

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2025.2\(57\).352403](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2025.2(57).352403)

УДК 316.441+616-001.17

**Р. В. Янко**, канд. біол. наук, ст. наук. співроб.;

<https://orcid.org/0000-0002-0397-7517>

**М. О. Завгородній**, PhD, мол. наук. співроб.;

<https://orcid.org/0000-0003-1719-9864>

**В. І. Портніченко**, д-р мед. наук, зав. відділу;

<https://orcid.org/0000-0003-1473-2408>

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, відділ клінічної фізіології сполучної тканини, вул. Богомольця, 4, м. Київ, 01024, Україна  
Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України, відділ фізіології та патології екстремальних станів, вул. Академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03680, Україна  
e-mail: [biolag@ukr.net](mailto:biolag@ukr.net)

## ГІСТОМОРФОМЕТРИЧНІ ЗМІНИ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ ЩУРІВ ЗА УМОВ ТЕРМІЧНОЇ ТРАВМИ ЛЕГКОГО СТУПЕНЯ

В статті досліджено динаміку структурних змін щитоподібної залози у щурів, яким моделювали термічну травму шкіри легкого ступеня. Виявлено, що термічна травма призводить до морфологічних змін в залозі: зменшується площа фолікулів та їх колоїду, знижується внутрішній діаметр фолікулів, зростає висота фолікулярного епітелію, збільшується фолікулярно-колоїдний індекс, зменшується індекс накопичення колоїду та зростає кількість сполучної тканини. Найбільш інтенсивно гістоморфометричні зміни в щитоподібній залозі проявляються на 3 і 14 добу після термічної травми, що може свідчити про фазовий характер структурних змін на дію опіку шкіри.

**Ключові слова:** щитоподібна залоза, термічна травма, гістоморфометрія, щури.

Термічна травма (ТТ) є широко розповсюдженим видом травми, яка призводить до пошкодження організму як на тканинному, так і на системному рівні його організації. За даними ВООЗ щорічно від ТТ фіксується понад 180 тис. летальних випадків, більшість із яких припадає на слабко і середньо розвинуті країни. В Україні ТТ, з початком війни, часто зустрічається у комплексі із мінно-вибуховою травмою як у військових, так і серед мирного населення. Частота її виникнення зросла порівняно із відносно мирним часом із 5 до 12% від загальної травматизації населення [1].

Як відомо, інтенсивність структурних змін тканин та органів при ТТ залежить від ступеня опіку та площі ураження шкіри [5; 6]. Для патогенезу ТТ характерним є інтенсифікація метаболізму та розвиток запалення, що супроводжується зростанням температури тіла. Відомо, що морфологічні та функ-

ціональні зміни у щитоподібній залозі (ЩЗ) починаються із першого дня після впливу опіку [18]. При цьому ЩЗ активно залучається у процеси загоєння ран, що у свою чергу залежить від оптимального рівня її функціонування при відповіді організму на опік [16]. Стан залози та рівень тиреоїдних гормонів корелюють із ефективністю процесів регенерації при ТТ [7], а дисфункція ЩЗ призводить до розвитку поліорганної недостатності [12].

Літературні дані щодо морфологічних змін ЩЗ при ТТ часто неоднозначні. Це може бути пов'язано з використанням різної моделі нанесення ТТ, важкості опіку тощо. Активно вивчалися структурні зміни залози за впливу опіку важкої та середньої тяжкості [11; 18; 21]. Вплив опіків легкого ступеня на стан ЩЗ, які є найбільш поширеними, досліджено недостатньо. Крім того, не повністю вивчені морфологічні зміни залози у різний проміжок часу після отримання ТТ шкіри.

**Мета роботи** – дослідити динаміку структурних змін щитоподібної залози у щурів при термічній травмі легкого ступеня.

### **Матеріали та методи дослідження**

Дослідження здійснено на 40 щурах-самцях лінії Wistar, вік яких на початку експерименту становив 3 місяці. Щури всіх груп перебували на стандартних умовах утримання. Роботу з лабораторними 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).

Тварини були розподілені на 4 групи: I група – контроль; II, III та IV групи – щури, яким моделювали ТТ та виводили з експерименту на 3, 9 і 14 добу відповідно. Тварин виводили з експерименту в різний проміжок часу, після нанесення ТТ, щоб дослідити динаміку регенеративних процесів шкіри та морфологічних змін ЩЗ. Відомо, що перша гостра фаза опіку триває до 3-х діб [4]. Тому, ми брали зразки щитоподібної залози в цей період, оскільки структурні зміни в ній будуть пов'язані саме з цією фазою. 9 доба була обрана згідно з нашими попередніми дослідженнями фазових змін при стресових реакціях, де було показано, що через 8 діб відбуваються суттєві зміни в енергетичному метаболізмі [2], які, в свою чергу, можуть бути пов'язані зі змінами у функціонуванні щитоподібної залози. 14 доба була обрана у зв'язку з закінченням стресорної реакції [2], а також із класичними доклінічними і клінічними дослідженнями розвитку опікової хвороби, у яких застосовується тижневий цикл при оцінці швидкості загоєння [19].

Дослідним щурам під кетамін-ксилазиною анестезією наносили опіки на задалегідь підготовлену ділянку шкіри (шкіра спини в області лопаток) за допомогою скляної пробірки з пласким дном, що містила окуп. Для створення опіків на всю товщу шкірного покриву з мінімальним ураженням підшкірних структур емпіричним шляхом була підібрана 15-ти секундна експозиція при

прикладанні пробірки. Дно пробірки мало діаметр 1,8 см, що відповідало площі опіку поверхні шкіри 2,54 см<sup>2</sup> ( $\approx 1\%$ ). Крім того, пробірка містила вантаж і мала загальну вагу 140 г. Завдяки використанню вантажу пробіркою на шкіру створюється тиск однакової сили, а завдяки воді забезпечується теплоємність конструкції, що в сукупності дозволяє одержати опіки ступеня IIIa. Швидкість загоєння опікової рани визначали від початку відшаровування первинного струпу до його повного відпадиння.

Стан ЩЗ оцінювали за допомогою морфологічних та гістоморфометричних методів дослідження. Для гістоморфометричних досліджень відбирали зразки тканини з центральної частини ЩЗ, з яких потім виготовляли гістологічні препарати. Тканину залози фіксували в рідині Буена, зневоднення проводили в спиртах зростаючої концентрації, заливали в парафін. На санному мікротомі («МС-2, Reichert», Австрія) проводили нарізку парафінових блоків. Товщина парафінових зрізів становила 6 мкм. Забарвлення отриманих зрізів здійснювали гістохімічним методом за Ван-Гізоном [15]. З використанням цифрової камери («Levenhuk», США) мікрорізи фотографували на світлооптичному тринокулярному мікроскопі («Nikon, Eclipse E100», Японія). Морфометричний аналіз цифрових мікропрепаратів здійснювали за допомогою програми «ImageJ» [22].

На гістологічних зрізах ЩЗ визначали: площу поперечного перерізу фолікулів, колоїду та фолікулярного епітелію; зовнішній та внутрішній діаметри фолікулів; висоту фолікулярного епітелію. Рахували кількість тиреоцитів у фолікулах. Визначали фолікулярно-колоїдний індекс, індекс накопичення колоїду та стереологічний індекс резорбції. За допомогою методу накладання точкових морфометричних сіток визначали відносну площу сполучної тканини та паренхіми залози, обчислювали стромально-паренхіматозний індекс. Також вимірювали ширину прошарків міжчасткової, міжчасточкової та міжфолікулярної сполучної тканини [13, 23].

Результати виражені як середнє значення  $\pm$  стандартне відхилення (SD). Усі змінні були перевірені на нормальний розподіл за допомогою тестів Колмогорова-Смірнова та Ліллієфорса. Однорідність дисперсії досліджували за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) та постфактурного тесту Т'юкі. Різниці вважалися вірогідними при  $P < 0,05$ . Усі статистичні розрахунки виконували за допомогою програмного забезпечення GraphPad Prism 8.

## Результати та їх обговорення

При дослідженні динаміки регенеративних процесів шкіри, після нанесення ТТ, було виявлено, що на 3 добу опікова рана у щурів мала вигляд сформованого струпу. На 9 добу досліду відмічали відшаровування струпу у 33% щурів з групи III. На 14 добу досліду первинний струп повністю відпав у 40% тварин.

Виявлено, що на 3, 9 і 14 добу після нанесення ТТ маса ЩЗ зросла з 14,9 мг до 15,8 (на 6%), 17,9 (на 20%) та 18,9 (на 27%) мг відповідно. Органний індекс

ЩЗ був більшим від контролю на 12% (3 доба), 19% (9 доба) та 21% (14 доба). Зростання маси залози може вказувати на її гіперплазію. Однією з головних причин розвитку гіперплазії ЩЗ є недостатній синтез гормонів та зниження їх концентрації в крові. Це призводить до активної стимуляції залози, проліферації клітин з подальшим збільшенням її ваги та розмірів [17].

ЩЗ як контрольних, так і дослідних щурів мала характерну часточкову структуру і складалася з фолікулів переважно овальної форми. На периферії фолікули були більшими, порівняно з центральною частиною залози, часто з розтягнутими стінками, утвореними сплосченим епітелієм. Стінка фолікулів була утворена тиреоцитами різної форми. У порожнині фолікулів розташовувався оксифільний колоїд (Рис. 1).

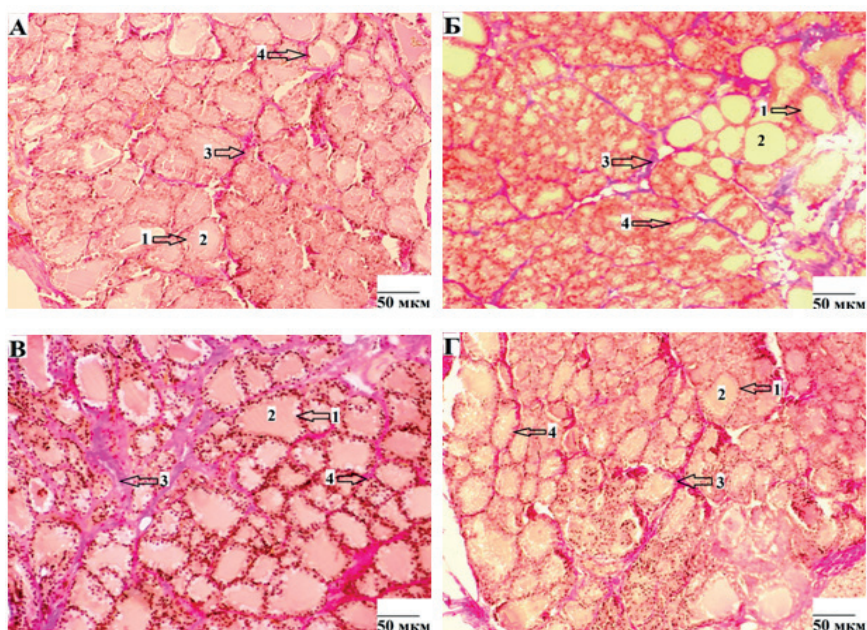


Рис. 1. Мікрофотографія щитоподібної залози контрольного щура (А) та щура після нанесення термічної травми на 3 (Б), 9 (В) та 14 (Г) добу відповідно. Забарвлення за Ван-Гізоном.  $\times 400$ .

Примітка: 1 – фолікул; 2 – колоїд; 3 – міжчасточкова сполучна тканина;  
4 – міжфолікулярна сполучна тканина.

Виявлено структурні зміни в ЩЗ щурів, які отримували ТТ. На 3 добу, після нанесення опіку, в залозі відмічали вірогідне зменшення площі фолікулів (на 19%), колоїду (на 38%) та їх внутрішнього діаметру (на 26%) порівняно з контролем. Спостерігали інтенсивні процеси резорбції. Це свідчить про пригнічення накопичення колоїду та активне вивільнення гормонів у кров. Тиреоцити мали переважно призматичну, рідше кубічну форму, з висотою на 12%

більшою від контролю. Зростала кількість інтерфолікулярних острівців (скупчення тиреоцитів без колоїду). На 9 добу досліду розміри фолікулів мали лише тенденцію до зниження. На цю добу відмічали вірогідне зниження відносної площі паренхіми залози на 17%. На 14 добу, після нанесення опіку, площа колоїду та внутрішній діаметр фолікулів знижувалися на 29 і 17% ( $P < 0,05$ ) відповідно, а висота фолікулярного епітелію вірогідно збільшилася на 23% порівняно з контролем (Таблиця). Тобто, на 14 добу знову відбувається активація вивільнення гормонів у кров.

Таблиця

**Морфометричні показники щитоподібної залози щурів ( $M \pm SD$ ,  $n = 40$ )**

Показники	Контроль	Опік 3 доби	Опік 9 дб	Опік 14 дб
Відносна площа паренхіми залози, %	87,3 ± 0,8	83,5 ± 2,4	72,5 ± 5,3*	80,4 ± 1,4
Площа, мкм <sup>2</sup>				
– фолікула	2599 ± 61	2100 ± 140*	2351 ± 88	2350 ± 322
– колоїду	870 ± 60	540 ± 29*	812 ± 37	616 ± 56*
– фолікулярного епітелію	1729 ± 42	1560 ± 129	1539 ± 69	1734 ± 212
Діаметр фолікула, мкм				
– зовнішній	51,4 ± 2,2	46,5 ± 1,6	48,4 ± 3,2	51,6 ± 2,9
– внутрішній	29,0 ± 0,6	21,5 ± 1,6*	26,7 ± 2,5	24,0 ± 1,8*
– ефективний	62,6 ± 3,5	59,0 ± 2,5	59,3 ± 4,5	65,4 ± 3,8
Висота тиреоцитів, мкм	11,2 ± 0,6	12,5 ± 0,4	10,9 ± 0,6	13,8 ± 0,5*
Кількість тиреоцитів у фолікулі, шт.	20,9 ± 0,9	19,9 ± 1,5	20,6 ± 1,6	21,5 ± 2,4

\* $P < 0,05$  – вірогідність змін відносно контрольної групи

До показників, які характеризують динаміку накопичення та виведення колоїду відносять: фолікулярно-колоїдний індекс (відношення площі фолікулярного епітелію до площі колоїду), стереологічний індекс резорбції ( $4/h$ , де  $h$  – середня довжина хорд відрізків ліній, що припадають на колоїд) та індекс накопичення колоїду (відношення середнього внутрішнього діаметра до подвійної висоти епітелію). Виявлено, що у щурів, яким моделювали ТТ, фолікулярно-колоїдний індекс на 3 добу вірогідно зріс на 45%, на 9 добу – повернувся до контрольних значень, а на 14 добу – знову вірогідно зріс на 41% порівняно з контролем. Індекс накопичення колоїду, навпаки, на 3 і 14 добу був вірогідно меншим на 33%, а на 9 добу не відрізнявся від контролю. Стереологічний індекс резорбції був вірогідно більшим на 36% лише на 3 добу після нанесення ТТ (рис. 2). Це може свідчити, що залоза має фазовий характер структурних змін на дію опіку шкіри. На 3 добу спостерігаються морфометричні ознаки активного вивільнення гормонів у кров, спустошення фолікулів від колоїду. На 9 добу досліду наближення досліджуваних показників до контрольних значень може вказувати про відновлення накопичення колоїду у фолікулах та синтез гормонів. А на 14 добу, після нанесення опіку, вивільнення гормонів відновлюється, проте вже з меншою інтенсивністю.

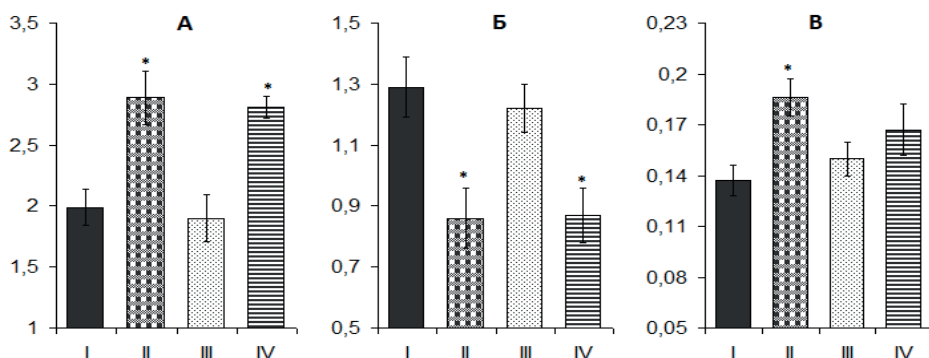


Рис. 2. Фолікулярно-колоїдний індекс (А), індекс накопичення колоїду (Б) та стереологічний індекс резорбції (В)

Примітка: I – контроль; II, III і IV – щури на 3, 9 і 14 добу після моделювання термічної травми.

\* $P < 0,05$  вірогідність змін порівняно з контролем.

У щурів, яким моделювали ТТ, виявлено зростання кількості сполучної тканини (СТ) в залозі. Так, на 3 добу, після нанесення опіку, спостерігали вірогідне збільшення відносної площі СТ на 30%, стромально-паренхіматозного індексу (співвідношення площі стромы до площі паренхіми, СПІ) – на 37%, ширини міжчасткової СТ – на 20%, та міжчасточкової СТ – на 40% порівняно з контролем. На 9 добу досліду відмічали ще більш інтенсивне розростання СТ. Так, відносна площа СТ була вірогідно більшою на 117%, СПІ – на 161%, ширина міжчасткової, міжчасточкової та міжфолікулярної СТ – на 40, 106 і 31% відповідно, ніж у контролі. На 14 добу зростання кількості СТ призупинилося. Порівняно з контролем вірогідно більшою була відносна площа СТ (на 54%), СПІ (на 68%) та ширина міжчасточкової СТ (на 40%) (Рис. 2, 3). Це може свідчити, що розростання СТ в залозі відбувається вже на 3 добу після моделювання ТТ, досягає піку на 9 добу, а на 14 добу кількість стромы вже починає знижуватися.

Інші дослідники переважно вивчали структурні зміни ЩЗ при опіках середнього та важкого ступеня. Так, Tiron O. I. виявив, що при опіку середнього ступеня морфологічні зміни в залозі починають відбуватися з 1-ї доби [18]. Показано, що розвиток запального процесу сприяє, з одного боку, інтенсивному вивільненню вмісту фолікулів ЩЗ, з іншого – їх ремодельованню. Вважають, що саме прозапальні цитокіни є основною причиною змін у ЩЗ при опіковому ураженні [14]. Так, виділення в кров прозапальних цитокінів при опіках, зокрема TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  та IL-6, призводить до морфологічних та функціональних порушень у ЩЗ через активацію процесів запалення, інфільтрацію імунних клітин та порушення гомеостазу [19; 20]. Дослідниками виявлено, що при моделюванні ТТ з ураженням 14–20% площі шкіри морфологічні зміни в ЩЗ значною мірою проявлялись на 14 добу: відмічали розширення та деформацію фолікулів, десквамацію епітелію, набряк капсули, лейкоцитарну інфільтрацію,

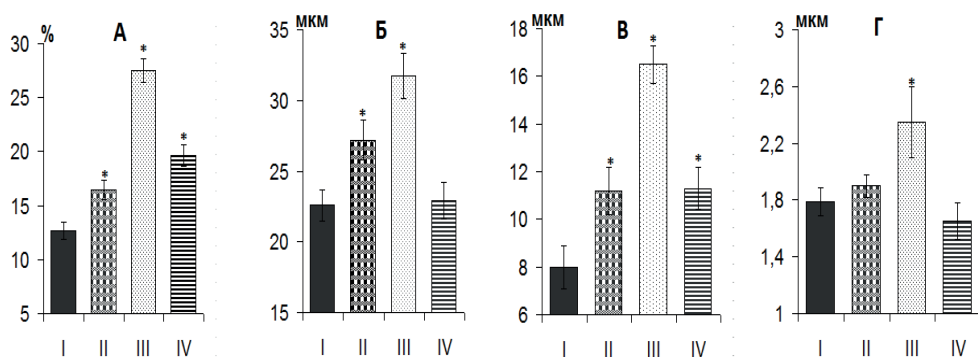


Рис. 3. Відносна площа сполучної тканини (А), ширина прошарків міжчасткової (Б), міжчасточкової (В) та міжфолікулярної (Г) сполучної тканини  
Примітка: I – контроль; II, III і IV – щури на 3, 9 і 14 добу після моделювання термічної травми. \* $P < 0,05$  вірогідність змін порівняно з контролем.

пошкодження мітохондрій у тиреоцитах, розширення судин і периваскулярний набряк. Ці зміни призводять до порушення секреторного циклу тиреоцитів і дисбалансу у виробленні та виведенні тиреоїдних гормонів. Повноцінного відновлення структури та функцій ЩЗ не відбувалося [8; 9; 11; 18; 19]. Також було виявлено гіперплазію фолікулів та збільшення кількості сполучнотканинних елементів у залозі після 14 доби від опікового ураження [9].

Нами, в свою чергу, виявлено, що структурні зміни в ЩЗ відбуваються і при легкому ступені ТТ (біля 1% ураження шкіри). Вже на 3 добу, після моделювання ТТ, спостерігали чітко виражені структурні зміни в залозі: зменшувалися розміри фолікулів та їх колоїду, зростала висота фолікулярного епітелію, збільшувався фолікулярно-колоїдний індекс і зменшувався індекс накопичення колоїду, зростала кількість СТ. На 9 добу досліджувані показники (за винятком СТ) не відрізнялися від контролю. На 14 добу, після нанесення опіку, спостерігали схожі структурні зміни в ЩЗ з 3 добою, але вони були менш виражені. Це дозволяє нам зробити висновок, що ЩЗ має фазовий характер структурних змін на дію опіку шкіри легкого ступеня.

У роботах, присвячених тканинній регенерації, показано, що за умов гіпофункції ЩЗ та дефіциту тиреоїдних гормонів спостерігається пригнічення репаративних процесів у різних органах і тканинах [3]. Для визначення ролі ЩЗ у тканинній регенерації у нашій моделі ТТ необхідне вимірювання рівня тиреоїдних гормонів, зокрема вільного та зв'язаного трийодтироніну, як прогностичних маркерів зміни метаболізму при опіковому ураженні [3; 10], що і планується відобразити у подальших дослідженнях. Крім того, нами заплановано пошук методів корекції порушень функціонального стану залози викликаних опіком шкіри.

## Висновки

1. Досліджено, що термічна травма легкого ступеня призводить до морфологічних змін щитоподібної залози, які проявляються вже на 3 добу після її моделювання. В залозі виявлено зменшення площі фолікулів та їх колоїду, зниження внутрішнього діаметру фолікулів, зростання висоти фолікулярного епітелію, фолікулярно-колоїдного індексу, зменшення індексу накопичення колоїду та збільшення кількості сполучної тканини.

2. Найбільш інтенсивно гістоморфометричні зміни в щитоподібній залозі проявляються на 3 і 14 добу після моделювання термічної травми, що може свідчити про фазовий характер структурних змін на дію опіку шкіри.

3. Отримані дані мають не тільки теоретичне значення, але й корисні для практичної медицини при лікуванні патології щитоподібної залози, викликаної негативним впливом опіком шкіри.

Стаття надійшла до редакції 6.11.2025

## Список використаної літератури

1. Салайда І. М. Методологічні підходи до надання медичної допомоги військовикам із бойовою опіковою травмою. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини* 2024. Вип. 4(60). С. 190–196. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2024.v.i4.15037>
2. Фазові зміни енергетичного обміну при адаптації до іммобілізаційного стресу / В. І. Портніченко, В. І. Носар, О. О. Гончар, Г. В. Опанасенко, І. Д. Глазирін, І. М. Маньковська. *Фізіологічний журнал*. 2014. Т. 60, № 5. С. 23–32. <https://doi.org/10.15407/fz60.05.023>
3. 9291 Hypothyroidism impairs skeletal muscle regeneration after injury / P. Aguiari, V. Villani, K. Y., G. A. Brent, L. Perin, A. Milanese. *J Endocr Soc*. 2024. Vol. 8, suppl. 1. Article bvael63.1811. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvae163.1811>
4. Acute and perioperative care of the burn-injured patient / E. A. Bittner, E. Shank, L. Woodson, J. A. Martyn. *Anesthesiology*. 2015. Vol. 122, iss. 2. P. 448–464. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000559>
5. Injectable deferoxamine-loaded microsphere hydrogels for inhibition of ferroptosis and promotion of third-degree burn wound healing / L. Chai, J. Huang, M. Wang, Y. Huang, Z. Huang, R. Zhang, L. He, H. Wang, D. Chen, Y. Lei, L. Guo. *Materials Today Bio*. 2025. Vol. 32. Article 101806. <https://doi.org/10.1016/j.mt-bio.2025.101806>
6. Davenport L., Dobson G., Letson H. A new model for standardising and treating thermal injury in the rat. *MethodsX*. 2019. Vol. 6. P. 2021–2027. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.09.006>
7. Evidence for hormonal control of heart regenerative capacity during endothermy acquisition / K. Hirose, A. Y. Payumo, S. Cutie et al. *Science*. 2019. Vol. 364, iss. 6436. P. 184–188. <https://doi.org/10.1126/science.aar2038>
8. Корицький В. Г. Особливості структурної реорганізації судин щитоподібної залози в динаміці після експериментальної термічної травми. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2018. Т. 22, вип. 4. С. 610–615. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(4\)-05](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(4)-05)
9. Koritskiy V. G., Nebesna Z. M. Features of the thyroid gland structural components remodeling in the toxemia stage after experimental thermal injury. *Reports of Morphology*. 2018. Vol. 24, no. 3. P. 37–42. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2018-24\(3\)-06](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2018-24(3)-06)
10. Mourouzis I., Politi E., Pantos C. Thyroid hormone and tissue repair: new tricks for an old hormone? *J Thyroid Res*. 2013. Vol. 2013. Article 312104. <https://doi.org/10.1155/2013/312104>
11. Морфометрична характеристика структурних компонентів щитоподібної залози за умов змодельованої термічної травми шкіри / З. М. Небесна, Б. О. Довгалюк, У. В. Вітер, Н. В. Огінська, С. Б. Крамар. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2023. Т. 22, № 4. С. 45–51. <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.4.2023.45>
12. Hypothyroidism in severe burn patients associated with increased risk of musculoskeletal complications and decreased risk of mortality / I. Obias, D. Amador, S. Iyer, A. E. Ayadi, G. Golovko, S. E. Wolf, J. Song J.. *J Burn Care Res*. 2025. Vol. 46, iss. 6. P. 1326–1331. <https://doi.org/10.1093/jbcr/iraf090>

13. Histomorphometric study of thyroid tissue in juvenile rats exposed to 5G electromagnetic fields / M. Ramelet, L. Ronger, A. Al-Salameh, F. Pelletier, R. Desaillood, C. Seewooruttun. *Annales d'Endocrinologie*. 2025. Vol. 86, iss. 3. Article 101755. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2025.101755>
14. Damage-associated molecular patterns (DAMPs) released after burn are associated with inflammation and monocyte activation / M. Rani, S. E. Nicholson, Q. Zhang, M. G. Schwacha. *Burns*. 2017. Vol. 43, iss. 2. P. 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.10.001>
15. Rehfeld A., Nylander M., Karnov K. Histological methods. *Compendium of Histology. A theoretical and practical guide* / A. Rehfeld, M. Nylander, K. Karnov. Cham : Springer, 2017. P. 11–24. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5_2)
16. Safer J. D. Thyroid hormone and wound healing. *J Thyroid Res*. 2013. Vol. 2013. Article 124538. <https://doi.org/10.1155/2013/124538>
17. Shimazaki S., Sato, J. Pituitary hyperplasia in a girl with primary hypothyroidism. *BMJ Case Rep*. 2023. Vol. 16, iss. 11. Article e258165. <https://doi.org/10.1136/bcr-2023-258165>
18. Tiron O. I. Features of morphological changes in the thyroid gland of white male rats 1 day after thermal trauma of the skin on the background of the introduction of 0.9% NaCl solution. *Biomedical and Biosocial Anthropology*. 2019. No. 37. P. 55–59. <https://doi.org/10.31393/bba37-2019-09>
19. Tiron O. I. Morphological changes in the white rats' thyroid gland 14 days after simulated thermal trauma of the skin on the background of the administration of 0.9% NaCl solution. *Reports of Morphology*. 2021. Vol. 27, no. 4. P. 53–58. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2021-27\(4\)-08](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2021-27(4)-08)
20. Tiron O. I. Rats' thyroid gland histological and ultrastructural changes 30 days after the experimental thermal injury on the background of NaCl injection. *Reports of Morphology*. 2022. Vol. 28, iss. 4. P. 70–76. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2022-28\(4\)-10](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2022-28(4)-10)
21. Pathophysiological mechanisms of thyroid gland hormonal dysregulation during experimental exposure / O. I. Tiron, R. S. Vastyanov, V. Yu. Shapovalov, O. I. Yatsyna, M. M. Kurtova M. *World of Medicine and Biology*. 2022. No. 4(82). P. 246–251. <https://doi.org/10.26724/2079-8334-2022-4-82-246-251>
22. Yanko R., Levashov M. Histomorphological features of the thyroid gland in rats of different ages with alimentary-induced obesity. *Environmental and Experimental Biology*. 2022. Vol. 20, no. 3. P. 171–177. <https://doi.org/10.22364/eeb.20.16>
23. Yanko R. V., Shcherbatiuk T. G., Litovka I. G. Melatonin reduces structural disorders of the thyroid gland in rats with induced visceral obesity. *Endokrynologia*. 2024. Vol. 29, no. 3. P. 213–219. <https://doi.org/10.31793/1680-1466.2024.29-3.213>

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

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, відділ клінічної фізіології сполучної тканини, вул. Богомольця, 4, м. Київ, 01024, Україна  
 Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України, відділ фізіології та патології екстремальних станів, вул. Академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03680, Україна  
 e-mail: biolag@ukr.net

## **ГІСТОМОРФОМЕТРИЧНІ ЗМІНИ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ ЩУРІВ ЗА УМОВ ТЕРМІЧНОЇ ТРАВМИ ЛЕГКОГО СТУПЕНЯ**

### **Резюме**

**Вступ.** Відомо, що термічні опіки викликають патофізіологічні та морфологічні зміни у шкірі та за її межами, в тому числі і в щитоподібній залозі (ЩЗ). Проте, які морфологічні зміни відбуваються в ЩЗ у різний проміжок часу після отримання легкої термічної травми шкіри досліджено не повністю.

**Мета роботи** – дослідити динаміку структурних змін щитоподібної залози у щурів при термічній травмі легкого ступеня.

**Методика роботи.** Дослідження здійснено на 40 щурах-самцях лінії Wistar, вік яких на початку експерименту становив 3 місяці. Тварини були розподілені на 4 групи: I група – контроль; II, III та IV групи – щури, яким моделювали термічну травму та виводили з експерименту на 3, 9 і 14 добу відповідно. Термічну травму моделювали за допомогою скляної пробірки з плоским дном, що містила окріп. Площа опіку становила приблизно 1% площі шкіри. Швидкість загоєння опікової рани визначали від початку відшаровування первинного струпу до його повного відпадиння. Для гістоморфометричних досліджень відбирали зразки тканини з центральної частини ЩЗ, з яких виготовляли гістологічні препарати за стандартною методикою. Морфометричний аналіз цифрових мікропрепаратів здійснювали за допомогою програми «ImageJ».

**Основні результати.** Виявлено, що термічна травма легкого ступеня призводить до морфологічних змін ЩЗ. Відмічено збільшення маси залози, що може свідчити про її гіперплазію. Структурні зміни в ЩЗ щурів відбуваються вже на 3 добу після моделювання термічної травми, а саме: зменшується площа фолікулів, колоїду, знижується внутрішній діаметр фолікулів, зростає висота фолікулярного епітелію, фолікулярно-колоїдний індекс, стереологічний індекс резорбції та знижується індекс накопичення колоїду. Це є ознаками активного вивільнення гормонів у кров, спустошення фолікулів від колоїду. На 9 добу досліджувані показники наближаються до контрольних значень, що може свідчити про відновлення накопичення колоїду у фолікулах та синтез гормонів. А на 14 добу, після нанесення опіку, вивільнення гормонів знову відновлюється, проте вже з меншою інтенсивністю. Зростання кількості сполучної тканини при термічній травмі відбувається вже на 3 добу та досягає свого піку на 9 добу досліджу.

**Висновок.** Отже, ЩЗ має фазовий характер структурних змін на дію термічної травми легкого ступеня. Найбільш інтенсивні морфологічні зміни в залозі відбуваються на 3 і 14 добу після опікової травми. Це потрібно враховувати при лікуванні патології ЩЗ, викликаній негативним впливом опіком шкіри.

**Ключові слова:** щитоподібна залоза, термічна травма, гістоморфометрія, щури.

**R. V. Yanko, M. O. Zavorodnii, V. I. Portnichenko**

O. O. Bogomoletz Institute of Physiology of the NAS of Ukraine, Department of Clinical Physiology of Connective Tissue, 4 Bogomolets St, Kyiv, 01024, Ukraine  
International Centre for Astronomical, Medical and Ecological Research of the NAS of Ukraine, Department of Physiology and Pathology of Extreme Conditions, 27 Akademika Zabolotnoho St, Kyiv, 03680, Ukraine; e-mail: biolag@ukr.net

## **HISTOMORPHOMETRIC CHANGES IN THE THYROID GLAND OF RATS UNDER CONDITIONS OF LIGHT THERMAL INJURY**

### **Summary**

**Introduction.** It is known that thermal burns cause pathophysiological and morphological changes in the skin and beyond, including in the thyroid gland. However, what morphological changes occur in the thyroid gland at different time intervals after receiving light thermal skin injury has not been fully studied.

**The aim of the work** was to investigate the dynamics of structural changes in the thyroid gland in rats with light thermal injury.

**Methods.** The study was carried out on 40 male Wistar rats, whose age at the beginning of the experiment was 3 months. The animals were divided into 4 groups: Group I – control; Groups II, III and IV — rats that were modeled thermal injury and removed from the experiment on the 3rd, 9th and 14th day, respectively. Thermal injury was modeled using a flat-bottomed glass tube containing boiling water. The burn area was approximately 1% of the skin area. The rate of burn wound healing was determined from the beginning of the peeling of the primary scab to its complete disappearance. For histomorphometric studies, tissue samples were taken from the central part of the thyroid gland, from which histological preparations were prepared according to the standard method. Morphometric analysis of digital micropreparations was carried out using the “ImageJ” program.

**Main results.** It was found that light thermal injury leads to morphological changes in the thyroid gland. An increase in the mass of the gland was noted, which may indicate hyperplasia. Structural changes in the thyroid gland of rats occur already on the 3rd day after modeling thermal injury, namely: the area of follicles and colloid decreases, the internal diameter of follicles decreases, the height of the follicular epithelium, the follicular-colloid index and the stereological resorption index increases, and the colloid accumulation index decreases. These are signs of active release of hormones into the blood, emptying of follicles from colloid. On the 9th day of the experiment, the studied indicators approach the control values, which may indicate the restoration of colloid accumulation in the follicles and hormone synthesis. And on the 14th day, after the burn, the release of hormones is restored again, but with less intensity. The increase in the amount of connective tissue in thermal injury occurs already on the 3rd day and reaches its peak on the 9th day of the experiment.

**Conclusions.** Thus, the thyroid gland has a phased nature of structural changes in response to light thermal injury. The most intense morphological changes in the gland occur on the 3rd and 14th day after the burn injury. This should be taken into account when treating thyroid pathology caused by the negative effects of skin burns.

**Keywords:** thyroid gland, thermal injury, histomorphometry, rats.

## References

1. Salaida, I. M. (2024). Metodolohichni pidkhody do nadання medychnoi dopomohy viiskovykam iz boiovoiu opikovoju travmoiu [Methodological approaches to providing medical care to soldiers with combat burn injuries]. *Zdobutky Klinichnoi i Eksperymentalnoi Medytsyny*, (4(60)), 190–196. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2024.v.i4.15037> [in Ukrainian].
2. Portnichenko, V. I., Nosar, V. I., Honchar, O. O., Opanasenko, H. V., Hlazyrin, I. D., & Mankovska, I. M. (2014). Fazovi zminy enerhetychnoho obminu pry adaptatsii do immobilizatsiinoho stresu [Phase changes in energy metabolism during adaptation to immobilization stress]. *Fiziolohichnyy Zhurnal*, 60(5), 23–32. <https://doi.org/10.15407/fz60.05.023> [in Ukrainian].
3. Aguiari, P., Villani, V., Liu, K. Y., Brent, G. A., Perin L., & Milanese A. (2024). 9291 Hypothyroidism impairs skeletal muscle regeneration after injury. *J Endocr Soc.*, 8(Suppl 1), bvae163.1811. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvae163.1811>
4. Bittner, E. A., Shank, E., Woodson, L., & Martyn, J. A. (2015). Acute and perioperative care of the burn-injured patient. *Anesthesiology*, 122(2), 448–464. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000000559>
5. Chai, L., Huang, J., Wang, M., Huang, Y., Huang, Z., Zhang, R., He, L., Wang, H., Chen, D., Lei, Y., & Guo, L. (2025). Injectable deferoxamine-loaded microsphere hydrogels for inhibition of ferroptosis and promotion of third-degree burn wound healing. *Materials Today Bio*, 32, 101806. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.101806>

6. Davenport, L., Dobson, G., & Letson, H. (2019). A new model for standardising and treating thermal injury in the rat. *MethodsX*, 6, 2021–2027. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.09.006>
7. Hirose, K., Payumo, A. Y., Cutie, S., Hoang, A., Zhang, H., Guyot, R., Lunn, D., Bigley, R. B., Wang, J., Smith, M., Gillett, E., Muroy, S. E., Schmid, T., Wilson, E., Field, K. A., Reeder, D. M., Maden, M., Yartsev, M. M., Wolfgang, M. J., Grützner, F., Scanlan, T. S., Szweda, L. I., Buffenstein, R., Hu, G., Flamant, F., Olgin, J. E., & Huang, G. N. (2019). Evidence for hormonal control of heart regenerative capacity during endothermy acquisition. *Science*, 364(6436), 184–188. <https://doi.org/10.1126/science.aar2038>
8. Korytskyi, V. G. (2018). Osoblyvosti strukturnoi reorganizatsii sudyn shchytovidnoi xalozy v dynamitsi pislia eksperymentalnoi termichnoi travmy [Peculiarities of structural reorganization of the thyroid gland vessels in dynamics after experimental thermal trauma]. *Visnyk Vinnytskoho Natsionalnoho Medychnoho Universytetu* [Reports of Vinnytsia National Medical University], 22(4), 610–615. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(4\)-05](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(4)-05) [in Ukrainian].
9. Koritskiy, V. G., & Nebesna, Z. M. (2018). Features of the thyroid gland structural components remodeling in the toxemia stage after experimental thermal injury. *Reports of Morphology*, 24(3), 37–42. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2018-24\(3\)-06](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2018-24(3)-06)
10. Mourouzis, I., Politi, E., & Pantos, C. (2013). Thyroid hormone and tissue repair: New tricks for an old hormone? *J Thyroid Res.*, 2013, 312104. <https://doi.org/10.1155/2013/312104>
11. Nebesna, Z., Dovgalyuk, B., Viter, U., Ohinska, N., & Kramar, S. (2023). Morfometrychna kharakterystyke strukturykh komponentiv shchytovidnoi zalozy za umnov zmodeliovanoi termichnoi travmy shkiry [Morphometric characterization of the structural components of the thyroid gland under conditions of modeled thermal skin injury]. *Klinichna Anatomia ta Operatyvna Khirurhiia* [Clinical Anatomy and Operative Surgery], 22(4), 45–51. <https://doi.org/10.24061/1727-0847.22.4.2023.45> [in Ukrainian].
12. Obias, I., Amador, D., Iyer, S., Ayadi, A. E., Golovko, G., Wolf, S. E., & Song, J. (2025). Hypothyroidism in severe burn patients associated with increased risk of musculoskeletal complications and decreased risk of mortality. *J Burn Care Res.*, 46(6), 1326–1331. <https://doi.org/10.1093/jbcr/iraf090>
13. Ramelet, M., Ronger, L., Al-Salameh, A., Pelletier, F., Desailoud, R., & Seewooruttun, C. (2025). Histomorphometric study of thyroid tissue in juvenile rats exposed to 5G electromagnetic fields. *Annales d'Endocrinologie*, 86(3), 101755. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2025.101755>
14. Rani, M., Nicholson, S. E., Zhang, Q., & Schwacha, M. G. (2017). Damage-associated molecular patterns (DAMPs) released after burn are associated with inflammation and monocyte activation. *Burns*, 43(2), 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.10.001>
15. Rehfeld, A., Nylander, M., & Karnov, K. (2017). Histological methods. In A. Rehfeld, M. Nylander, K. Karnov, *Compendium of Histology* (pp. 11–24). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41873-5_2)
16. Safer, J. D. (2013). Thyroid hormone and wound healing. *J Thyroid Res.*, 2013, 124538. <https://doi.org/10.1155/2013/124538>
17. Shimazaki, S., & Sato, J. (2023). Pituitary hyperplasia in a girl with primary hypothyroidism. *BMJ Case Rep.*, 16(11), e258165. <https://doi.org/10.1136/bcr-2023-258165>
18. Tiron, O. I. (2019). Features of morphological changes in the thyroid gland of white male rats 1 day after thermal trauma of the skin on the background of the introduction of 0.9% NaCl solution. *Biomedical and Biosocial Anthropology*, (37), 55–59. <https://doi.org/10.31393/bba37-2019-09>
19. Tiron, O. I. (2021). Morphological changes in the white rats' thyroid gland 14 days after simulated thermal trauma of the skin on the background of the administration of 0.9% NaCl solution. *Reports of Morphology*, 27(4), 53–58. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2021-27\(4\)-08](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2021-27(4)-08)
20. Tiron, O. I. (2022). Rats' thyroid gland histological and ultrastructural changes 30 days after the experimental thermal injury on the background of NaCl injection. *Reports of Morphology*, 28(4), 70–76. [https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2022-28\(4\)-10](https://doi.org/10.31393/morphology-journal-2022-28(4)-10)
21. Tiron, O. I., Vastyanov, R. S., Shapovalov, V. Yu., Yatsyna, O. I., & Kurtova, M. M. (2022). Pathophysiological mechanisms of thyroid gland hormonal dysregulation during experimental exposure. *World of Medicine and Biology*, (4(82)), 246–251. <https://doi.org/10.26724/2079-8334-2022-4-82-246-251>
22. Yanko, R., & Levashov, M. (2022). Histomorphological features of the thyroid gland in rats of different ages with alimentary-induced obesity. *Environmental and Experimental Biology*, 20(3), 171–177. <https://doi.org/10.22364/eeb.20.16>
23. Yanko, R. V., Shcherbatiuk, & T. G., Litovka, I. G. (2024). Melatonin reduces structural disorders of the thyroid gland in rats with induced visceral obesity. *Endokrynologia*, 29(3), 213–219. <https://doi.org/10.31793/1680-1466.2024.29-3.213>