

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА СТОМАТОЛОГІЯ

УДК 616.716.8+617.52;617.51-001.4-018  
DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2024.4.4>

**А.Г. Гулюк,**

доктор медичних наук, професор,  
Державна установа «Інститут стоматології  
та щелепно-лицевої хірургії Національної академії  
медичних наук України»,  
вул. Рішельєвська, 11, м. Одеса, Україна, індекс 65026,  
[agulyuk53@gmail.com](mailto:agulyuk53@gmail.com)

**Д.М. Педченко,**

лікар стоматолог-хірург,  
очний аспірант кафедри хірургічної стоматології,  
Одеський національний медичний університет,  
пров. Валіховський, 2, м. Одеса, Україна, індекс 65082,  
[odarkalex@gmail.com](mailto:odarkalex@gmail.com)

**О.А. Макаренко,**

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,  
завідувачка кафедри фізіології людини та тварин,  
Одеський національний університет імені І.І. Мечнікова,  
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, індекс 65082,  
[flavan.ua@gmail.com](mailto:flavan.ua@gmail.com)

**І.В. Ходаков,**

науковий співробітник,  
Державна установа «Інститут стоматології  
та щелепно-лицевої хірургії Національної академії  
медичних наук України»,  
вул. Рішельєвська, 11, м. Одеса, Україна, індекс 65026

### НЕЙТРОФІЛЬНА ЕЛАСТАЗА ЯК ПОКАЗНИК СТУПЕНЮ ДЕСТРУКЦІЇ М'ЯКИХ ТКАНИН ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ТА НЕВОГНЕПАЛЬНИХ УРАЖЕННЯХ ЩЕЛЕПНО-ЛИЦЕВОЇ ДІЛЯНКИ В ЕКСПЕРИМЕНТІ

Встановлення кореляційного зв'язку між показниками активності нейтрофільної еластази та станом протеолітичної системи слизової оболонки порожнини рота щурів після вогнепальних та невогнепальних пораненнях був проведений експеримент на білих щурах лінії Вістар (самці, 7 місяців, маса 400-450 г), яких поділили на групи: інтактні – контроль; група тварин з невогнепальним модельованим переломом верхньої щелепи; група тварин з модельованим вогнепальним пораненням верхньої щелепи («Експериментальна модель вогнепальних пошкоджень щелеп у щурів» авторське право на твір № 119858). Тривалість експерименту склала 28 днів. Виміри показників у дослідних груп проводили у 4 етапи по 5 тварин з групи: через 7 днів; через 14 днів; через 21 день;

через 28 днів. Забір крові, виділяли слизову оболонку ротової порожнини, верхню щелепу, пульпу та головний мозок для проведення біохімічних досліджень. **Мета роботи.** В гомогенатах слизових оболонок порожнини рота тварин визначити рівень біохімічних маркерів запалення: активність еластази та вміст малонового діальдегіда. Визначити активність уреаз (показник мікробного обсіменіння), активність каталази (антиоксидантний фермент), активність кислоти фосфатази. Визначити кореляцію між активністю еластази та показниками стану слизової оболонки порожнини рота після перелому й вогнепального ушкодження. **Результати та їх обговорення.** 1. Вогнепальні та невогнепальні ураження щелепно-лицевої ділянки у щурів викликають розвиток запалення, деструкцію слизової оболонки порожнини рота та її контамінацію умовно-патогенними бактеріями, які більш виражені після вогнепальних поранень щелеп на усіх строках спостереження. 2. Пошкодження щелеп різного генезу призводять до спалаху перекисного окиснення ліпідів та пригнічення антиоксидантного захисту в слизовій оболонці порожнини рота тварин, які мали більш значніший характер після вогнепальних поранень. 3. Кореляційний зв'язок між активністю еластази та показниками деструкції у порожнині рота має значну силу при обох типах ушкоджень. За значеннями коефіцієнтів кореляції активність еластази корелює з вмістом малонового діальдегіду й активністю уреаз сильніше за вогнепальних ушкоджень щелепи, ніж після переломів щелепи.

**Ключові слова:** вогнепальні поранення, щелепно-лицева ділянка, експериментальне дослідження, біохімічні показники, еластаза.

**A.G. Gulyuk,**

Doctor of Medical Sciences, Professor,  
State Establishment "The Institute of Stomatology  
and Maxillo-Facial Surgery National Academy of Medical  
Science of Ukraine",  
11 Rishelievskaya street, Odesa, Ukraine, postal code 65026,  
[agulyuk53@gmail.com](mailto:agulyuk53@gmail.com)

**D.M. Pedchenko,**

Dentist-Surgeon, Postgraduate PhD student,  
Odessa National Medical University,  
2 Valikhovskiy Lane, Odesa, Ukraine, postal code 65082,  
[odarkalex@gmail.com](mailto:odarkalex@gmail.com)

**O.A. Makarenko,**

Doctor of Biological Sciences,  
Senior Researcher of the Department of Physiology, Human  
Health and Safety and of Natural Science Education,  
Odessa I.I. Mechnikov National University,  
2 Dvorianska street, Odesa, Ukraine, postal code 65082,  
[flavan.ua@gmail.com](mailto:flavan.ua@gmail.com)

**I.V. Khodakov,**

Research Associate State Establishment "The Institute of Stomatology and Maxillo-Facial Surgery National Academy of Medical Science of Ukraine", Risheliivska street 11, Odesa, Ukraine, postal code 65026

## NEUTROPHIL ELASTASE AS AN INDICATOR OF THE DEGREE OF SOFT TISSUE DESTRUCTION IN GUNSHOT AND NON-GUNSHOT INJURIES OF THE MAXILLOFACIAL REGION IN THE EXPERIMENT

*Establish a correlation between the activity of neutrophil elastase and the state of the proteolytic system of the oral mucosa in rats after gunshot and non-gunshot wounds, an experiment was conducted on white Wistar rats (males, 7 months old, weight 400–450 g), which were divided into the following groups: Intact control group; Group of animals with a non-gunshot modeled fracture of the maxilla; Group of animals with a modeled gunshot wound of the upper jaw ("Experimental model of gunshot injuries of the jaws in rats," copyright for the work No. 119858). The duration of the experiment was 28 days. Measurements of indicators in the experimental groups were carried out at four stages, with five animals per group: After 7 days; After 14 days; After 21 days; After 28 days. Blood was collected, and the oral mucosa, upper jaw, pulp, and brain were isolated for biochemical studies. **Purpose of the work.** In homogenates of the oral mucosa of animals, determine the level of biochemical markers of inflammation: elastase activity and Malon dialaldehyde content. Determine the activity of urease (an indicator of microbial contamination), catalase activity (an antioxidant enzyme), and acid phosphatase activity. To determine the correlation between elastase activity and indicators of the condition of the oral mucosa after a fracture and gunshot injury. **Results and their discussion.** 1. gunshot and non-hypnotic lesions of the jaw area in rats cause the development of inflammation, destruction of the oral mucosa and its contamination with opportunistic bacteria, which are more pronounced after gunshot wounds of the jaws at all follow-up periods. 2. damage to the jaws of various origins leads to an outbreak of lipid peroxidation and suppression of antioxidant protection in the oral mucosa of animals that were more significant after gunshot wounds. 3. The correlation between elastase activity and oral degradation rates is significant in both types of injuries. According to the values of correlation coefficients, elastase activity correlates with the content of Malon dialaldehyde and urease activity more strongly with gunshot injuries to the jaw than after jaw fractures. **Key words:** gunshot wounds, maxillofacial area, experimental study, biochemical parameters, elastase.*

**Актуальність теми.** До вогнепальних ушкоджень обличчя, незважаючи на анатомо-фізіологічні особливості щелепно-лицевої ділянки, належать деякі загальні положення теорії вогнепальної рани. Зона первинного травматичного некрозу утворюється внаслідок передачі енер-

гії снаряда, що раниць, тканинам з їхнім непрямим забиттям та струсом із великим діапазоном коливань патологічних змін. Основні патоморфологічні зміни в цій зоні – порушення мікроциркуляції з травматичним набряком. Вони можуть сприяти розвитку ранових інфекцій та вести до утворення вторинного некрозу тканин у стінці ранового каналу, що важливо передбачити для визначення адекватного обсягу первинної хірургічної обробки вогнепальної рани. З огляду на це зону бокового удару різні автори ділять на зони з більш-менш значними ушкодженнями. Сучасні автори говорять про зони з більшою або меншою тяжкістю порушень мікроциркуляції, яким надають важливого прогностичного значення у визначенні життєздатності тканин [10, 11, 12, 13]. Вищевказані особливості патогенезу та патоморфології вогнепальних ран мають суттєве значення для вироблення правильної хірургічної тактики її лікування [14]. Практичний досвід показує, що прямої залежності між виявленою в дослідницьких роботах протяжністю морфологічних та функціональних змін у тканинах та клінічно визначуваним об'ємом вторинного некрозу не існує. Водночас загально визначеними фактами вважаються мозаїчний характер зони вторинного некрозу, невизначеність істинних меж цієї зони під час ПХО, а отже, відсутність необхідності спроб її повного видалення, та, нарешті, виразна залежність репаративних процесів від тих умов, які створено в рані після її хірургічного опрацювання. Єдиною думкою є те, що запорукою успіху ПХО є саме повне висічення нежиттєздатних тканин. Практика, однак, показує, що в багатьох випадках радикальність під час ПХО важко досяжна через складність анатомічних структур у зоні поранення. Складною, але надзвичайно важливою є оцінка можливості перетворення ПХО рани на первинну реконструктивно-відновлювальну операцію, принципи якої багато в чому ще не визначені. Однак, є низка повідомлень про успішне застосування первинно-відновлювальних втручань, як компонента ПХО ран щелепно-лицевої ділянки [15, 16, 17], а також – з використанням мікрохірургічної техніки [18-21].

Таким чином, показники активності маркерів запалення, в першу чергу еластази, можуть бути використані, як діагностична ознака при плануванні терміну та обсягу хірургічно-відновних операцій та при профілактиці післяопераційних ускладнень.

**Метою дослідження** було встановлення кореляційного зв'язку між показниками активності нейтрофільної еластази та станом протеолітич-

ної системи слизовій оболонці порожнини рота щурів після вогнепальних та невогнепальних пораненнях в експерименті.

**Матеріали та методи дослідження.** Експериментальне дослідження було проведено на базі віварію ДУ «Інститут стоматології та щелепно-лицьової хірургії НАМН України» на 36 білих лабораторних щурах лінії “Wistar”, самцях, віком 7 місяців, масою 400-450 г. Усі тварини утримувались на повноцінному стандартному раціоні віварію ДУ «Інститут стоматології та щелепно-лицьової хірургії НАМН України» відповідно до «Керівних правил по утриманню тварин та догляду за ними»: Директива Ради ЄС від 24 листопада 1986 р. (86/609/ЄЕС) та Наказу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 249 від 01.03.2012 р. «Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах» [1].

Щоденно проводили спостереження за станом та поведінкою досліджуваних тварин. При проведенні досліджень з експериментальними тваринами керувалися «Правилами використання лабораторних експериментальних тварин» (2006, додаток 4) та Гельсінською декларацією про гуманне ставлення до тварин, а також відповідно з національними «Спільними етичними принципами експериментів на тваринах» (Україна, 2001), які узгоджуються з директивою Ради 2010/63EU Європейського парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року з захисту тварин, що використовують для наукових цілей (Council Directive 2010/63EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes) [2].

Комісією з біоетики Одеського національного медичного університету (протокол № 11 від 06.03.2023р.) було затверджено, що проведене наукове дослідження відповідає біоетичним вимогам, які висуваються до експериментальних робіт медико-біологічного напрямку.

Для проведення експерименту тварин розподілили на три групи:

- контрольна група – інтактні тварини (n=4);
- 1 група – тварини з механічним пошкодженням (перелом) верхньої щелепи зліва (n=16);
- 2 група – тварини з модельованим вогнепальним пошкодженням (прострілом) верхньої щелепи зліва (n=16).

Механічні пошкодження (переломи) на лабораторних щурах 1 групи завдавались щадно під тіопенталовим наркозом 20 мг/кг стандартними

кусачками Liston у ділянці верхньощелепної кістки зліва.

Модельовання вогнепальних пошкоджень на лабораторних щурах 2 групи проводили під тіопенталовим наркозом 20 мг/кг у ділянці верхньощелепної кістки зліва. Вогнепальне поранення здійснювалося за допомогою револьвера Stalker 3 (MOD.R1-F 4X9 3”) під патрон Флобера (Туреччина). Діаметр кулі 4мм, початкова швидкість виходу кулі 170 м/с. Постріл здійснювався під кутом 60-70° з відстані 15-20 см [3].

Нагляд за тваринами після проведеного експерименту залишали без змін, медикаментозна підтримуюча терапія не призначалася.

Виведення щурів з експерименту проводили у 4 етапи (по 4 тварини з кожній групи через 7, 14, 21 та 28 днів моделювання патології) шляхом тотального кровопускання із серця під тіопенталовим наркозом (40 мг/кг), що також виключає стрес та біль під час умертвіння.

Біохімічні дослідження були проведені на базі лабораторії біохімії ДУ «Інститут стоматології та щелепно-лицьової хірургії НАМН України». В гомогенатах слизових оболонок порожнини рота тварин визначали рівень біохімічних маркерів запалення: активність еластази за методом Visser et Blouf [5], вміст малонового діальдегіда за допомогою тіобарбітурової кислоти за методом Коробейникова Є.Н. [4], а також активність уреаз (показник мікробного обсіменіння) за допомогою реактиву Неслера, активність каталази (антиоксидантний фермент) за методом Гіріна С.В. [6], активність кислої фосфатази за методом Bessey-Lowry-Brock [7].

Вірогідність відмінностей між середніми значеннями обчислювали за t-критерієм Стьюдента [8]. Статистичну обробку проводили з використанням статистичного пакету MS Excel 2010.

**Результати дослідження та їх обговорення.** В таблиці 1 наведені результати аналізу активності еластази (найважливішого маркеру запалення нейтрофільного походження), показника деструкції тканин і мембран (кислої фосфатази) та маркеру мікробного обсіменіння (уреаз) в слизовій оболонці порожнини рота тварин після вогнепального ушкодження або перелому верхньої щелепи.

У слизовій оболонці порожнини рота щурів групи «перелом» на 7 та 14 дні травма призвела до збільшення активності еластази на 19,0 % та 17,2 %, відповідно. Також і активність кислої фосфатази (КФ) зросла на 12,1 % та 5,3 %. Рівень активності уреаз у тварин цієї групи підви-

Таблиця 1

**Активність еластази та маркерів деструкції слизової оболонки порожнини роту щурів у різні терміни після вогнепального ушкодження або перелому верхньої щелепи,  $M \pm m$ ,  $n=4$**

Доба	Активність еластази, мккат/кг		Активність кислій фосфатази, мккат/кг		Активність уреаз, мккат/кг	
	перелом	вогнепал	перелом	вогнепал	перелом	вогнепал
Інтактні	52,67 ± 3,12		19,68 ± 1,24		0,626 ± 0,024	
7	62,67± 2,45 <sup>a</sup>	80,89± 4,23 <sup>*a</sup>	22,06± 1,10	34,29± 1,27 <sup>*a</sup>	0,967± 0,039 <sup>a</sup>	1,257± 0,067 <sup>*a</sup>
14	61,73± 3,12	72,34± 3,12 <sup>*a</sup>	20,72± 1,20	28,96± 1,15 <sup>*ab</sup>	0,910± 0,045 <sup>a</sup>	1,080± 0,056 <sup>*a</sup>
21	57,17± 1,87	67,17± 2,76 <sup>*b</sup>	18,32± 1,12 <sup>b</sup>	23,62± 1,12 <sup>*abc</sup>	0,760± 0,034 <sup>abc</sup>	0,880± 0,038 <sup>*abc</sup>
28	50,48± 2,36 <sup>bc</sup>	64,13± 3,10 <sup>*b</sup>	17,26± 1,32 <sup>b</sup>	17,96± 1,34 <sup>bcd</sup>	0,750± 0,028 <sup>abc</sup>	0,849± 0,032 <sup>abc</sup>

Примітка: статистично значущі відмінності ( $p < 0,05$ ): *a* – від інтактних показників, *b* – від показників 7-ої доби після втручання, *c* – від показників 14-ої доби після втручання, *d* – від показників 21-ої доби після втручання, \* – статистично значуща відмінність від аналогічного показника після перелому нижньої щелепи.

щився у 1,5 рази (табл. 1). Активність еластази у слизовій оболонці порожнини роту щурів після вогнепальних поранень перевищувала показник в інтактній групі на 53,6 % через 7 днів та 37,3 % через 14 днів, що було вище ніж у групі «перелом» на 29,1 % та 17,4 %. Через 7 та 14 днів після вогнепальної травми верхньої щелепи щурів активність КФ була у 1,7 та 1,5 разів вище ніж у інтактних тварин, що було більш у 1,6 та 1,4 рази цього показника у слизовій оболонці ротової порожнини групи «перелом» (табл. 1). Значення маркеру обсіменіння, активності уреаз, достовірно були у 2 та 1,7 рази вище за рівень у інтактній та більш на 30 % та 18,7 % ( $p_1 < 0,02$ ) ніж у слизовій оболонці порожнини роту тварин після перелому щелепи на відповідних строках дослідження (табл. 1).

Через 21 та 28 днів після пошкоджень активність еластази та КФ та в слизовій оболонці порожнини роту тварин з переломом верхньої щелепи прийшли до норми, а активність уреаз була достовірно збільшеною на 21,4 % (табл. 1).

На останніх етапах досліджу, через 21 та 28 днів, у слизовій оболонці порожнини роту групи з вогнепальними пораненнями верхньої щелепи активність еластази достовірно перевищувала норму на 27,5 % та на 2,8 %, відповідно, що на 17,5 % та 27 % було більш ніж у слизовій оболонці порожнини роту щурів з переломом. Зберігалась тенденція до високих значень КФ на 21 день на 20,0 % порівняно з інтактними тваринами, що було достовірно вище на 28,9 % порівняно з показником у тварина з переломом щелепи. Нормалізація активності КФ у слизовій оболонці

порожнини роту щурів відбулася тільки на 28 день вогнепальної травми (табл. 1).

Активність уреаз в слизовій оболонці порожнини роту групи «вогнепали» через 21 і 28 днів достовірно перевищувала рівень у контрольній групі на 40,6 % та 35,6 %, відповідно. Зберігалась тенденція до підвищення активності уреаз на 15,8 % та 13,2 % в порівнянні з рівнем цього показника у групі «перелом» (табл. 1).

Результати табл. 1 свідчать про розвиток запалення, деструкцію слизової оболонки та її контамінацію умовно-патогенними бактеріями, які більш виражені після вогнепальних ушкоджень щелеп.

Показники, що відображають стан антиоксидантно-прооксидантної системи слизової оболонки порожнини рота щурів, наведені у табл. 2. Аналіз показав високий рівень малонового діальдегіду (МДА) у порожнині рота після перелому у 3,2 та 1,9 рази на 7 і 14 добу після травми. А маркер антиоксидантного захисту, активність каталази, на 7 та 14 дні досліджу в цій групі достовірно був нижчі за норму в 1,9 та 1,8 рази (табл. 2).

Вогнепальне ушкодження також викликали активацію перекисного окиснення ліпідів на тлі зниження антиоксидантного захисту у слизовій оболонці порожнини рота щурів. Рівень МДА на 7 і 14 добу був високим більш ніж у 2 рази за нормальним значенням. Крім того, вміст МДА у порівнянні з групою «перелом» через 7 днів достовірно був вище на 25,6 %, а через 14 днів – на 15,4 %. Це підтверджує більш значні патологічні зміни в антиоксидантно-прооксидантній системі слизової оболонки порожнини рота після вогне-

Таблиця 3

**Кореляція між активністю еластази та показниками стану слизової оболонки порожнини рота після перелому й вогнепального ушкодження верхньої щелепи щурів**

Показник	Активність еластази при ушкодженні щелепи	
	Вогнепальне	Перелом
Активність КФ	0,878	0,830
Активність каталази	-0,941	-0,930
Вміст МДА	0,926	0,846
Активність уреаз	0,990	0,866

Таблиця 2

**Показники стану антиоксидантно-прооксидантної системи слизової оболонки порожнини рота щурів у різні терміни після вогнепального ушкодження або перелому верхньої щелепи,  $M \pm m$ ,  $n=4$**

Доба	Активність каталази, мкат/кг		Вміст МДА, ммоль/кг	
	перелом	вогнепал	перелом	вогнепал
Інтактні	9,68 ± 0,42		8,01 ± 0,68	
7	5,05 ± 0,23 <sup>a</sup>	4,12 ± 0,24 <sup>*a</sup>	25,64 ± 1,45 <sup>a</sup>	19,07 ± 1,12 <sup>*a</sup>
14	5,45 ± 0,20 <sup>a</sup>	4,10 ± 0,32 <sup>*a</sup>	15,87 ± 0,93 <sup>ab</sup>	18,31 ± 0,98 <sup>a</sup>
21	6,99 ± 0,24 <sup>ab</sup>	5,69 ± 0,28 <sup>*abc</sup>	10,34 ± 0,76 <sup>bc</sup>	12,86 ± 0,84 <sup>abc</sup>
28	8,41 ± 0,56 <sup>bc</sup>	7,63 ± 0,36 <sup>abcd</sup>	8,97 ± 0,63 <sup>bc</sup>	9,63 ± 0,67 <sup>bcd</sup>

Примітка: як у таблиці 1.

пальних поранень. Активність каталази (маркеру антиоксидантного захисту) у слизовій оболонці порожнини рота на 7 та 14 дні після вогнепальної травми щелепи була достовірно нижчі за норму в 2,3 та 2,4 рази, відповідно, а також одночасно – на 18,4 % і 24,8 % нижчі ніж у слизовій оболонці порожнини рота групи «перелом», що свідчить про більш значне пригнічення антиоксидантного захисту в порожнині рота тварин після вогнепальних поранень.

Активність каталази у порожнині рота на 21 і 28 добу після перелому достовірно була нижчою за рівнем у інтактних тварин на 27,8 % та на 13,1 %. Спостерігалася тенденція до збільшення рівню МДА на 29,1 % та на 8,2 % (табл. 2).

Показник антиоксидантної системи активності каталази в слизовій оболонці порожнини рота щурів через 21 і 28 днів після вогнепального поранення зберігався на достовірно низькому рівні на 41,2 % та 21,2 % в порівнянні зі значенням у інтактній групі, що також було нижчі на 18,6 % ніж в групі з переломом на 21 день. На останньому етапі активність каталази у слизовій оболонці порожнини рота щурів з вогнепальним пораненням та переломом була однаковою (табл. 2).

Вміст МДА у слизовій оболонці порожнини рота щурів на 21 добу після вогнепального поранення достовірно перевищував на 60,5 % рівень у інтактних тварин і на 28 день – на 20,2 %. Порів-

няно з групою «перелом» зареєстровано тенденція до збільшення вмісту МДА через 21 день досліду на 24,4 % та на 7,4 % через 28 днів.

Отримані результати свідчать про більш інтенсивні процеси запалення, деструкції, бактеріальної контамінації, активації перекисного окиснення ліпідів на тлі зниження антиоксидантного захисту у слизовій оболонці порожнини рота щурів після вогнепальних поранень ніж після перелому щелепи. Нормалізація досліджуваних показників після перелому щелепи зареєстровано на 21-28 добу, а після вогнепального поранення на останньому етапі активність еластази, уреаз і каталази у слизовій оболонці порожнини рота щурів не відповідали нормальному рівню, тобто зберігалися ознаки запалення, мікробної

У таблиці 3 надано коефіцієнти кореляції  $r$  Пірсона, обчислені для середніх значень досліджуваних біохімічних показників у слизовій оболонці порожнини рота після всіх термінів втручання та без втручання. Встановлено, що кореляційний зв'язок між активністю еластази та іншими показниками має значну силу при обох типах ушкоджень. Також, за значеннями коефіцієнтів кореляції видно, що активність еластази корелює з вмістом МДА й активністю уреаз сильніше за вогнепальних ушкоджень щелепи, ніж за переломів.

Враховуючі більш високий ступінь деструкції та обсяг первинного та вторинного некрозу

при вогнепальних пораненнях щелепно-лицевої ділянки та імовірність розвитку гнійно-запальних ускладнень, визначення рівню нейтрофільної еластази дозволяє опосередковано визначати інтенсивність деструкції тканин, що формується у рані в післятравматичному періоді.

В загалі, нейтрофільна еластаза має широкий спектр дії щодо білків і гідролізує крім еластину протеоглікани, неспиральні кінцеві ділянки колагену I, II, III, IV типів. Участь еластази в деградації колагену більш значна, ніж колагенази, оскільки остання розщеплює лише один пептидний зв'язок в молекулі колагену, а еластаза має більш ширшу специфічність по відношенню до колагену і його фрагментів. Крім того, еластаза шляхом обмеженого протеолізу активує ряд матриксних протеїназ, що поетапно розщеплюють колаген. Таким чином, еластаза індукує патологічний гідроліз колагенових білків тканин, а визначення рівня її активності має діагностичне значення для встановлення ступеня активності пошкодження тканини при експериментальній патології (Макаренко О.А., 2011).

Таким чином, показники активності маркерів запалення, в першу чергу еластази, можуть бути використані, як діагностична ознака при плануванні терміну та обсягу хірургічно-відновних операцій та при профілактиці післяопераційних ускладнень. Виявлений нами тісний взаємозв'язок показників активності нейтрофільної еластази з рівнем активності маркерів деструкції і перекисного окислення ліпідів (кисла фосфатаза, каталаза, малоновий діальдегід, уреаз) передбачає можливість використання дослідження активності нейтрофільної еластази з метою виявлення інтенсивності запального процесу та деструкції уражених тканин. Особливої актуальності набуває визначення даного показника при плануванні відновно-реконструктивних оперативних втручань при вогнепальних пораненнях щелепно-лицевої ділянки з метою визначення протипоказів для їх виконання та дослідження динаміки раннього процесу.

**Висновки:** 1. Вогнепальні та невогнепальні ураження щелепно-лицевої ділянки у щурів викликають розвиток запалення, деструкцію слизової оболонки порожнини рота та її контамінацію умовно-патогенними бактеріями, які більш виражені після вогнепальних поранень щелеп на усіх строках спостереження.

2. Пошкодження щелеп різного генезу призводять до спалаху перекисного окиснення ліпідів та пригнічення антиоксидантного захисту в сли-

зовій оболонці порожнини рота тварин, які мали більш значніший характер після вогнепальних поранень.

3. Кореляційний зв'язок між активністю еластази та показниками деструкції у порожнині рота має значну силу при обох типах ушкоджень. За значеннями коефіцієнтів кореляції активність еластази корелює з вмістом малонового діальдегіду й активністю уреазы сильніше за вогнепальних ушкоджень щелепи, ніж після переломів щелепи.

### Література:

1. Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах : Наказ МОН, молоді та спорту України від 01.03.2012 № 249. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0416-12#Text> (дата звернення: 26.12.2024).
2. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes. *Off. J. Eur. Union*. 2010 276:33–79.
3. Гулюк А.Г. Експериментальна модель вогнепальних пошкоджень щелеп у щурів. Свідоцтво на авторське право № 119858 від.19.06.23 р.
4. Janero D.R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radic Biol Med*. 1990. № 9(6). P. 515-40. doi: 10.1016/0891-5849(90)90131-2.
5. Visser L., Blout E.R. The use of p-nitrophenyl N-tert-butylloxycarbonyl-L-alaninate as substrate for elastase. *Biochim Biophys Acta*. 1972. № 268(1). P. 257-60. doi: 10.1016/0005-2744(72)90223-9.
6. Hadwan M.H., Hussein M.J., Mohammed R.M., Hadwan A.M., Saad Al-Kawaz H., Al-Obaidy S.S.M., Al Talebi Z.A. An improved method for measuring catalase activity in biological samples. *Biol Methods Protoc*. 2024. № 9(1):bpa015. doi: 10.1093/biomet/bpa015.
7. Bessey O.A., Lowry O.H., Brock M.J. A method for the rapid determination of alkaline phosphates with five cubic millimeters of serum. *J Biol Chem*. 1946. № 164. P. 321-9. PMID: 20989492.
8. Гаркавий В.К., Ярова В.В. Математична статистика. Київ: ВД «Професіонал», 2004. 384 с.
9. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 448 с.
10. Stefanopoulos P.K., Piniadis D.E., Hadjigeorgiou G.F., Filippakis K.N. Wound ballistics 101: the mechanisms of soft tissue wounding by bullets. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2017. № 43(5). P. 579-586. doi: 10.1007/s00068-015-0581-1.
11. Yong Y.E. A systematic review on ricochet gunshot injuries. *Leg Med*. 2017. № 26. P. 45-51. doi: 10.1016/j.legalmed.2017.03.003.

12. Moriscot A., Miyabara E.H., Langeani B., Belli A., Egginton S., Bowen T.S. Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. *NPJ Regen Med*. 2021. № 6(1). P. 17. doi: 10.1038/s41536-021-00127-1.
13. Pircher R., Preiß D., Pollak S., Thierauf-Emberger A., Perdekamp M.G., Geisenberger D. The influence of the bullet shape on the width of abrasion collars and the size of gunshot entrance holes. *Int J Legal Med*. 2017. № 131(2). P. 441-445. doi: 10.1007/s00414-016-1501-6.
14. Abbara A., Rawson T.M., Karah N. et al. A summary and appraisal of existing evidence of antimicrobial resistance in the Syrian conflict. *Int J Infect Dis*. 2018. № 75. P. 26-33. doi:10.1016/j.ijid.2018.06.010.
15. CRASH-2 collaborators, Roberts I., Shakur H. et al. The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *Lancet*. 2011. № 377(9771). P. 1096-1101. doi:10.1016/S0140-6736(11)60278-X.
16. Собко І. В. Тактика damage control, surgery в лікуванні бойової хірургічної травми живота (аналіз джерел наукової інформації). *Український журнал військової медицини*. 2023. № 4(4). С. 33-44. DOI: 10.46847/ujmm.2023.4(4)-033
17. Хоменко І.П., Лурін І.А., Макаров В.В., Негодуйко В.В. та ін. Прогностичні погляди на оперативне втручання при вогнепальних ураженнях з дефектами м'яких тканин. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2017. № 4(70). С. 1925.
19. Лурін І.А., Хоменко І.П., Негодуйко В.В., Тертишний С.В. Комбінація мультимодального алгоритму та реконструктивно-відновлювальної дробини при лікуванні поранених з вогнепальними дефектами м'яких тканин. *Харківська хірургічна школа*. 2022. № 3. С. 52-5.
19. Harris T., Davenport R., Mak M., Brohi K. The Evolving Science of Trauma Resuscitation. *Emerg Med Clin North Am*. 2018. № 36(1). P. 85-106. doi:10.1016/j.emc.2017.08.009.
20. Макаренко О.А. Біохімічні механізми остеотропної дії флавоноїдів. автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.04 Одеса: Одеський національний університет ім. Мечнікова; 2011. 40 с.
21. Дужий І.Д., Олещенко Г.П., Гресько І.Я., Пак В.Я. Рівень нейтрофільної еластази як показання до хірургічного лікування туберкульозу легень. *Туберкульоз, легеневі хвороби, ВІЛ-інфекція*. 2022. № 1. С. 53-57. doi: 10.30978/ТВ-2022-1-53.
- for conducting experiments and experiments on animals by scientific institutions : Order of the Ministry of education and science, youth and sports of Ukraine No. 249 dated 01.03.2012. (date of Appeal: 26.12.2024)] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0416-12#> [in Ukrainian].
2. (2010). Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes. *Off. J. Eur. Union*, 276, 33–79.
3. Guljuk, AG. Eksperymental'na model' vognepal'nyh poshkodzhen' shhelep u shhuriv. Svidoctvo na avtors'ke pravo [Experimental model of gunshot jaw injuries in rats. Copyright Certificate No. 119858 dated 19.06.23]. [in Ukrainian].
4. Janero, D.R. (1990). Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radic Biol Med*, 9(6), 515-40. doi: 10.1016/0891-5849(90)90131-2.
5. Visser, L., & Blout, E.R. (1972). The use of p-nitrophenyl N-tert-butylxycarbonyl-L-alaninate as substrate for elastase. *Biochim Biophys Acta*, 268(1), 257-60. doi: 10.1016/0005-2744(72)90223-9.
6. Hadwan, M.H., Hussein, M.J., Mohammed, R.M., Hadwan, A.M., Saad Al-Kawaz, H., Al-Obaidy, S.S.M., & Al Talebi, Z.A. (2024). An improved method for measuring catalase activity in biological samples. *Biol Methods Protoc*, 9(1), bpa015. doi: 10.1093/biomethods/bpa015.
7. Bessey, O.A., Lowry, O.H., & Brock, M.J. (1946). A method for the rapid determination of alkaline phosphates with five cubic millimeters of serum. *J Biol Chem*, 164, 321-9. PMID: 20989492.
8. Garkavyj V.K., & Jarova V.V. (2004). *Matematychna statystyka [Mathematical statistics]*. Kyi'v: VD «Professional». [in Ukrainian].
9. Sen'о P.S. (2004). *Teorija jmovirnostej ta matematychna statystyka [Probability theory and Mathematical Statistics]*. Kyi'v: Centr navchal'noi' literatury. [in Ukrainian].
10. Stefanopoulos, P.K., Pinalidis, D.E., Hadjigeorgiou, G.F., & Filippakis, K.N. (2017). Wound ballistics 101: the mechanisms of soft tissue wounding by bullets. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 43(5), 579-586. doi: 10.1007/s00068-015-0581-1.
11. Yong, Y.E. (2017). A systematic review on ricochet gunshot injuries. *Leg Med*, 26, 45-51. doi: 10.1016/j.legalmed.2017.03.003.
12. Moriscot, A., Miyabara, E.H., Langeani, B., Belli, A., Egginton, S., & Bowen, T.S. (2021). Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. *NPJ Regen Med*, 6(1), 17. doi: 10.1038/s41536-021-00127-1.
13. Pircher, R., Preiß, D., Pollak, S. (2017). Thierauf-Emberger A., Perdekamp M.G., & Geisenberger D. The influence of the bullet shape on the width of abrasion collars and the size of gunshot entrance holes. *Int J Legal Med*, 131(2), 441-445. doi: 10.1007/s00414-016-1501-6.

## References:

1. Pro zatverdzhennja Porjadku provedennja naukovymy ustanovamy doslidiv, eksperymentiv na tvarynah : Nakaz MON, molodi ta sportu Ukrainy vid 01.03.2012 № 249. (data zvernennja: 26.12.2024) [On approval of the procedure

14. Abbara, A., Rawson, T.M., Karah, N. & et al. (2018). A summary and appraisal of existing evidence of antimicrobial resistance in the Syrian conflict. *Int J Infect Dis*, 75, 26-33. doi:10.1016/j.ijid.2018.06.010.
15. CRASH-2 collaborators, Roberts, I., Shakur, H. & et al. (2011). The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *Lancet*, 377(9771), 1096-1101.e11012. doi:10.1016/S0140-6736(11)60278-X.
16. Sobko, I. V. (2023). Taktyka damage control, surgery v likuvanni bojovoi' hirurgichnoi' travmy zhyvota (analiz dzherel naukovoi' informacii') [Tactics of damage control, surgery in the treatment of combat surgical trauma of the abdomen (analysis of sources of scientific information)]. *Ukrai'ns'kyj zhurnal vijs'kovoï' medycyny – Ukrainian Journal of Military Medicine*, 4(4), 33-44. DOI: 10.46847/ujmm.2023.4(4)-033. [in Ukrainian].
17. Homenko, I.P., Lurin, I.A., Makarov, V.V., Negodujko, V.V. & ta in. (2017). Prognostychni pogljady na operatyvne vtruchannja pry vognepal'nyh urazhennjah z defektamy m'jakyh tkanyn [Prognostic views on surgical intervention in gunshot lesions with soft tissue defects]. *Aktual'ni problemy transportnoi' medycyny – Actual problems of transport medicine*, 4(70), 1925. [in Ukrainian].
19. Lurin, I.A., Homenko, I.P., Negodujko, V.V., & Tertyshnyj, S.V. (2022). Kombinacija mul'tymodal'nogo alorytmu ta rekonstruktyvno-vidnovljuval'noi' drobnyy pry liku-vanni poranenyh z vognepal'nymy defektamy m'jakyh tkanyn [A combination of a multimodal algorithm and reconstructive pellets in the treatment of wounded people with soft tissue gunshot defects]. *Harkivs'ka hirurgichna shkola – Kharkiv surgical school*, 3, 52-5. [in Ukrainian].
19. Harris, T., Davenport, R., Ma,k M., & Brohi K. (2018). The Evolving Science of Trauma Resuscitation. *Emerg Med Clin North Am*, 36(1), 85-106. doi:10.1016/j.emc.2017.08.009.
20. Makarenko O.A. (2011). Biohimichni mehanizmy osteotropnoi' dii' flavonoi'div [Biochemical mechanisms of osteotropic action of flavonoids]. Extended abstract of Doctor's thesis. Odesa: Odes'kyj nacional'nyj universytet im. Mechnikova. [in Ukrainian].
21. Duzhyj I.D., Oleshhenko G.P., Gres'ko I.Ja., & Pak V.Ja. (2022). Riven' nejtrofil'noi' elastazy jak pokazannja do hirurgichnogo likuvannja tuberkul'ozu legen [Neutrophil elastase levels as indications for surgical treatment of pulmonary tuberculosis]. *Tuberkul'oz, legenevi hvoroby, VIL-infekcija – Tuberculosis, lung diseases, HIV infection*, 1, 53-57. doi: 10.30978/TB-2022-1-53. [in Ukrainian].