Р. В. Янко[1], М. О. Завгородній[2], В. І. Портніченко[1]

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ РЕСПІРАТОРНОГО ВІДДІЛУ ЛЕГЕНЬ ЩУРІВ У ДИНАМІЦІ ПІСЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОПІКОВОЇ ТРАВМИ ЛЕГКОГО СТУПЕНЮ

[1] Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України
[2] Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ РЕСПІРАТОРНОГО ВІДДІЛУ ЛЕГЕНЬ ЩУРІВ У ДИНАМІЦІ ПІСЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОПІКОВОЇ ТРАВМИ ЛЕГКОГО СТУПЕНЮ

Р. В. Янко, М. О. Завгородній, В. І. Портніченко

Резюме

Мета роботи – дослідити динаміку структурних змін респіраторного відділу легень щурів після моделювання опікової травми легкого ступеня.

Матеріал і методи. Дослідження здійснено на 48 щурах-самцях лінії Wistar, віком 3-місяці. Щури розділили на 4 групи: I група — контроль; II, III та IV групи — щури, яким моделювали опікову травму та виводили з експерименту на 3, 9 і 14 добу відповідно. Опікову травму наносили анестезованим щурам на виголену ділянку шкіри в зоні лопатки шляхом прикладання скляної пробірки з пласким дном, що містила окріп. Площа опіку становила ≈1 % площі шкіри. Для гістоморфометричних досліджень відбирали зразки тканини легень, з яких виготовляли гістологічні препарати за стандартною методикою. Гістоморфометричний аналіз зразків тканини проводили на цифрових зображеннях мікропрепаратів.

Результати. Виявлено, що опікова травма призводить до структурних змін в респіраторному відділі легень, які свідчать про зниження їх функціональної активності, зменшення повітряності та процесів газообміну. Так, відмічали зниження площі альвеол, збільшення товщини міжальвеолярної перетинки, зростання відносної площі паренхіми і строми, зниження відносної площі повітряних просторів тощо. Структурні зміни чітко проявлялися вже на 3 добу після моделювання опіку, а інтенсивність їх була найвищою на 9 добу досліду.

Висновок. Отже, вплив опікової травми легкого ступеня має фазовий характер на структурні зміни респіраторного відділу легень. Найбільш інтенсивно негативні морфологічні зміни в легенях відбуваються на 9 добу після нанесення опіку. Це потрібно враховувати при лікуванні зниженої функції легень, викликаної від дії опіку шкіри.

Ключові слова: респіраторний відділ легень, опікова травма, гістоморфометрія, щури.

Укр. пульмонол. журнал. 2026;34(1):50–54.

Янко Роман Васильович
Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАНУ
Відділ клінічної фізіології сполучної тканини
Старший науковий співробітник
Канд. біол. наук, старший дослідник
м. Київ, вул. Богомольця, 4, 01024.
Тел. (044) 256-24-77, biolag@ukr.net
https://orcid.org/0000-0002-0397-7517

MONITORING OF STRUCTURAL CHANGES IN THE RESPIRATORY PART OF LUNG IN RATS FOLLOWING THE MODELING OF MILD BURN INJURY

R. V. Yanko, M. O. Zavhorodnii, V. I. Portnichenko

Abstract

The aim of the study was to investigate the dynamic structural changes in the respiratory part of lung in rats following the modeling a mild burn injury.

Material and methods. The study was carried out on 48 male Wistar rats, 3 months old. The rats were divided into 4 groups: Group I — control; Groups II, III and IV — rats in which we modeled burn injury and removed from the experiment on days 3, 9 and 14, respectively. Burn injury was inflicted on anesthetized rats on a shaved area of skin in the scapular area by applying a flat-bottomed glass tube containing boiling water. The burn area was ~1 % of the skin area. For histomorphometric studies, lung tissue samples were taken, from which histological preparations were made according to the standard method. Histomorphometric analysis of tissue samples was performed on digital images of micropreparations.

Results. It was found that burn injury led to structural changes in the respiratory part of the lung, which indicated a decrease in their functional activity, air inflation and gas exchange processes. A decrease of alveolar square, an increase in the thickness of alveolo-capillary membrane, an increase in the relative area of the parenchyma and lung interstitium, a decrease in the relative area of the air spaces were registered. Structural changes were clearly manifested already on the 3rd day after the burn modeling, and their intensity was highest on the 9th day of the experiment.

Conclusion. The effect of a mild burn injury was a phased process leading to structural changes of the respiratory part of the lung. The most intensive lesions in the lung occur on the 9th day after the burn. This should be considered when managing a reduced lung function caused by a skin burn.

Key words: respiratory part of the lung, burn injury, histomorphometry, rats.

Ukr. Pulmonol. J. 2026;34(1):50–54.

Yanko Roman Vasylovich
Bogomoletz Institute of Physiology of NAS of Ukraine
Department of Clinical Physiology of Connective Tissue
Senior research assistant, PhD
4, Bogomolets St., Kiev 01024, Ukraine. Tel.+380 (044) 256-24-77
e-mail: biolag@ukr.net
https://orcid.org/0000-0002-0397-7517

Вступ

Опікова травма шкіри (ОТШ) в Україні є поширеним видом ураження, зокрема кількість її суттєво зросла із початком повномасштабного вторгнення. Внаслідок чого до побутових травм додались травми, пов'язані із бойовими діями як серед військових, так і серед цивільних громадян [1, 2].

Для патогенезу ОТШ властивим є підвищення метаболізму і розвиток системного запалення та сепсису, що у свою чергу може спричинити пошкодження внутрішніх органів, зокрема легень [3]. Дослідження морфо-функціональних особливостей легень при ОТШ вказують на суттєві зміни структури даних органів, їх залежність від часу отримання опіку та окреслюють зворотність цих змін [4]. Варто зауважити, що дослідження впливу ОТШ відображені у численних роботах, які переважно присвячені опікам середнього та важкого ступеню [5–8]. В той час як вплив опіку легкого ступеню (який є найбільш поширеним) на морфо-функціональний стан легень випускається із уваги дослідників. Крім того, не повністю вивчені морфологічні зміни легень у різний проміжок часу після отримання ОТШ. Адже характер структурних змін легень та їх динаміка залежить, насамперед, від ступеня ураження шкіри.

www.search.crossref.org
DOI: 10.31215/2306-4927-2025-34-1-50-54

З'ясування особливостей змін морфології легень може сприяти кращому прогнозуванню перебігу опікової травми та знизити ризики розвитку пульмональної дисфункції.

Тому, *метою* нашого дослідження було дослідити динаміку структурних змін респіраторного відділу легень щурів після моделювання опікової травми шкіри легкого ступеня.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проведено на 48 щурах-самцях лінії Wistar, віком 3 місяці та масою (290 ± 20) г. Щури всіх груп перебували на стандартних умовах утримання. Роботу з щурами проводили з дотриманням міжнародних принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, а також згідно з Комітетом біомедичної експертизи Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця НАНУ (протокол № 3-23 від 11.01.2023).

Щурів розподілили на 4 групи: I група – контроль; II, III та IV групи – щури, яким моделювали ОТШ та виводили з експерименту на 3, 9 і 14 добу відповідно для того щоб дослідити динаміку регенеративних процесів шкіри та структурних змін у респіраторному відділі легень (РВЛ).

Опікову травму наносили анестезованим щурам на виголену ділянку шкіри в зоні лопатки шляхом прикладання на 15 с нагрітої до 100° С пробірки із пласким дном, заповненої окропом. Пробірка містила вантаж і мала загальну вагу 140 г. Це створювало рівномірний тиск пробірки на шкіру в місці контакту і викликало опік ступеня IIIa. Площа опіку шкіри була 2,54 см^2, що становило ~1 % поверхні шкіри тварини. Анестезію здійснювали внутрішньоочеревинним введенням суміші кетамін/ксилазин (0,1 мл / 100 г маси тіла щура). Швидкість загоєння опікової рани визначали від початку відшаровування первинного струпу до його повного відпадіння [9].

Стан РВЛ оцінювали за допомогою морфологічних та гістоморфометричних методів дослідження. Для гістоморфометричних досліджень рандомно відбирали зразки тканини легень з яких виготовляли гістологічні препарати за стандартною методикою [10]. Забарвлення здійснювали за методом Ван-Гізона. Мікрофотознімки виготовляли на мікроскопі «NikonEclipse E100» (Японія) та камери «Levenhuk» (США). Морфометрію проводили за допомогою комп'ютерної програми «Image J» [11].

На гістологічних зрізах легеневої тканини вимірювали: площу просвіту альвеол, їх глибину та ширину входу в них, товщину міжальвеолярної перетинки, діаметр просвіту респіраторних бронхіол, альвеолярних ходів та мішечків. За допомогою накладення морфометричних сіток вимірювали відносну площу паренхіми і строми, повітряного простору та визначили їх співвідношення [12].

Усі показники були перевірені на нормальний розподіл за допомогою тестів Колмогорова-Смірнова та Ліллієфорса. За умови нормального розподілення кількісні дані представлені як середнє арифметичне значення та стандартна похибка середнього значення (M ± m). Однорідність дисперсії досліджували за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Різниці вважалися вірогідними при $p < 0,05$. Усі статистичні розрахунки виконували за допомогою програмного забезпечення GraphPad Prism 8.

Результати та їх обговорення

Виявлено, що опікова рана у щурів на 3 добу після її моделювання мала вигляд чітко сформованого струпу овальної форми. На 9 добу експерименту первинний струп мав ознаки відшарування у 30 % щурів. На кінець досліду (14 доба) спостерігали повне відпадіння струпу в 39 % тварин.

Відмічено, що на 3 і 14 добу, після нанесення ОТШ, маса легень та легеневий індекс були на рівні контрольних значень. Тоді як на 9 добу досліду маса легень та легеневий індекс були вірогідно меншими від контролю на 21 і 24 % відповідно (табл. 1).

Таблиця 1

Маса тіла, легень та легеневий індекс (M ± m, n = 12)

Показники	Контроль	Опік 3 доби	Опік 9 діб	Опік 14 діб
Маса тіла, г	300 ± 4	270 ± 3	289 ± 5	311 ± 7
Маса легень, г	1,55 ± 0,02	1,53 ± 0,03	1,22 ± 0,02*	1,56 ± 0,02
Легеневий індекс	0,0052 ± 0,0002	0,0057 ± 0,0003	0,0042 ± 0,0002	0,0050 ± 0,0004

Примітка: * — $p < 0,05$ — вірогідність змін відносно контрольної групи.

Таблиця 2

Морфометричні показники респіраторного відділу легень (M ± m, n = 12)

Показники	Контроль	Опік 3 доби	Опік 9 діб	Опік 14 діб
Середній діаметр просвіту альвеоли, мкм	24,0 ± 0,5	22,7 ± 0,6	19,0 ± 0,3*	23,0 ± 0,9
Площа поперечного перерізу альвеоли, мкм^2	740,0 ± 22,2	587,6 ± 28,8*	410,0 ± 10,1*	619,5 ± 16,8*
Глибина альвеоли, мкм	22,6 ± 0,6	20,2 ± 0,7	17,9 ± 0,8*	21,0 ± 0,5
Ширина входу в альвеолу, мкм	12,9 ± 0,4	10,9 ± 0,2*	10,4 ± 0,4*	10,9 ± 0,3*
Ширина просвіту РБ, АХ та АМ, мкм	63,1 ± 2,9	63,9 ± 1,3	55,6 ± 2,5	59,9 ± 2,7
Товщина міжальвеолярної перетинки, мкм	3,39 ± 0,16	4,58 ± 0,18*	4,65 ± 0,26*	3,91 ± 0,20
Відношення ширини входу в альвеолу до її глибини	0,57 ± 0,01	0,54 ± 0,01	0,58 ± 0,03	0,52 ± 0,02
Відношення діаметру РБ, АХ та АМ до подвійної глибини альвеоли	1,40 ± 0,08	1,58 ± 0,06	1,55 ± 0,09	1,43 ± 0,05

Примітка: * — $p < 0,05$ — вірогідність змін відносно контрольної групи.

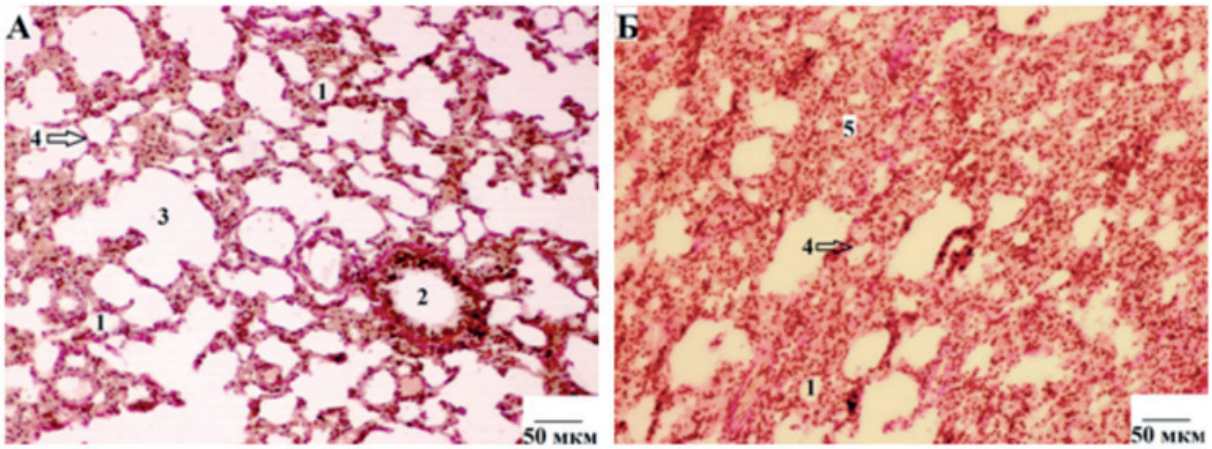

Рис. 1. Мікрофотографія легенів контрольного щура (А) та щура після нанесення опікової травми на 9 добу (Б). Забарвлення за Ван-Гізоном. ˣ200.

Примітка: 1 — альвеола; 2 — респіраторна бронхіола; 3 — альвеолярний мішечок; 4 — міжальвеолярна перетинка; 5 — набряк легеневої тканини.

Відомо, що гістоархітектоніка РВЛ, чи дихальної зони легень, представлена альвеолярним деревом, стінка якого містить альвеоли. Його структурно-функціональною одиницею є легеневий ацинус, який є місцем розгалуження однієї термінальної бронхіоли та складається з респіраторних бронхіол, альвеолярних ходів та мішечків [13]. Нами виявлено структурні зміни в РВЛ щурів, яким моделювали ОТШ. Гістоморфометричні зміни в легенях відмічали вже на 3 добу після нанесення опіку. Так, було виявлено вірогідно меншу площу поперечного перерізу альвеол на 21 %, ширину входу в них на 16 %, тенденцію до зниження глибини альвеол на 11 % порівняно з контролем. Товщина міжальвеолярної перетинки у цих щурів була вірогідно більшою на 35 % (табл. 2).

На 9 добу досліду гістоморфометричні зміни в РВЛ досягали свого максимуму. Так, відмічено вірогідно менші діаметр та площу альвеол на 21 і 45 % відповідно, меншу глибину альвеол (на 21 %) та ширину входу в них (на 19 %). Ширина просвіту респіраторних бронхіол, альвеолярних ходів та мішечків була меншою від контрольних значень на 12 %. Товщина міжальвеолярної перетинки була вірогідно більшою на 37 % (табл. 2; рис. 1).

На 14 добу, після моделювання ОТШ гістоморфометричні зміни в РВЛ були менш вираженими, порівняно з попередньою добою. Так, виявлено меншу площу альвеол та ширину входу в них на 16 % ($p < 0,05$), а також більшу товщину міжальвеолярної перетинки на 15 % (табл. 2).

Відомо, що при опіках виникає оксидативний стрес і підвищується рівень перекисного окиснення ліпідів [14]. Це може викликати інактивацію сурфактанта легень, що, в свою чергу, призводить до зменшення розміру альвеол і, інколи, розвитку ателектазів [15].

Також нами відмічені зміни у відносній площі паренхіми і строми, площі повітряних просторів та їх співвідношенні. Так, на 3, 9 і 14 добу після опіку виявлено вірогідне зростання відносної площі паренхіми і строми на 31, 49 і 22 % відповідно, порівняно з контролем. Тоді як відносна площа повітряних просторів, навпаки – була вірогідно меншою на 21 % (3 доба), 34 % (9 доба) та 15 % (14 доба). Співвідношення відносної площі паренхіми і строми до площі повітряних просторів було вірогідно більшим ніж у контролі на 67, 126 і 46 % після моделювання ОТШ на 3, 9 і 14 добу відповідно (рис. 2).

Отже, у щурів з легким опіком шкіри відбуваються негативні структурні зміни в РВЛ, які призводять до зниження його активності, повітряності та газообміну. Ці

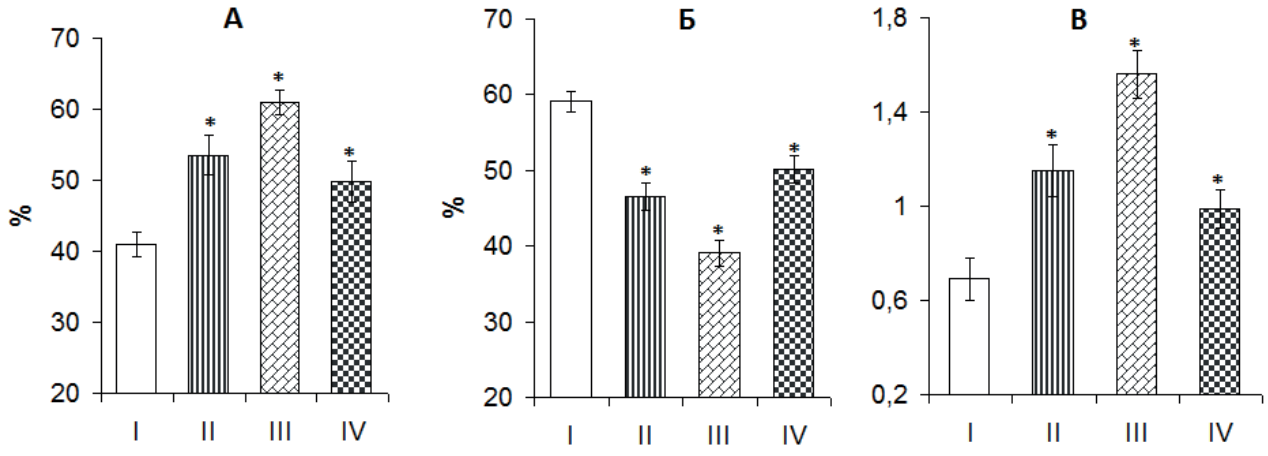

Рис. 2. Відносна площа паренхіми і строми (А), площа повітряних просторів (Б) та їх співвідношення (В).

Примітка: I група– контроль; II, III та IV групи – щури, яким моделювали опікову травму шкіри та виводили з експерименту на 3, 9 і 14 добу відповідно; * — $p < 0,05$ — вірогідність змін відносно контрольної групи

зміни проявляються вже на 3 добу після нанесення опіку, досягають максимуму на 9 добу. На 14 добу експерименту досліджувані морфометричні показники поступово наближаються до контрольних значень, хоча повного відновлення структури легень ще не відбувається. Розвиток суттєвих змін в структурі легеневої тканини може вказувати на розвиток системного запалення, попри малу площу ОТШ.

Відомо, що на отримані результати має суттєвий вплив: площа ураження шкіри, глибина опіку, матеріал (вода, скло, метал) та його температура при нанесенні опіку, вік тварин тощо. Активно вивчались структурні зміни легень при впливу ОТШ важкої та середньої тяжкості. Так, Khair S. та співавт. дослідили, що при середньому ступені опіку (12–15 % ураження площі поверхні тіла) в легенях мишей розвивається набряк, застій крові, підвищується рівень прозапальних цитокінів (IL-6, CXCL1) та активуються антимікробні пептиди у легеневому епітелії, що свідчить про гостру запальну реакцію [16]. В іншій роботі Lykhatskyi та співавт. моделювали ОТШ (20 % поверхні тіла) розпеченою до 100 ˚С металевою пластиною (при експозиції 10–15 с), де було показано, що на ранніх термінах (1–7 доба) після термічного ураження шкіри відбувається реорганізація структурних компонентів легень з ознаками адаптивного та компенсаторного характеру, а також деструктивні зміни: зросла площа бронхів, лімфоїдної тканини, зменшився відсоток незміненої легеневої тканини. На пізніх термінах експерименту (14–21 доба) відбувалися запальні та склеротичні зміни в структурі РВЛ, розвивався ателектаз та емфізема [4]. Також була досліджена дихальна функція легень на пацієнтах через різні проміжки часу після ОТШ, де були виявлені зміни функціональних показників (життєва ємність легень, резервний дихальний об’єм тощо) навіть через роки від епізодів ураження [17].

Ми вважаємо перспективним подальші дослідження змін функціонального стану легень, та виявлення кореляцій залежно від часу загоєння опікової рани, що і плануємо втілити у наших майбутніх роботах.

Висновки

1. Опікова травма шкіри легкого ступеню (біля 1 % ураження шкіри) призводить до структурних змін в респіраторному відділі легень, які свідчать про пригнічення його функціональної активності, зниження повітряності та процесів газообміну.

2. Структурні зміни в легенях проявляються вже на 3 добу після моделювання опікової травми та досягають свого піку на 9 добу експерименту.

3. Отримані дані корисні для практичної медицини при лікуванні порушень функцій легень, викликані негативною дією опіку шкіри.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dabek RJ, Decik M, Driscoll DN, et al. Global Burn Prevention: Ukraine. J Burn Care Res. 2023;44(6):1323–1326. doi: 10.1093/jbcr/irad124.
2. Салайда ІМ. Методологічні підходи до надання медичної допомоги військовикам із бойовою опіковою травмою. Здобутки клінічної і експериментальної медицини. 2024; 60(4):190–196. doi: 10.11603/1811-2471.2024.v.i2.14733.
3. Burmeister DM, McIntyre MK, Baker BA, et al. Impact of isolated burns on major organs. Shock. 2016;46(3S):137–147. doi: 10.1097/SHK.0000000000000662.
4. Lykhatskyi PH, Ohinska NV, Getmanyuk IB, et al. Morphometric analysis of lungs parameters under conditions of simulated burn injury. Reports of Morphology. 2023;29(1):34–38. doi: 10.31393/morphology-journal-2023-29(1)-05.
5. Abdullahi A, Rehou S, et al. Pathophysiological response to burn injury in adults. Annals of Surgery. 2018;267(3):576–584. doi: 10.1097/SLA.0000000000002097.
6. Bergquist M, Hästbacka J, Glaumann C, et al. The time-course of the inflammatory response to major burn injury and its relation to organ failure and outcome. Burns. 2019;45(2):354–363. doi: 10.26574/maedica.2024.19.2.247.
7. Bordeanu-Diaconescu EM, Grosu-Bularda A, Frunza A, et al. The Impact of Burns Involving Over 50% of Total Body Surface Area – a Six-Year Retrospective Study. Maedica (Bucur). 2024;19(2):247–254. doi: 10.26574/maedica.2024.19.2.247.
8. Ogura A, Tsurumi A, Que YA, et al. Associations between clinical characteristics and the development of multiple organ failure after severe burns in adult patients. Burns. 2019;45(8):1775–1782. doi: 10.1016/j.burns.2019.02.014.
9. Літовка ІГ, Завгородній МО, Магомедов С, та ін. Білки гострої фази як біомаркери запалення за умов моделювання термічної травми. Фізіол. журн. 2025;71(3):67–72. doi: 10.15407/fz71.03.067.
10. Suvarna KS, Layton C, Bancroft JD. Bancroft’s theory and practice of histological techniques. Elsevier. 2019. doi: 10.1016/C2015-0-00143-5.
11. Yanko R, Chaka E, Levashov M. Effect of methionine on the lungs respiratory part in rats of different ages. Pol. J. Natural. Sc. 2021;36(4):447–456.
12. Янко РВ. Гісто-морфологічні зміни тканини легень дорослих щурів після впливу різних видів аліментарної депривації. Український пульмонологічний журнал. 2023;1:72–75. doi: 10.31215/2306-4927-2023-31-1-72-75.
13. Horalskyi LP, Ragulya MR, Glukhova NM, et al. Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2022;13(1):53–59. doi:10.15421/022207.
14. Portnichenko V, Yanko R, Tsapenko P, et al. Metabolism and respiration in skin burn injury in rats: Corrective effects of melatonin. Respir Physiol Neurobiol. 2025;341:104531. doi: 10.1016/j.resp.2025.104531.
15. Al-Saiedy M, Pratt R, Lai P, et al. Dysfunction of pulmonary surfactant mediated by phospholipid oxidation is cholesterol-dependent. Biochim Biophys Acta Gen Subj. 2018;1862(4):1040–1049. doi: 10.1016/j.bbagen.2018.01.008.
16. Khair S, Najarro KM, Walrath TM, et al. Post-burn lung inflammation is associated with induction of pulmonary cathelicidin-related antimicrobial peptide and S100a8 in mice. Burn Care Res. 2025;46(4):917–926. doi: 10.1093/jbcr/iraf069.

REFERENCES

1. Dabek RJ, Decik M, Driscoll DN, et al. Global Burn Prevention: Ukraine. J Burn Care Res. 2023;44(6):1323–1326. doi: 10.1093/jbcr/irad124.
2. Salayda IM. *Metodolohichni pidkhody do nadannya medychnoyi dopomohy viys□kovykam iz boyovoyu opikovoyu travmoyu* (Methodological approaches to providing medical care to soldiers with combat burn injuries). *Zdobutky klinichnoyi i eksperymental□noyi medytsyny*. 2024;60(4):190–196. doi: 10.11603/1811-2471.2024.v.i2.14733.
3. Burmeister DM, McIntyre MK, Baker BA, et al. Impact of isolated burns on major organs. Shock. 2016;46(3S):137–147. doi: 10.1097/SHK.0000000000000662.
4. Lykhatskyi PH, Ohinska NV, Getmanyuk IB, et al. Morphometric analysis of lungs parameters under conditions of simulated burn injury. Reports of Morphology. 2023;29(1):34–38. doi: 10.31393/morphology-journal-2023-29(1)-05.
5. Stanojcic M, Abdullahi A, Rehou S, et al. Pathophysiological response to burn injury in adults. Annals of Surgery. 2018;267(3):576–584. doi: 10.1097/SLA.0000000000002097.
6. Bergquist M, Hästbacka J, Glaumann C, et al. The time-course of the inflammatory response to major burn injury and its relation to organ failure and outcome. Burns. 2019;45(2):354–363. doi: 10.26574/maedica.2024.19.2.247.
7. Bordeanu-Diaconescu EM, Grosu-Bularda A, Frunza A, et al. The Impact of Burns Involving Over 50% of Total Body Surface Area – a Six-Year Retrospective Study. Maedica (Bucur). 2024;19(2):247–254. doi: 10.26574/maedica.2024.19.2.247.
8. Ogura A, Tsurumi A, Que YA, et al. Associations between clinical characteristics and the development of multiple organ failure after severe burns in adult patients. Burns. 2019;45(8):1775–1782. doi: 10.1016/j.burns.2019.02.014.
9. Litovka IG, Zavgorodniy MO, Magomedov S, et al. *Bilky hostroyi fazy yak biomarkery zapalennya za umov modelyuvannya termichnoyi travmy.* (Acute phase proteins as biomarkers of inflammation under conditions of thermal injury modeling). *Fiziol. Zhurn.* 2025;71(3):67–72. doi: 10.15407/fz71.03.067.
10. Suvarna KS, Layton C, Bancroft JD. Bancroft’s theory and practice of histological techniques. Elsevier. 2019. doi: 10.1016/C2015-0-00143-5.
11. Yanko R, Chaka E, Levashov M. Effect of methionine on the lungs respiratory part in rats of different ages. Pol. J. Natural. Sc. 2021;36(4):447–456.
12. Yanko RV. *Histo-morfolohichni zminy tkanyny lehen doroslykh shchuriv pislya vplyvu riznykh vydiv alimentarnoyi depryvatsiyi* (Histomorphological changes of lung tissue of adult rats after exposure to different types of alimentary deprivation). *Ukrayinskyy pul□monolohichnyy zhurnal.* 2023;1:72–75. doi: 10.31215/2306-4927-2023-31-1-72-75.
13. Horalskyi LP, Ragulya MR, Glukhova NM, et al. Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2022;13(1):53–59. doi:10.15421/022207.
14. Portnichenko V, Yanko R, Tsapenko P, Levashov M, Litovka I, Zavhorodnii M, Pokorski M. Metabolism and respiration in skin burn injury in rats: Corrective effects of melatonin. Respir Physiol Neurobiol. 2025;341:104531. doi: 10.1016/j.resp.2025.104531.
15. Al-Saiedy M, Pratt R, Lai P, et al. Dysfunction of pulmonary surfactant mediated by phospholipid oxidation is cholesterol-dependent. Biochim Biophys Acta Gen Subj. 2018;1862(4):1040–1049. doi: 10.1016/j.bbagen.2018.01.008.

17. Watso JC, Romero SA, Moralez G, et al. Adults with well-healed burn injuries have lower pulmonary function values decades after injury. Physiol Rep. 2022;10(10):e15264. doi: 10.14814/phy2.15264.

16. Khair S, Najarro KM, Walrath TM, et al. Post-burn lung inflammation is associated with induction of pulmonary cathelicidin-related antimicrobial peptide and S100a8 in mice. Burn Care Res. 2025;46(4):917–926. doi: 10.1093/jbcr/iraf069.
17. Watso JC, Romero SA, Moralez G, et al. Adults with well-healed burn injuries have lower pulmonary function values decades after injury. Physiol Rep. 2022;10(10):e15264. doi: 10.14814/phy2.15264.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.
Джерела фінансування. Робота виконувалась без зовнішньої фінансової підтримки.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.
Funding: This research received no external funding.

Надійшла до редакції / Received: : 15.12.2025 р.
Після доопрацювання / Revised: 20.02.2026 р.
Прийнято до друку / Accepted: 25.02.2026 р.