

Динаміка вмісту гострофазових білків та циркулюючих імунних комплексів за умов пластики м'яких тканин у процесі розвитку політравми

Мета роботи: з'ясувати динаміку вмісту гострофазових білків та циркулюючих імунних комплексів за умов пластики м'яких тканин у процесі розвитку політравми.

Матеріали і методи. В експериментах використали 199 статевозрілих білих щурів-самців лінії Вістар. В умовах тіопентал-натрієвого наркозу в окремих групах тварин моделювали політравму (поєднану черепно-мозкову і скелетну травми) та пластику м'яких тканин (ПМТ) (викроювали шкірний клапоть на ніжці розміром 4 на 8 см) (1 серія), яких виводили з експерименту через 14 діб. Контрольну групу 1 склали інтактні щури. В 2 серії у першій підгрупі щурам моделювали політравму, в другій підгрупі на тлі політравми виконували ПМТ через 1, 3, 7 та 14 діб посттравматичного періоду. Контрольну групу 2 склали тварини з політравмою 1 серії експериментів. Щурів виводили з дослідження в термін, що відповідав 14 доби після моделювання ПМТ та 15, 17, 21 та 28 добам із моменту моделювання політравми. Інтенсивність системної реакції організму на запалення оцінювали за вмістом у сироватці крові гострофазових білків: С-реактивного білка (СРБ) та церулоплазміну (ЦП), імунних реакцій – за вмістом циркулюючих імунних комплексів (ЦІК).

Результати. Встановлено, що моделювання політравми через 14 діб посттравматичного періоду супроводжувалося істотним посиленням системної запальної та імунної реакції, яку виявляли підвищенням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК. Вперше показано, що виконання лише ПМТ теж здатне викликати зростання цих показників, причому їх величина в умовах експерименту статистично не відрізнялася від результатів політравми. Після моделювання лише політравми показники досягали своєї максимальної величини через 14 діб посттравматичного періоду й поступово знижувалися до 28 доби, не досягаючи рівня інтактних щурів. Виконання ПМТ у різні терміни після моделювання політравми супроводжувалося значним зростанням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК, порівняно зі щурами, яким наносили лише політравму. Залежно від терміну виконання ПМТ у посттравматичному періоді, встановлено, що ПМТ, виконана через 1 добу після моделювання політравми, порівняно з контрольною групою, супроводжувалася максимальним накопиченням у сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК. Проведення ПМТ через 3 і 7 діб після політравми викликало менші порушення. Причому за умов ПМТ, виконаної через 7 діб посттравматичного періоду, відмічали найменше накопичення у крові досліджуваних показників. Водночас ПМТ, виконана через 14 діб після моделювання політравми – на піку посттравматичних порушень, супроводжувалася повторним зростанням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК.

Висновки. Пластика м'яких тканин здійснює значний вплив на формування системних реакцій організму на тлі політравми, який залежить від терміну виконання пластики шкіри у посттравматичному періоді й відкриває перспективи для оптимізації проведення ПМТ з урахуванням загальної резистентності організму, яка змінюється в динаміці травматичної хвороби.

Ключові слова: політравма; пластика м'яких тканин; запалення; імунні реакції.

Постановка проблеми й аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із важливих завдань лікування наслідків мінно-вибухової травми є підвищення ефективності пластичного заміщення дефектів м'яких тканин. Своєчасне закриття тканинного дефекту сприяє попередженню ускладнень та найкращому відновленню функцій ураженої ділянки [1]. Вибір методу реконструкції визначають вид втрачених тканин, площа та об'єм дефекту, місцевий стан навколишніх тканин [2]. Незважаючи на значний досвід хірургічного лікування поранених із рановими дефектами м'яких тканин, отриманий за час військових дій на Сході України, закриття дефекту тканин будь-якої локалізації продовжує залишатися складною проблемою реконструктивної пластичної хірургії [3].

Однією з причин зниження ефективності реконструктивних хірургічних втручань є тяжкість загального стану поранених і постраждалих. Як зазначають у роботах [4, 5], полісистемні ураження, викликані бойовою травмою, часто вуюють симптоматику локальних ушкоджень, що призводить до несвоєчасного їх хірургічного лікування та реабілітації, а сукупність ранніх і пізніх ускладнень основної травми зумовлює недооцінку стану ушкоджених м'яких тканин і погіршує якість приживлення трансплантата.

Тяжкість системних порушень за умов тяжкої травми залежить від інтенсивності розвитку системної реакції організму на запалення (СРЗ). Встановлено, що ініціатором СРЗ є молекули, асоційовані з ушкодженням, які виділяються безпосе-

редньо ураженими тканинами [6]. Внаслідок цього активується імунна система, в зону ураження мігрують нейтрофіли і макрофаги, які викликають локальне запалення і стають джерелом прозапальних цитокінів та активних форм кисню. Останні вмикають каскад реакцій вторинного ушкодження тканин як у зоні травми, так і далеко за її межами, й лежать в основі розвитку поліорганної дисфункції [7].

За цих умов посилюється синтез білків гострої фази, активуються чинники вродженого імунітету, які відіграють важливу роль у неспецифічному захисті при тяжкій травмі та тісно пов'язані з високим ризиком вторинних ускладнень [8, 9]. Однак дотепер немає даних про те, як пластика м'яких тканин (ПМТ), як додаткова хірургічна травма, впливає на прояви СРЗ та імунні реакції на тлі полісистемного ураження?

Мета роботи: з'ясувати динаміку вмісту гострофазових білків та циркулюючих імунних комплексів за умов пластики м'яких тканин у процесі розвитку політравми.

Матеріали і методи. Експерименти проведено на 199 статевозрілих білих щурах-самцях лінії Вістар масою 200–220 г. Моделювання травм виконували під тіопентало-натрієвим наркозом ($40 \text{ мг} \times \text{кг}^{-1}$). В 1 серії експериментів у дослідній групі 1 моделювали політравму шляхом поступового нанесення дозованого удару по черепу з енергією 0,375 Дж [10] та по лівому стегну з енергією 0,637 Дж [11]. За цих умов у дослідних щурів виникала закрыта черепно-мозкова травма середнього ступеня тяжкості та закритий перелом стегнової кістки. У дослідній групі 2 виконували ПМТ шляхом викроювання на спині щура шкірного клаптя на ніжці розміром 4 на 8 см [12]. Контрольну групу 1 склали інтактні щури, яких тільки вводили у наркоз. Евтаназію тварин 1 серії експериментів проводили через 14 діб посттравматичного періоду методом тотального кровопускання з серця. Для дослідження брали сироватку крові, в якій за допомогою напівавтоматичного біохімічного аналізатора Humalyzer-2000 (Німеччина) з використанням наборів реактивів фірми Humaп визначали вміст С-реактивного білка (СРБ), за допомогою спектрофотометра LabAnalyt SP-V1000 (Китай) визначали вміст церулоплазміну (ЦП) та циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) [13].

У 2 серії експериментів щурів поділили на дві підгрупи: перша – тварини з політравмою, яким через 1, 3, 7 та 14 діб посттравматичного періоду виконували ПМТ (відповідно дослідні групи 3, 4, 5 та 6). Щурів виводили з експерименту аналогічним способом через 14 діб після проведення пласт-

тики шкіри, що відповідало 15, 17, 21 та 28 добам з моменту моделювання політравми. У другій підгрупі моделювали лише політравму і виводили з експерименту в ці ж терміни посттравматичного періоду. Контрольною групою для обох підгруп були щури з політравмою, виведені через 14 діб посттравматичного періоду (контрольна група 2). У дослідних тварин цієї серії експериментів у сироватці крові визначали вміст СРБ, ЦП і ЦІК.

Усі експерименти виконано з дотриманням загальних етичних принципів експериментів на тваринах, ухвалених Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001) та узгоджених із положенням Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986), а також висновку комісії з питань біоетики Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України (протокол № 85 від 1 квітня 2026 р.).

Для статистичної обробки одержаних результатів застосовували програмний пакет Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США), серійний номер диска BXXR303F737429FA-8. Визначали медіану (Me), нижній і верхній квартилі (LQ, UQ), які представлені в таблицях. Вірогідність відмінностей оцінювали за непараметричним критерієм Манна – Уїтні.

Результати. Аналіз результатів дослідження показав, що моделювання політравми (дослідна група 1) через 14 діб посттравматичного періоду (табл. 1), порівняно з контрольною групою, супроводжувалося суттєвим зростанням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦІК та ЦП: відповідно на 49,4, 46,6 та 90,6 % ($p < 0,05$). Аналогічно і через 14 діб після моделювання ПМТ (дослідна група 2) досліджувані показники, порівняно з контрольною групою, виявилися статистично вірогідно більшими: вміст СРБ у сироватці крові – на 44,0 % ($p < 0,05$), ЦІК – на 36,2 % ($p < 0,05$), ЦП – на 81,2 % ($p < 0,05$). Порівнюючи вміст у сироватці крові СРБ, ЦІК та ЦП між дослідними групами, встановлено, що показники виявилися більшими за умов моделювання політравми (дослідна група 1), проте відмінності стосовно дослідної групи 2 були статистично не значущими ($p > 0,05$).

Після нанесення політравми через 15 діб посттравматичного періоду (табл. 2), порівняно з контрольною групою, не відмічали істотних змін вмісту СРБ у сироватці крові ($p > 0,05$). Через 17 діб експерименту показник знижувався і ставав на 11,2 % меншим, порівняно з результатом 15 доби ($p < 0,05$), та на 12,1 % – відносно контрольної групи ($p < 0,05$). Аналогічну тенденцію до зниження

Таблиця 1. Порівняльний вплив операції на м'яких тканинах і політравми на маркери запалення та імунних реакцій через 14 діб посттравматичного періоду ((Me (LQ;UQ)) – медіана (нижній і верхній квартилі))

Показник	Група		
	контрольна група 1 (n=7)	дослідна група 1. Політравма (n=7)	дослідна група 2. ПМТ (n=7)
СРБ, мг×л ⁻¹	1,82 1,70; 1,90	2,72* 2,69; 2,90	2,62* 2,52; 2,74
ЦІК, ум. од.	58,0 53,5; 67,0	85,0* 82,0; 90,0	79,0* 77,0; 82,5
ЦП, г×л ⁻¹	2,02 1,93; 2,17	3,85* 3,70; 3,91	3,66* 3,53; 3,78

Примітка. * – відмінності стосовно контрольної групи статистично вірогідні (p<0,05).

Таблиця 2. Вплив терміну операції на м'яких тканинах після моделювання політравми на вміст С-реактивного білка (мг×л⁻¹) у сироватці крові ((Me (LQ;UQ)) – медіана (нижній і верхній квартилі))

Показник	Контрольна група 2	Дослідна група			
		3	4	5	6
Підгрупа 1. Політравма	2,72 2,69; 2,90 (n=7)	2,69 2,65; 2,81 (n=10)	2,39* ³ 2,37; 2,51 (n=10)	2,24* ^{3,4} 2,21; 2,36 (n=8)	1,96* ^{3,4,5} 1,86; 2,20 (n=8)
Підгрупа 2. Політравма + ПМТ		3,91* 3,88; 4,07 (n=10)	3,19* ³ 3,13; 3,28 (n=10)	2,56 ^{3,4} 2,40; 2,66 (n=8)	2,88* ^{3,4,5} 2,73; 2,91 (n=8)
р		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Примітки: тут і в таблицях 3, 4:

1. * – відмінності стосовно групи з КСТ статистично вірогідні (p<0,05).

2. ^{3,4,5} – відмінності стосовно дослідних груп відповідно 3, 4 та 5 статистично вірогідні (p<0,05).

вмісту СРБ у сироватці крові в цій групі дослідних щурів спостерігали і до закінчення експерименту. Так, через 21 добу посттравматичного періоду на тлі політравми показник ставав меншим, порівняно з контрольною групою, на 17,6 % (p<0,05), через 28 діб – на 27,9 % (p<0,05). В цей термін показник також був статистично вірогідно нижчим порівняно з результатом усіх попередніх термінів спостереження (відповідно на 27,1, 18,0 та 12,5 %, p<0,05).

Проведення через 1 добу після моделювання політравми додаткової ПМТ (дослідна група 3), порівняно з контрольною групою, викликала статистично вірогідне збільшення вмісту СРБ у сироватці крові (на 43,8 %, p<0,05). Після ПМТ, виконаної через 3 доби посттравматичного періоду (дослідна група 4), показник, порівняно з контрольною групою, зріс лише на 17,3 % (p<0,05), що виявилось статистично вірогідно меншим відносно результатів дослідної групи 3 (на 18,4 %,

p<0,05). Після проведення ПМТ через 7 діб посттравматичного періоду (дослідна група 5) показник був суттєво меншим, порівняно з результатом дослідних груп 3 і 4 (відповідно на 34,5 та 19,7 %, p<0,05), та досягав рівня контрольної групи (p>0,05). Звертає на себе увагу той факт, що після ПМТ, виконаної через 14 діб після моделювання політравми (дослідна група 6), вміст СРБ у сироватці крові порівняно зростає, що виявилось на 12,5 % більшим відносно результатів дослідної групи 5 (p<0,05), проте залишалося суттєво меншим, ніж у дослідних групах 3 і 4 (відповідно на 26,3 та 9,7 %, p<0,05). Порівняно зі щурами, яким моделювали лише політравму, додаткове виконання ПМТ супроводжувалося статистично вірогідним збільшенням величини досліджуваного показника у всіх дослідних групах: відповідно на 45,3, 33,5, 14,3 та 36,9 %, p<0,05.

Аналіз вмісту ЦІК у сироватці крові під впливом лише політравми показав (табл. 3), що через

15 діб посттравматичного періоду показник, порівняно з контрольною групою, суттєво не змінювався ($p>0,05$). Через 17 діб показник знижувався і ставав на 12,1 % меншим відносно результатів 15 доби ($p<0,05$). Через 21 добу посттравматичного періоду показник ставав ще меншим. В цей термін показник на 13,5 % поступався контрольній групі ($p<0,05$). Через 28 діб посттравматичного періоду показник досягав свого мінімального рівня і ставав на 26,5 % меншим, ніж у контрольній групі ($p<0,05$), статистично значуще поступався результатам усіх попередніх термінів експерименту (відповідно на 31,3, 21,9 та 15,0 %, $p<0,05$).

Проведення ПМТ через 1 добу після моделювання політравми (дослідна група 3), порівняно з контрольною групою, супроводжувалося суттєвим збільшенням вмісту ЦІК у сироватці крові (на 20,0 %, $p<0,05$). Виконання ПМТ через 3 доби після моделювання політравми (дослідна група 4) викликало менше зростання показника. В цей термін показник перевищував показник контрольної групи на 17,1 % ($p<0,05$) й був на 11,2 % меншим порівняно з результатом дослідної групи 3 ($p<0,05$). Після проведення ПМТ через 7 діб услід за політравмою (дослідна група 5) показник досягав рівня контрольної групи ($p>0,05$) й поступався ре-

зультатам дослідних груп 3 і 4 відповідно на 23,2 та 13,6 % ($p<0,05$). Проведення ПМТ через 14 діб після політравми (дослідна група 6) не викликало суттєвих відмінностей вмісту ЦІК у сироватці крові порівняно з контрольною групою та дослідною групою 4 ($p>0,05$). Показник, порівняно з результатами дослідної групи 5, ставав статистично вірогідно більшим (на 9,9 %, $p<0,05$), проте продовжував бути меншим відносно дослідної групи 3 (на 15,6 %, $p<0,05$). Порівняно зі щурами, яким моделювали лише політравму на тлі поєднання політравми і ПМТ, виконаної у різні терміни посттравматичного періоду, вміст у сироватці крові ЦІК в усіх дослідних групах був статистично вірогідно більшим: відповідно на 23,1, 24,4, 17,0 та 51,2 % ($p<0,05$).

Результати аналізу порушень вмісту ЦП у сироватці крові показали, що за умов моделювання лише політравми (табл. 4) показник, порівняно з контрольною групою, через 15 діб посттравматичного періоду суттєво не змінювався ($p>0,05$). Через 17 діб експерименту показник ставав суттєво меншим відносно результату 15 доби (на 13,0 %, $p<0,05$), і на 11,4 % порівняно з контрольною групою ($p<0,05$). У подальшому показник продовжував знижуватися і через 21 добу

Таблиця 3. Вплив терміну операції на м'яких тканинах після моделювання політравми на вміст циркулюючих імунних комплексів у сироватці крові (ум. од.) ((Me (LQ;UQ)) – медіана (нижній і верхній квартилі)

Показник	Контрольна група 2	Дослідна група			
		3	4	5	6
Підгрупа 1. Політравма	85,0 82,0; 90,0 (n=7)	91,0 87,2; 94,0 (n=10)	80,0 ³ 76,5; 83,5 (n=10)	73,5 ^{*3} 72,0; 77,5 (n=10)	62,5 ^{*3,4,5} 60,0; 64,0 (n=10)
Підгрупа 2. Політравма + ПМТ		112,0* 105,0; 113,5 (n=10)	99,5 ^{*3} 91,3; 103,0 (n=10)	86,0 ^{3,4} 81,0; 87,3 (n=8)	94,5 ^{3,5} 89,5; 97,3 (n=8)
p		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Таблиця 4. Вплив терміну операції на м'яких тканинах після моделювання політравми на вміст церулоплазміну в сироватці крові (гхл⁻¹) ((Me (LQ;UQ)) – медіана (нижній і верхній квартилі)

Показник	Контрольна група 2	Дослідна група			
		3	4	5	6
Підгрупа 1. Політравма	3,85 3,70; 3,91 (n=7)	3,92 3,75; 4,10 (n=10)	3,41* ³ 3,23; 3,58 (n=10)	2,90* ^{3,4} 2,71; 3,12 (n=10)	2,62* ^{3,4} 2,45; 2,80 (n=10)
Підгрупа 2. Політравма + ПМТ		4,18* 4,06; 4,44 (n=10)	4,04* 4,01; 4,35 (n=10)	3,57* ^{3,4} 3,50; 3,61 (n=8)	3,90 ^{3,4,5} 3,64; 4,00 (n=8)
p		>0,05	<0,05	<0,05	<0,05

посттравматичного періоду ставав на 24,7 % меншим, ніж у контрольній групі ($p < 0,05$), через 28 діб – на 31,9 % ($p < 0,05$). В цей термін показник також поступався результатам 15 та 17 діб посттравматичного періоду (відповідно на 33,2 та 23,2 %, $p < 0,05$).

Додаткове моделювання ПМТ через 1 добу після політравми (дослідна група 1) викликало статистично значуще підвищення вмісту ЦП у сироватці крові (на 13,0 %, $p < 0,05$). На такому ж рівні показник залишався й після проведення ПМТ через 3 доби після політравми (дослідна група 4) ($p > 0,05$). Виконання ПМТ через 7 діб після політравми (дослідна група 5) викликало суттєво менше зростання вмісту ЦП у сироватці крові. В цей термін показник був на 7,3 % меншим, порівняно з контрольною групою ($p < 0,05$), на 14,6 % – відносно результатів дослідної групи 3 ($p < 0,05$) та на 11,6 % порівняно з результатом дослідної групи 4 ($p < 0,05$). Виконання ПМТ через 14 діб після політравми, навпаки, супроводжувалося статистично значущим зростанням показника порівняно з дослідною групою 5 (на 9,2 %, $p < 0,05$). У цей термін показник досягав рівня контрольної групи та дослідних груп 3 і 4 ($p > 0,05$). Порівняння вмісту ЦП сироватки крові дослідних груп, в яких моделювали політравму і ПМТ, та груп, в яких наносили лише політравму, показало, що у дослідних групах 4, 5 та 6 показник виявився статистично вірогідно більшим, ніж у групах порівняння (відповідно на 27,3, 23,1 та 48,8 %, $p < 0,05$).

Обговорення. Отримані результати свідчать про те, що моделювання політравми через 14 діб посттравматичного періоду супроводжується істотним посиленням системної запальної та імунної реакції, що виявляють підвищенням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК.

С-реактивний білок належить до білків гострої фази запалення, активно синтезується печінкою в посттравматичному періоді під впливом інтерлейкіну-6 [14]. Важливо зазначити, що вміст СРБ у сироватці крові корелює з тяжкістю патологічного процесу і належить до модуляторів усіх ланок імунних реакцій [15, 16]. Максимальний вміст СРБ відмічають у пацієнтів із високим ризиком вторинних ускладнень [17], що дозволяє його використовувати як маркер СРЗ [18].

До гострофазних білків належить і ЦП, який також інтенсивно утворюється в перші дні посттравматичного періоду та відіграє захисну роль як основний антиоксидант плазми крові завдяки пригніченню активності мієлопероксидази нейтрофілів і високій фероксидазній активності [19, 20].

Крім цього, реакція на запалення супроводжується активізацією імунної системи. Ендогенні антигени із зони ушкодження, взаємодіючи з комплементом та преципітуючими антитілами IgM, IgG1, IgG2 та IgG3, утворюють ЦІК, рівень яких у крові суттєво зростає, що є важливим проявом імунної відповіді організму [9].

У зв'язку з цим, зростання концентрації у сироватці крові СРБ, ЦП і ЦІК є закономірною реакцією на тяжку травму, що відмічають й інші автори [21, 22]. Однак ми вперше показали, що виконання лише ПМТ теж здатне викликати зростання цих показників, причому їх величина статистично не відрізняється від результатів політравми. Отже, ПМТ є суттєвим травмувальним чинником, який не може не позначитися на загальній резистентності організму, особливо в умовах супутніх ушкоджень.

Після моделювання лише політравми показники досягають своєї максимальної величини через 14 діб посттравматичного періоду й поступово знижуються до 28 доби експерименту, не досягаючи рівня інтактних щурів. Отож, реакція організму на запалення є тривалою в часі, що створює додаткові ризики вторинних уражень організму. Крім цього, тривале накопичення ЦІК у період пізніх проявів травматичної хвороби може додатково вказувати на порушення їх елімінації, що пов'язано зі сповільнення фагоцитарної активності лейкоцитів [23].

Виконання ПМТ у різні терміни після моделювання політравми супроводжується значним зростанням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК, порівняно зі щурами, яким наносили лише політравму. Можна припустити, що в даному випадку має місце ефект взаємного обтяження, що належить до закономірних реакцій при поєднаній травмі [11].

Залежно від терміну виконання ПМТ у посттравматичному періоді, з'ясували, що ПМТ, виконана через 1 добу після моделювання політравми, порівняно з контрольною групою, супроводжується максимальним накопиченням у сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК, що, очевидно, пов'язано з поглибленням шоку, пов'язаного з ушкодженням черепа, стегнової кістки та додатковим операційним втручанням на м'яких тканинах. Проведення ПМТ через 3 і 7 діб після політравми викликає менші порушення, причому ПМТ через 7 діб посттравматичного періоду супроводжується найменшим накопиченням у крові досліджуваних показників. Водночас ПМТ, виконана через 14 діб після моделювання політравми – на піку посттравматичних порушень, супроводжується повторним зростан-

ням вмісту в сироватці крові СРБ, ЦП та ЦІК. Виходячи з концепції «травматичної хвороби», яка охоплює всю сукупність патологічних і пристосувальних реакцій, що виникають в організмі після травми і характеризуються фазовістю перебігу з періодами загострення й стихання патологічного процесу [24], можна припустити, що виконання ПМТ через 7 діб після моделювання політравми відповідає періоду мобілізації саногенетичних механізмів, на тлі яких системна реакція на додаткове ушкодження менш виражена.

Таким чином, ПМТ здійснює значний вплив на формування системних реакцій організму на тлі політравми, який залежить від терміну виконання пластики шкіри у посттравматичному періоді й може відігравати важливу роль у патогенезі вторинного поліорганного ураження, що вимагає свого подальшого всебічного вивчення.

Висновки. 1. Моделювання ПМТ викликає посилення СРЗ та імунних реакцій, що через 14 діб посттравматичного періоду виявляють суттє-

вим зростанням у сироватці крові вмісту СРБ, ЦП та ЦІК.

2. Проведення ПМТ в різні терміни після моделювання політравми супроводжується збільшенням концентрації СРБ, ЦП і ЦІК, порівняно з аналогічними групами щурів, яким наносили лише політравму, з максимумом після виконання ПМТ через 1 і 14 діб посттравматичного періоду.

3. За умов ПМТ, виконаної через 7 діб після моделювання політравми, інтенсивність СРЗ та імунних реакцій найменша, що відкриває перспективи для оптимізації проведення ПМТ з урахуванням загальної резистентності організму, яка змінюється в динаміці травматичної хвороби.

Конфлікт інтересів. Автор декларує відсутність конфлікту інтересів.

Джерела фінансування. Власні кошти автора.

Внесок автора. Кучабський Степан – концептуалізація, дослідження, аналіз та інтерпретація, візуалізація, написання, редагування.

References

1. Abdelfattah U, Power HA, Song S, Min K, Suh HP, Hong JP. Algorithm for Free Perforator Flap Selection in Lower Extremity Reconstruction Based on 563 Cases. *Plast Reconstr Surg*. 2019; 144(5):1202-13. DOI: 10.1097/PRS.0000000000006167.
2. Franco MJ, Nicoson MC, Parikh RP, Tung TH. Lower Extremity Reconstruction with Free Gracilis Flaps. *J Reconstr Microsurg*. 2017; 33(3):218-24. DOI: 10.1055/s-0036-1597568.
3. Khomenko IP, Korol SO, Matviichuk BV. Klinichno-orhanizatsiini osoblyvosti nadannia travmatologichnoi dopomohy poranenyim iz defektamy miakyykh tkanyn pry vohnepalnykh ta minno-vybukhovyykh ushkodzhenniakh kintsivok [Clinical and organizational peculiarities of providing trauma care to the patients with soft tissue defects in gunshot and mine blast injuries of the limbs]. *Travma – Trauma*. 2018; 19(5):125-9. DOI: 10.22141/1608-1706.5.19.2018.146655. Ukrainian.
4. Mauffrey C, Hake ME, Chadayammuri V, Masquelet AC. Reconstruction of Long Bone Infections Using the Induced Membrane Technique: Tips and Tricks. *J Orthop Trauma*. 2016; 30(6):e188-93. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000500.
5. Mühlh usser J, Winkler J, Babst R, Beeres FJP. Infected tibia defect fractures treated with the Masquelet technique. *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96(20):e6948. DOI: 10.1097/MD.0000000000006948.
6. Singh B, Goyal A, Patel BC. C-Reactive Protein: Clinical Relevance and Interpretation. 2025. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441843>. (date of access 20.04.2026).
7. Liu Y, Yang P, Liu HC, Sun S, Zhang JL, Kang J. The Significance of The Detection of Serum Lactate Dehydrogenase, Hypersensitive C-Reactive Protein, and N-Terminal Pro-Brain Natriuretic Peptide for the Evaluation of the Severity and Progression of Pediatric Patients with Traumatic Brain Injury. *Curr Neurovasc Res*. 2022; 19(2):219-24. DOI: 10.2174/1567202619666220713110941.
8. L thje FL, Blirup-Plum SA, M ller NS, Heegaard PMH, Jensen HE, Kirketerp-M ller K, Gottlieb H, Skovgaard K, Jen-

- sen LK. The host response to bacterial bone infection involves a local upregulation of several acute phase proteins. *Immunobiology*. 2020; 225(3):151914. DOI: 10.1016/j.imbio.2020.151914.
9. Zyblyitsev SV, Pishchulina SV, Kolesnikova SV, Borys RN. Systemni efekty nespetsychnoyi zapal'noyi reaktsiyi pry cherepno-mozkoviy travmi [Systemic effects of unspecific inflammatory reaction at traumatic brain injury]. *Fiziologichnyy zhurnal – Physiological Journal*. 2015; 62(1):68-73. DOI: 10.15407/fz62.01.068. Ukrainian.
10. Sushko YI, Hudyma AA, Zachepa OA. Vplyv kranioskeletnoi travmy na proiavy tsytolitychnoho syndromu v umovakh kranioskeletnoi travmy shchuriv riznoho viku [Influence of craniocskelatal trauma on the manifestations of cytolytic Syndrome in conditions of craniocskelatal trauma in rats of different ages]. *Shpytalna khirurgiia. Zhurnal imeni L. Ya. Kovalchuka – Hospital Surgery. Journal named by L.Ya. Kovalchuk*. 2022; 3:54-62. DOI: 10.11603/2414-4533.2022.3.13393. Ukrainian.
11. Uhliar TYu, Badiuk MI, Hudyma AA et al. Osoblyvosti funktsionalnoho stanu pechinky za umov kranioskeletnoi travmy, poiednanoi z tupoiu travmoi zhyvota [Features of the liver's functional state under conditions of craniocskelatal injury combined with blunt abdominal trauma]. *Svit Medytsyny i Biolohii – World of Medicine and Biology*. 2023; 1:238-42. DOI: 10.26724/2079-8334-2023-1-83-238-242. Ukrainian.
12. Serin M, Bayramicli M. Experimental Rat Flap Models. In: Issues in Flap Surgery. *InTech*. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.69923.
13. Vlizlo VV. Laboratorni metody doslidzhennia u biolohii, tvarynnystvi i veterynarnii medytsyni [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. Lviv: Spolom. 2012. Ukrainian.
14. Olson ME, Hornick MG, Stefanski A, Albanna HR, Gjoni A, Hall GD, Hart PC, Rajab IM, Potempa LA. A biofunctional review of C-reactive protein (CRP) as a mediator of inflammatory and immune responses: differentiating pentameric and modified CRP

- isoform effects. *Front Immunol.* 2023; 14:1264383. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1264383.
15. Puthucherry Z, Tadié JM, Patel JJ. C-reactive protein in immunometabolism: spared from 'paying the piper'. *Intensive Care Med.* 2022; 48(1):103-05. DOI: 10.1007/s00134-021-06586-w.
16. Ullah N, Wu Y. Regulation of Conformational Changes in C-reactive Protein Alters its Bioactivity. *Cell Biochem Biophys.* 2022; 80(4):595-608. DOI: 10.1007/s12013-022-01089-x.
17. Levinson T, Wasserman A. C-Reactive Protein Velocity (CRPv) as a New Biomarker for the Early Detection of Acute Infection/Inflammation. *Int J Mol Sci.* 2022; 23(15):8100. DOI: 10.3390/ijms23158100.
18. Kauk O, Bondarenko Ya, Kulyk D. Prohnostychno znachennia zapalnykh biomarkeriv (CRP, IL-6, prokaltsytinin) u patsientiv z ishemichnym insultom v umovakh intensyvnoi terapii [Prognostic significance of inflammatory biomarkers (CRP, IL-6, procalcitonin) in patients with ischemic stroke in intensive care settings]. *Psykhiatriia, nevrolohiia ta medychna psykholohiia – Psychiatry, Neurology and Medical Psychology.* 2025; 12(3(29)):344-56. DOI: 10.26565/2312-5675-2025-29-05. Ukrainian.
19. Litovka IG, Zavgorodniy MO, Magomedov S et al. Bilky hostroi fazy yak biomarkery zapalennia za umov modeliuvannia termichnoi travmy [Acute phase proteins as biomarkers of inflammation in thermal injury]. *Fiziologichnyi zhurnal – Physiological Journal.* 2025; 71(3):67-72. DOI: 10.15407/fz71.03.067. Ukrainian.
20. Boiko O, Volkova Y. Dynamics C-reactive protein and ceruloplasmin in the blood of patients with combined thoracic trauma as a prognostic criterion of traumatic disease. *RS Global – World Science.* 2021; 1. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/30012021/7404.
21. Levchuk RD. Vplyv hostroi krovovtraty na dynamku imunnykh reaktsii za umov mekhanichnoi travmy riznoi lokalizatsii [The effect of acute blood loss on the dynamics of immune responses in conditions of mechanical trauma of various localization]. *Klinichna anesteziolohiia, intensyvna terapiia ta medytsyna nevidkladnykh staniv – Clinical Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Medicine.* 2026; 1:95-106. DOI: 10.32782/2411-9164.24.1-8. Ukrainian.
22. Levchuk RD. Dynamika vmistu tseruloplazminu v syrovattsi krovi za umov mekhanichnoi travmy riznoi lokalizatsii okremo ta v poiednanni z hostroiu vtratoi krovi [Dynamics of ceruloplasmin content in blood serum under conditions of mechanical trauma of various localization separately and in combination with acute blood loss]. *Shpytalna Khirurhiia. Zhurnal imeni L. Ya. Kovalchuka – Hospital Surgery. Journal named by L.Ya. Kovalchuk.* 2026; 1:154-60. DOI: 10.11603/2414-4533.2026.1.16102. Ukrainian.
23. Anand T, Reyes AA, Sjoquist MC, Magnotti L, Joseph B. Resuscitating the Endothelial Glycocalyx in Trauma and Hemorrhagic Shock. *Ann Surg Open.* 2023; 4(3):e298. DOI: 10.1097/AS9.0000000000000298.
24. Ziablitsev SV, Yelskyi VM. Syndromy travmatychnoi khvorooby pry cherepno-mozkovii travmi [Traumatic disease syndromes in traumatic brain injury]. Kramatorsk: Kashtan. 2020. Ukrainian.

Надійшла до редакції / Received for editorial office on: 22.04.2026
Прийнята після рецензування / Accepted after review on: 30.04.2026
Подана до друку / Submitted for printing on: 22.05.2026

Електронна адреса для листування: kuchabskyi_s@tdmu.edu.ua

Stepan Kuchabskyi

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine

Dynamics of acute-phase protein levels and circulating immune complexes during soft tissue reconstruction in the course of multiple trauma

The aim of the work: to determine the dynamics of acute-phase protein levels and circulating immune complexes in the context of soft tissue regeneration during the development of multiple trauma.

Materials and Methods. The experiments involved 199 mature male Wistar-line white rats. Under thiopental-sodium anesthesia, poly-trauma (combined traumatic brain and skeletal injury) and soft tissue reconstruction (STR) were simulated in separate groups of rats (a 4 × 8 cm skin flap was excised on the leg) (series 1), which were taken out of the experiment after 14 days. Intact rats served as controls. In Series 2, rats in the first subgroup underwent simulated multiple trauma, while in the second subgroup, STR was performed against a background of multiple trauma at 1, 3, 7, and 14 days of the post-traumatic period. Rats with polytrauma from the first series of experiments served as controls. Rats were taken out of the experiment at a time corresponding to 14 days after STR, which corresponded to 15, 17, 21, and 28 days from the time of polytrauma simulation. The intensity of the body's systemic inflammatory response was assessed based on serum levels of acute-phase proteins: C-reactive protein (CRP) and ceruloplasmin (CP); immune responses were assessed based on levels of circulating immune complexes (CIC).

Results. It was established that modeling of multiple trauma 14 days after post-traumatic period was accompanied by a significant increase in systemic inflammatory and immune responses, as evidenced by elevated serum levels of C-reactive protein (CRP), ceruloplasmin (CP), and circulated immune complexes (CIC). It was demonstrated for the first time that performing only STR is also sufficient to cause an increase in these parameters, and their values under experimental conditions did not differ statistically from the results of polytrauma.

Експериментальні дослідження

When only multiple trauma was simulated, the levels reached their maximum 14 days after the post-traumatic period and gradually decreased by the 28th day, without reaching the levels observed in uninjured rats. Performing STR at various time points after modeling polytrauma was accompanied by a significant increase in serum levels of CRP, CP, and CIC compared to rats that had only undergone polytrauma. Depending on the timing of STR administration during the post-traumatic period, it was found that STR performed 1 day after simulated multiple trauma was associated with the highest serum levels of CRP, CP, and CIC compared to the control group. Performing STR 3 and 7 days after polytrauma caused fewer disturbances. Moreover, under conditions of STR performed 7 days after the post-traumatic period, the lowest accumulation of the studied indicators in the blood was observed. At the same time, the STR, performed 14 days after the modeling of multiple trauma—at the peak of post-traumatic disorders—was accompanied by a repeated increase in serum levels of CRP, CP, and CIC.

Conclusions. Thus, soft tissue reconstruction has a significant impact on the development of systemic reactions in the body in the context of multiple trauma; this impact depends on the timing of skin reconstruction during the post-traumatic period and opens up prospects for optimizing soft tissue reconstruction procedures, taking into account the body's overall resistance, which changes as the traumatic condition progresses.

Key words: multiple trauma; soft tissue reconstruction; inflammation; immune responses.

Відомості про автора

Кучабський Степан – аспірант кафедри екстреної та симуляційної медицини закладу вищої освіти, Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, Тернопіль, Україна, e-mail: *kuchabskyi_s@tdmu.edu.ua*.

Information about the author

Kuchabskyi Stepan – Postgraduate PhD Student of the Department of Emergency and Simulation Medicine, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: *kuchabskyi_s@tdmu.edu.ua*.