнях живота. *Український журнал клінічної хірургії*, 90(2), 19-23. doi: 10.26779/2786-832X.2023.2.19. (Особистий внесок здобувача – формування концепції та дизайну роботи, написання та підготовка до публікації).

Монографії

32. Хоменко, І.П., Лурін, І.А., Цимбалюк, В.І., Жаховський, В.О., Лівінський, В.Г., Галушка, А.М., Гуменюк, К.В. та ін. (2020). Медичне забезпечення Збройних Сил

України під час антитерористичної операції та операції Об'єднаних сил на території Луганської та Донецької областей. Київ: «Видавництво Людмила». Ч. 2. 437 с.

33. Салютін, Р.В., Каштальян, М.А., Лурін, І.А., Хоменко, І.П., Негодуйко, В.В., Михайлусов, Р.М., Гуменюк, К.В. та ін.; ред. В.І. Цимбалюк. (2021). Атлас бойової хірургічної травми (досвід антитерористичної операції/операції об'єднаних сил). Харків: Колегіум. 385 с.
34. Гуменюк, К.В., Хоменко, І.П., Луріна, І.А. та ін.; за заг. ред. В.І. Цимбалюка (2022). Лікування поранених з бойовими ушкодженнями живота (за досвідом АТО/ООС): монографія. Херсон: Олді+. 194 с.
35. Цимбалюк, В.І. ред., Гуменюк, К.В. (2022). Моделювання вогнепальних поранень. Харків. 322 с.
36. Цимбалюк, В.І., Лурін, І.А., Хорошун, Е.М., Гуменюк, К.В. та ін. (2022). Використання сучасного магнітного та немагнітного інструменту для діагностики та видалення сторонніх тіл : методичні рекомендації. Харків: ФОП Бровін О.В. 72 с.
37. Гуменюк, К.В. (ред.), Король, С.О., Гибало, Р. В. (2024). Настанови з воєнно-польової хірургії. Київ: Видавництво Людмила. 572 с.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

38. Gumeniuk, K., & Popova, O. (2021). Features of gunshot colon damage with expansive bullets vs conventional bullets (data of joint forces operation at the east of Ukraine 2014 - 2020 yy.). *United European Gastroenterology Journal*, 9, 874-875. doi: <https://doi.org/10.1002/ueg2.12144>. SCOPUS Q₁.
 39. Gumeniuk, K., & Popova, O. (2022). Retroperitoneal Hematoma as a High-Risk Factor for the Development of Infection Complications in Patients with Colon Damage Due to Combat Penetrating Abdominal Injury (Data of Joint Forces Operation in Ukraine). *Journal of the American College of Surgeons*, 235(5) (Suppl.), S.159-160. doi: 10.1097/01.XCS.0000894208.10838.c4
 40. Gumeniuk, K., & Popova, O. (2022). Eventration of inner organs for penetrating gunshot abdominal trauma as a predictor of complications and mortalities. *United European Gastroenterology Journal*, 10, 425. doi: 10.13140/RG.2.2.33460.53129 SCOPUS Q₁.
 41. Gumeniuk, K., & Popova, O. (2022). Decrease in diameter of a caecum dome as a sensitive and specific sonographic sign of colon injury for wounded with penetrating gunshot abdominal trauma (experience of war in Ukraine 2014-2022 yy.). *United European Gastroenterology Journal*, 10, 426. SCOPUS Q₁.
 42. Gumeniuk, K., & Popova, O. (2022). Feasibility and safety of intraoperative colonoscopy for verify colon damage in wounded with combat penetrating abdominal trauma (data of Joint Forces Operation at the East of Ukraine 2014 - 2021 yy.). *International Surgical Week. Abstr. of the 49th World Congress of the International Society of Surgery*, pp. 230 (121.03), Vienna
 43. Гуменюк, К.В., та Попова, О.М. (2022). Клініко-організаційні аспекти хірургічної допомоги пораненим з бойовими вогнепальними ушкодженнями ободової кишки та судин черевної порожнини. *Клінічна хірургія*, 89(5-6), 25-26.
 44. Гуменюк, К.В., та Попова, О.М. (2022). Пошкодження мезентеріальних судин внаслідок бойової травми живота при контамінації черевної порожнини: серія клінічних випадків. *Клінічна хірургія*, 89(5-6), 58-59.
- Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації:**
45. Гуменюк, К.В., Марцинковський, І.П., Богуш, Г.Л., та Вердеш, В.Г. (2021). Результати хірургічного лікування вогнепальних поранень товстої кишки. *Харківська хірургічна школа*, 5-6(110-111), 52-56. doi: 10.37699/2308-7005.5-6.2021.11

46. Гречаник, О.І., Герасименко, О.С., Абдуллаєв, Р.Я., Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Негодуйко, В.В., Слесаренко, Д.О., Алексеева, Н.Б., та Сюдмак, М.С. (2021). Клініко-діагностичні аспекти вогнепальних поранень порожнистих органів живота (досвід АТО/ООС). *Харківська хірургічна школа*, 5-6(110-111), 71-81. doi: 10.37699/2308-7005.1.2022.13

Патенти

47. Михайлусов, Р.М., Хорошун, Е.М., Негодуйко, В.В., Великодний, О.М., Ковтун, К.В., Гуменюк, К.В., та Шипілов, С.А. (2021). Інструмент ендоскопічний магнітний для видалення сторонніх тіл. Патент на корисну модель № 149863 (UA). Заявлено 26.07.2021; Опубл. 08.12.2021. Бюл. № 49. 4 с.
48. Михайлусов, Р.М., Хорошун, Е.М., Негодуйко, В.В., Великодний, О.М., Ковтун, К.В., Гуменюк, К.В., Шипілов, С.А., Велігоцький, О.М., та Донцов І.В. (2021). Пристрій магнітний ендоскопічний для видалення сторонніх тіл. Патент на корисну модель № 149864 (UA). Заявлено 26.07.2021; Опубл. 08.12.2021. Бюл. №49. 4 с.
49. Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Кокорін, О.В., Куча, М.С., Михайлусов, Р.М., Макаров, В.В., Негодуйко, В.В., Перлін, С. І., Попова, О. М., Тіщенко, В.І., Шевцов, С.О., та Хорошун, Е.М. (2022). Балістичний імітатор товстої кишки. Патент на корисну модель №151027 (UA). Заявлено 26.01.2022; Опубл. 25.05.2022. Бюл. № 21. 4 с.
50. Гречаник, О. І., Абдуллаєв, Р.Я., Гур'єв, С.О., Гуменюк, К. В., Кулікова, Ф.Й., Казмірчук, А.П., Лурін, І.А., Савицький, В.Л., Заруцький, Я.Л., Король, С.О., та Гибало, Р.В. Спосіб оцінки тяжкості пошкодження та стану постраждалого з вогнепальним та вибуховим пораненням в умовах бойових дій для прогнозу виживання. Патент на корисну модель № (19)UA (11)143329 (13)U (51) МПК (2020.01) A61B 6/00. № u202000303; заявл. 20.01.2020; опубл. 27.07.2020. Бюл. № 14
51. Лурін, І.А., Гуменюк, К.В., Макаров, В.В., Негодуйко, В.В., Хорошун, Е.М., та Попова, О.М. (2024). Пристрій для захисту внутрішніх органів при евентрації. Патент на корисну модель № 156047 (UA). Заявлено 22.12.2023; Опубл. 01.05.2024. Бюл. №18. 4 с.