

© 2024 by the author(s).

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**How to cite / Як цитувати статтю:** Sulym H, Lyndin M, Shamrai A, Lyndina Yu, Romaniuk A. Comparative characteristics of skin recovery in rats after ultraviolet irradiation with and without erbium laser. *East Ukr Med J.* 2024;12(3):540-550

**DOI:** [https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12\(3\):540-550](https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12(3):540-550)

## ABSTRACT

Hryhorii Sulym

<https://orcid.org/0000-0002-9822-9545>

Department of Pathological Anatomy,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Mykola Lyndin

<https://orcid.org/0000-0003-4385-3903>

Department of Pathological Anatomy,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Alevtyna Shamrai

Sumy State University, Sumy, Ukraine

Yuliia Lyndina

<https://orcid.org/0000-0002-2132-0965>

Department of Pathological Anatomy,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Anatolii Romaniuk

<https://orcid.org/0000-0003-2560-1382>

Department of Pathological Anatomy,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF SKIN RECOVERY IN RATS AFTER ULTRAVIOLET IRRADIATION WITH AND WITHOUT ERBIUM LASER

**Introduction.** Ultraviolet radiation, which has a significant biological impact among the spectrum of sunlight, can cause skin aging and tumors, but in controlled use it also has therapeutic effects on the skin. Ultraviolet radiation with a wavelength of 311 nm is used for phototherapy of skin diseases. Melanin, contained in melanosomes (MS), is produced in melanocytes (MC) during melanogenesis. Phototherapy can cause clinical hyperpigmentation by provoking an increase in the number of MCs. Ablative lasers, such as Er:YAG, are used to manage hyperpigmentation, but at the same time have the risk of causing hyperpigmentation. The frequency of such side effects varies from 10 to 46%.

**The aim** of the study was to determine changes in the number of MCs in the epidermis relative to the length of the basement membrane and the density of MSs in the epidermis in two groups of animals: after UV irradiation without and with an ablative laser.

**Materials and methods.** The study began with an imitation of phototherapy of dermatoses with narrow-band UV radiation. The animals were divided into 2 experimental groups: free readaptation, using laser and a separate control group (intact rats). Skin samples were taken from 54 rats: 12 animals per checkpoint (6 for each group) on days 31, 45, 61, and 121, and 6 animals in the control group. The melanocytic and melanosomal components of the epidermis were evaluated, and comparisons were made between groups and with intact animals.

**Results.** In the group of free readaptation on day 45, the density of MCs reached  $0.78 \pm 0.16$  cells per 100  $\mu\text{m}^2$  of basal membrane (units), which exceeded the normal value, but did not show statistical significance ( $p=0.37$ ). On days 61 and 121, the density was  $0.72 \pm 0.13$

units and  $0.70 \pm 0.17$  units, respectively, which indicated a correlation with the elapsed time,  $r = -0.732$ , but at once was not significantly different from the control group.

In the laser hypopigmentation group, the density of MCs on the basement membrane was  $0.68 \pm 0.26$ ,  $0.70 \pm 0.26$  and  $0.69 \pm 0.23$  units on days 45, 61 and 121, respectively, demonstrating stability. The correlation between MCs density and time after UV irradiation was not taken into account ( $r = -0.485$ ).

As for the analysis of MSs, in the control group, the area of MSs was  $0.77 \pm 0.24\%$  of the epidermis square. On day 31, the density of MSs reached a peak and amounted to  $1.21 \pm 0.32\%$ , statistically different from the control group ( $p=0.04$ ).

Subsequently, in the group of free readaptation, the area of MSs decreased to  $1.03 \pm 0.16\%$  on day 45,  $0.91 \pm 0.13\%$  on day 61, and  $0.91 \pm 0.25\%$  on day 121. An inverse correlation was observed between the density of MSs and the elapsed time,  $r = -0.735$ .

Similar patterns were observed in the laser ablation group. On days 45, 61, and 121, the area of MSs was  $1.07 \pm 0.28\%$ ,  $0.92 \pm 0.22\%$ , and  $0.84 \pm 0.19\%$ , respectively. The correlation between MSs density and time after UV irradiation was significant,  $r = -0.881$ .

Comparison of the density of MSs in the epidermis between the experimental groups did not reveal statistical differences at any stage of the experiment.

**Conclusions.** The described ultraviolet impact on the skin did not lead to a statistically significant increase in the number of MCs on the basal membrane ( $p=0.37$ ), but significantly increased the area of MSs in the epidermis ( $p=0.04$ ). Comparison of the density of MCs in the groups of laser hypopigmentation and free readaptation did not reveal statistically significant differences between each other and the control group. Laser ablation did not lead to either an increase or decrease in the average concentration of MSs in the epidermis compared to the free readaptation group.

**Keywords:** experiment, histology, rats, skin, laser, in-vivo, melanocytes, receptors.

**Corresponding author:** Hryhorii Sulym, Sumy State University, Sumy, Ukraine  
e-mail: [g.sulim@med.sumdu.edu.ua](mailto:g.sulim@med.sumdu.edu.ua)

## РЕЗЮМЕ

Григорій Сулім

<https://orcid.org/0000-0002-9822-9545>

Кафедра патологічної анатомії,  
Сумський державний університет,  
м. Суми, Україна

Микола Линдін

<https://orcid.org/0000-0003-4385-3903>

Кафедра патологічної анатомії,  
Сумський державний університет,  
м. Суми, Україна

Алевтина Шамрай

Сумський державний університет,  
м. Суми, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДНОВЛЕННЯ ШКІРИ ЩУРІВ ПІСЛЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ БЕЗ ТА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕРБІЄВОГО ЛАЗЕРУ

**Вступ.** Ультрафіолетове випромінювання, що має значний біологічний вплив серед спектру сонячного світла, може викликати старіння шкіри та пухлини, але в контрольованому використанні має і терапевтично вигідні ефекти на шкіру. Для фототерапії шкірних захворювань використовується ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі 311 нм. Меланін, що міститься в меланосомах (МС), виробляється в меланоцитах (МЦ) в процесі меланогенезу. Фототерапія може викликати клінічну гіперпигментацію, провокуючи збільшення кількості МС. Абляційні лазери, такі як Er:YAG, використовуються для боротьби з гіперпигментацією, але в цей же час мають ризик викликати гіперпигментацію. Частота таких побічних ефектів варіюється від 10 до 46%.

Юлія Линдіна

<https://orcid.org/0000-0002-2132-0965>

Кафедра патологічної анатомії,  
Сумський державний університет,  
м. Суми, Україна

Анатолій Романюк

<https://orcid.org/0000-0003-2560-1382>

Кафедра патологічної анатомії,  
Сумський державний університет,  
м. Суми, Україна

**Мета** дослідження полягала у визначенні змін у чисельності МЦ в епідермісі відносно протяжності базальної мембрани та щільності МС в епідермісі у двох групах тварин: після УФ-опромінення без і з аблятивним лазером.

**Матеріали і методи.** Дослідження починалося імітацією фототерапії дерматозів вузько-смуговим УФ випромінюванням. Тварини розподілені на 2 експериментальні групи – вільної реадаптації, із використанням лазера та групу контролю (інтактні щури). Відбір зразків шкіри проводили від 54 тварин: 12 особин на вивід (по 6 для кожної з груп) 31-го дня, 45-го дня, 61 та 121-го дня та 6 особин групи контролю. Оцінювалися меланоцитарні та меланосомальні компоненти епідермісу, проводилося порівняння між групами та з інтактними тваринами.

**Результати.** У групі вільної реадаптації на 45-й день щільність МЦ досягла  $0,78 \pm 0,16$  клітин на 100 мкм базальної мембрани (одиниць, од.), що перевищує норму, але не виявляє статистичної достовірності ( $p=0,37$ ). На 61-й і 121-й день щільність становила  $0,72 \pm 0,13$  і  $0,70 \pm 0,17$  од. відповідно, що свідчить про кореляцію з часом, який минув,  $r = -0,732$ , але водночас не достовірно відрізняється від показників контрольної групи.

У групі лазерної гіпопигментації щільність МЦ на базальній мембрані становила  $0,68 \pm 0,26$ ,  $0,70 \pm 0,26$  і  $0,69 \pm 0,23$  од. на 45-й, 61-й і 121-й день відповідно, демонструючи стабільність. Кореляція між щільністю МЦ і часом після УФ-опромінення не враховувалася ( $r = -0,485$ ).

Що стосується аналізу МС, то в контрольній групі площа МС становила  $0,77 \pm 0,24\%$  від площі епідермісу. На 31-й день щільність МС досягла піку і становила  $1,21 \pm 0,32\%$ , статистично відрізняючись від контрольної групи ( $p=0,04$ ).

Згодом у групі вільної реадаптації площа МС зменшилася до  $1,03 \pm 0,16\%$  на 45-й день,  $0,91 \pm 0,13\%$  – на 61-й день і  $0,91 \pm 0,25\%$  – на 121-й день. Між щільністю МС і часом, що минув, спостерігалася зворотна кореляція,  $r = -0,735$ .

Подібні закономірності спостерігалися і в групі лазерної абляції. На 45-й, 61-й та 121-й день площа МС становила  $1,07 \pm 0,28\%$ ,  $0,92 \pm 0,22\%$  та  $0,84 \pm 0,19\%$  відповідно. Кореляція між щільністю МС і часом після УФ-опромінення була помітною,  $r = -0,881$ .

Порівняння щільності МС в епідермісі між експериментальними групами не виявило статистичних відмінностей на жодному етапі експерименту.

**Висновки.** Описаний ультрафіолетовий вплив на шкіру не призвів до статистично достовірного збільшення кількості МЦ на базальній мембрані ( $p=0,37$ ), але достовірно збільшив площу МС в епідермісі ( $p=0,04$ ). Порівняння щільності МЦ у групах лазерної гіпопигментації та вільної реадаптації не виявило статистично значущих відмінностей між собою та із групою контролю. Лазерна абляція не призвела ні до збільшення, ні до зменшення середньої концентрації МС в епідермісі порівняно із групою вільної реадаптації.

**Ключові слова:** експеримент, гістологія, щури, шкіра, лазер, *in vivo*, меланоцити, рецептори.

**Автор, відповідальний за листування:** Григорій Сулим, Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
e-mail: [g.sulim@med.sumdu.edu.ua](mailto:g.sulim@med.sumdu.edu.ua)

**Список аббревіатур**

МС – меланосоми

МЦ – меланоцити

УФ – ультрафіолетовий

МЕД – мінімальна еритемна доза

**INTRODUCTION / ВСТУП**

Ультрафіолетове (УФ, UV) випромінювання – найбільш значущий спектр сонячного світла, який викликає фотостаріння та може бути причиною злоякісних пухлин шкіри [1]. Спектр УФ світла умовно поділяють на три підгрупи УФ-А, -В і -С (UVA, UVB, UVC) [1, 3]. Штучне монохроматичне УФ-В світло із максимумом випромінювання на довжині хвилі 311 нм використовується для фототерапії шкірних захворювань, таких як вітіліго, псоріаз, атопічний дерматит, у тому числі і у дітей [2, 4–5, 10–11]. Пігмент меланін є основним фактором, що визначає колір шкіри [6]. Він виробляється у меланосомах (МС) меланоцитами (МЦ) у ході складного процесу, який називається меланогенезом. Каскад складних взаємодій клітин епідермісу, ДНК яких зазнала пошкоджуючого впливу УФ, МЦ, синтезованих ними МС, синтез аутокринних факторів призводить до природної відповіді шкіри – посилення вироблення меланіну, МС, а клінічно може призводити до побічного явища фототерапії – гіперпігментації [6–9]. МЦ знаходяться у базальному шарі епідермісу. Вплив помірних і повторних доз УФ-В, а також інших чинників, може безпосередньо впливати на проліферацію [12, 13]. Окрім безпосереднього впливу на шкіру УФ-випромінювання є основним фактором патогенезу такого гіперпігментного захворювання, як мелазма, оскільки системне УФ-випромінювання підвищує рівень альфа-меланоцит-стимулюючого гормону та адренкортикотропного гормону, що збільшує проліферацію МЦ [14].

У лікарській практиці для лікування післязапальної гіперпігментації серед інших засобів використовують аблятивні лазери, наприклад Ербієвий (ербій: ітрій-алюміній-гранат або Er:YAG), що призводить до клінічного зменшення пігментації шкіри шляхом абляції з поверхні певної частини епідермісу, що містить надлишковий меланін [15]. У той же час, серед побічних ефектів використання аблятивних лазерів описаний розвиток гіперпігментації, що накладає певні ризики та обмеження щодо використання цього методу [16]. Так, частота виникнення побічних гіперпігментних ефектів варіює, залежно від інтенсивності впливу ербієвого лазера, та за різними дослідженнями складає від 10 до 46% [16–18].

**Метою** нашого дослідження було встановити динаміку змін чисельності МЦ епідермісу по відношенню до базальної мембрани (п/мкм) та щільності МС (відношення площі МС до площі епідермісу у %) у двох експериментальних групах тварин – після курсу УФ-опроміненнь без додаткових чинників та після курсу УФ-опроміненнь з використанням аблятивного лазера.

**Об'єкт і методи дослідження.** Щури обох груп були підготовлені до експерименту шляхом сухої депіляції лопаткової ділянки шкіри електричним тримером. УФ випромінювання генерував прилад "Сапфір", із лампою PL-S 9W/01/2P Philips (Польща). Для кожного щура визначалася мінімальна еритемна доза (МЕД) – тривалість експозиції УФ, що викликає почервоніння експериментальної ділянки шкіри наступної доби. Для експерименту використовувалася суберитемна (на 25% коротша, ніж МЕД) доза – тривалість експозиції, що не викликала видимого почервоніння. Опромінення проводилися з імітацією клінічного досвіду проведення фототерапії – з частотою через день, курс опроміненнь складався з 15 сеансів протягом 30 днів.

Після завершення УФ опромінення експериментальних тварин було поділено на дві групи – №1, або такі тварини, що після УФ не отримували ніякого іншого впливу на шкіру – група вільної реадaptaції; №2, або такі, що після УФ проходили процедуру часткової лазерної абляції епідермісу за допомогою апарату Fotona SP Dynamis (Словенія) із частотою раз на тиждень.

Зразки шкіри із ділянки епідермісу збирали панч-біопсією на 31-ий (перший день після завершення УФ-опромінення), 45-ий, 61-ий та 121-ий день експерименту. Для коректного порівняння змін у якості контролю досліджували шкіру інтактних щурів. Загальна кількість зразків – 54. Біоптати шкіри були протягом 24 годин зафіксовані у розчині забуференого формаліну (10%) та поміщені у парафінові блоки.

При імуногістохімічному дослідженні визначали експресію білків S100, використовуючи мишачі моноклональні антитіла (клон 4C4.9) у розведенні 1:150. Позитивний сигнал було виявлено як у інтраепітеліальних МЦ, так і поодиноких гістіоцитах дерми.



Для демонстрації МС використовувалося забарвлення за методом Фонтана-Масона.

Препарати досліджували за допомогою мікроскопа "Carl Zeiss Primo Star" (Німеччина) в комплекті з цифровою камерою "Zeiss AxioCam ERc 5s" (Німеччина) та програмним забезпеченням для захоплення зображень "ZEN 2 (blue edition)" (Німеччина).

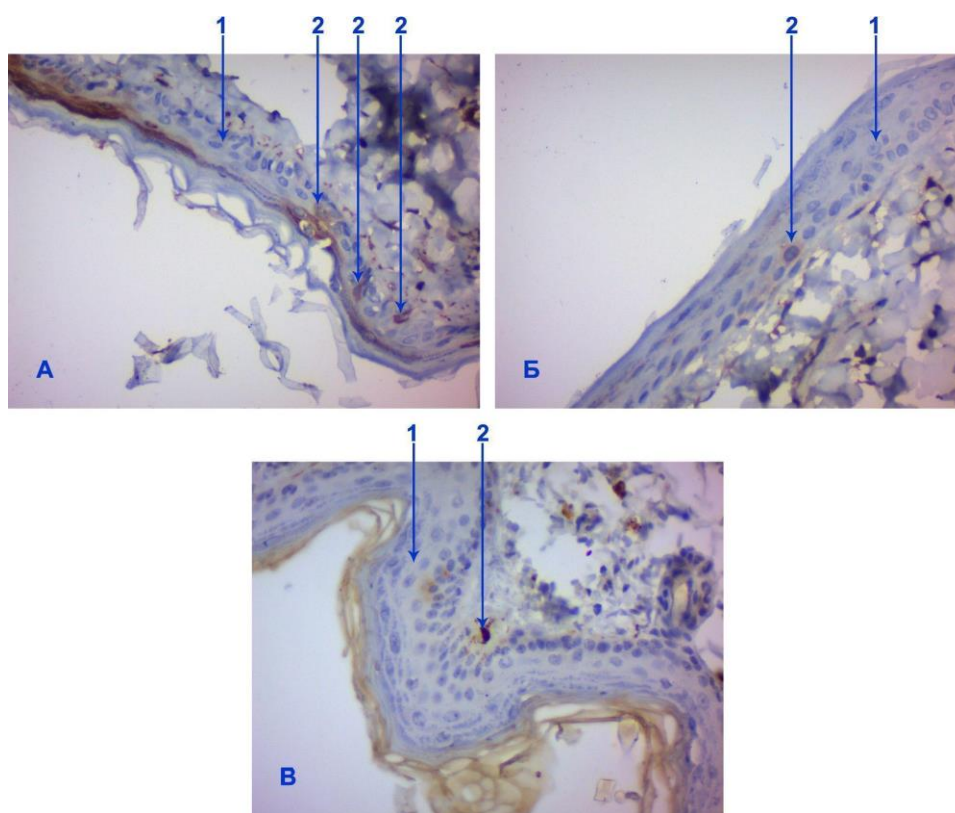
Оцінка кількості МЦ виконувалася підрахунком відповідно забарвлених плям у полі зору та вимірюванням протяжності базальної мембрани за допомогою програми ImageJ – вільно поширюваного програмного забезпечення Національного інституту здоров'я США.

Оцінка кількості МС в епідермісі проводилася на основі власного алгоритму до програми ImageJ із

модифікацією.

Статистичне дослідження достовірності відмінності отриманих результатів проводили за допомогою розрахунку U-критерію Манна-Уїтні в середовищі Google Sheets. Показник  $p \leq 0,05$  вважали таким, що відповідає статистично достовірній відмінності досліджуваних множин даних.

**Результати дослідження.** До проведення порівняння даних різних груп тварин у період реадaptaції попередньо було виміряно щільність МЦ на 100 мкм базальної мембрани (п/мкм) в інтактній групі, де вказане значення становило  $0,69 \pm 0,32$ . При імуногістохімічному дослідженні виявлено прибазально розташовані МЦ, які мали інтенсивний імуногістохімічний сигнал (**рис. 1**).



**Рисунок 1 – Поперечний зріз шкіри щурів після курсу УФ опромінення на 45-ий день експерименту, приклад препарату із групи вільної реадaptaції (А), групи лазерної корекції (Б) та групи контролю (В): 1 –кератиноцити епідермісу, 2 – МЦ епідермісу. Забарвлення S100. Збільшення  $\times 400$**

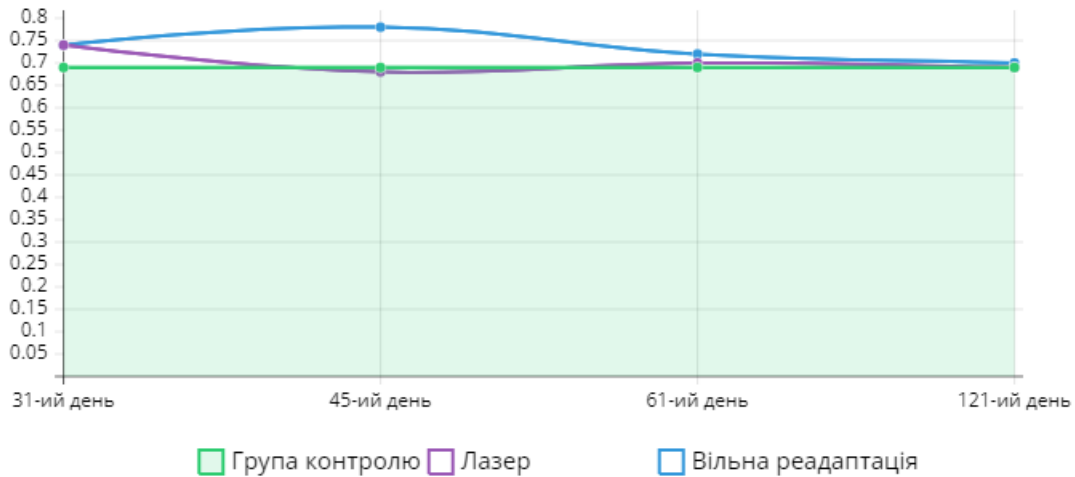
Особливості фонового сигналу цитоплазми деяких кератиноцитів, неоднорідність візуальних презентацій МЦ, наявності візуальних перешкод не дозволило використовувати програмні методи визначення їхньої кількості.

На 31-ий день експерименту всі щури отримували однаковий вплив на шкіру. Щільність МЦ склала для них  $0,74 \pm 0,09$  од. Після цього групи тварин отримували різний вплив, отже роздільно проводилися і обрахунки.

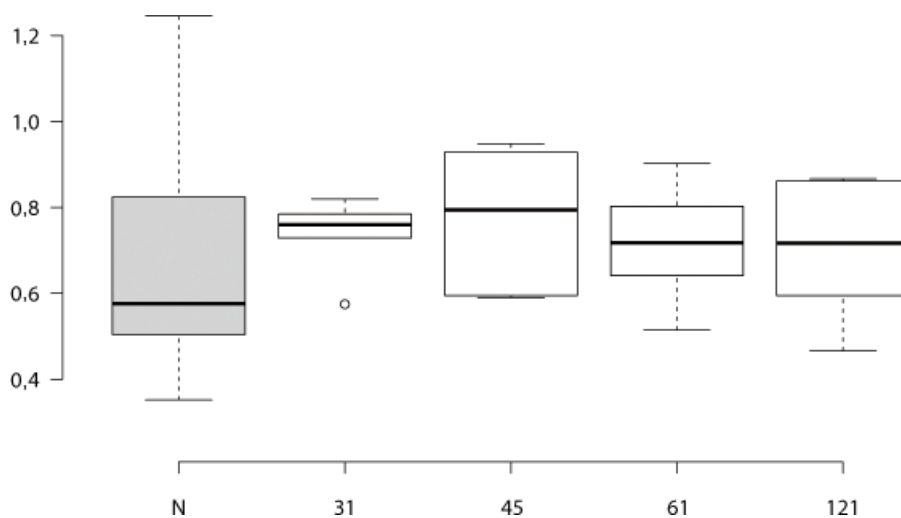
Щільність МЦ в групі вільної реадaptaції на 45-ий день експерименту склала  $0,78 \pm 0,16$  од., що вище за норму (**рис. 2**), але не набуває статистичної достовірності ( $p=0,37$ ) (**табл. 1, рис. 3**). На 61-ий день показник щільності МЦ склав  $0,72 \pm 0,13$  од. та на 121-ий день  $0,70 \pm 0,17$  од. Між днем експерименту та щільністю меланоцитів спостерігається кореляція із коефіцієнтом  $r = -0,732$  – чим більше часу від початку експерименту, тим менша щільність меланоцитів.

**Таблиця 1 – Значення  $p$  при підрахунку  $U$ -критерію Манна-Уїтні для кількості МЦ на 100 мкм базальної мембрани в експериментальних групах по відношенню до контролю по днях**

	31/N	45/N	61/N	121/N	
$P =$	0,37	0,37	0,52	0,73	вільна реадаптація
$P =$	0,37	1,05	0,95	0,73	лазерна депігментація



**Рисунок 2 – Щільність МЦ на базальній мембрані (од.) в експериментальних групах**

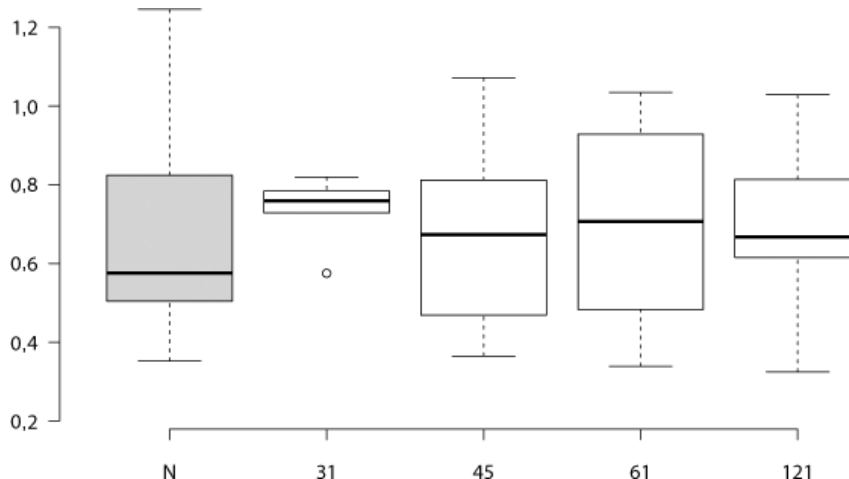


**Рисунок 3 – Графічне представлення значень виміру щільності МЦ на базальній мембрані (од.) в групі вільної реадаптації (горизонтальна вісь: група контролю N, сірий колір та дні експерименту 31, 45, 61, 121; білий колір)**

У групі лазерної гіпопігментації щільність МЦ на базальній мембрані по днях експерименту показала наступні значення: 45-ий день експерименту –  $0,68 \pm 0,26$  од., на 61-ий день –  $0,70 \pm 0,26$  од. та  $0,69 \pm 0,23$  од. – на 121-ий день експерименту (рис. 4). Кореляцією значень щільності меланоцитів та часом,

що пройшов після закінчення УФ опромінення можна знехтувати –  $r = -0,485$ .

При порівнянні значень щільності МЦ в групах лазерної гіпопігментації та вільної реадаптації не було отримано статистичних підтверджень різниці показників (табл. 2).



**Рисунок 4** – Графічне представлення значень виміру щільності МЦ на базальній мембрані (од.) в групі лазерної депігментації (горизонтальна вісь: група контролю N, сірий колір та дні експерименту 31, 45, 61, 121; білий колір)

При розгляді меланосомального компоненту була виміряна частка площі епідермісу, що займають МС в групі контролю. Такий показник склав  $0,77 \pm 0,24\%$ .

**Таблиця 2** – Значення  $p$  при підрахунку U-критерію Манна-Уїтні для кількості МЦ на 100 мкм базальної мембрани між групою лазерної гіпопигментації та вільної реадаптації по днях

	31-ий день	45-ий день	61-ий день	121-ий день
лазерна депігментація до вільної реадаптації, $p =$	$\chi$	0,39	0,94	1,06

На 31-ий день експерименту щільність МС склала  $1,21 \pm 0,32\%$  (рис. 5, 6). У цей момент щільність МС досягла піку та статистично достовірно відрізнялася від групи контролю ( $p=0,04$ , табл. 3).

**Таблиця 3** – Значення  $p$  при підрахунку U-критерію Манна-Уїтні для % площі МС до площі епідермісу в експериментальних групах по відношенню до групи контролю по днях

	31/N	45/N	61/N	121/N	
$P =$	0,04	0,09	0,31	0,52	вільна реадаптація
$P =$	0,04	0,11	0,42	0,82	лазерна депігментація

При порівнянні значень щільності МС в епідермісі обох експериментальних груп між собою та з показниками інтактних тварин не було визначено статистичної відмінності між ними на жодному з етапів експерименту (табл. 3, 4).

Надалі % епідермісу, що займають МС знижується, так на 45-ий день експерименту в групі вільної реадаптації показник склав  $1,03 \pm 0,16\%$ , на 61-ий день –  $0,91 \pm 0,13\%$  та на 121-ий день –  $0,91 \pm 0,25\%$ . Між значенням щільності меланосом в епідермісі та днем експерименту наявна зворотня кореляція із коефіцієнтом  $r = -0,735$  – чим більший час пройшов від УФ опромінення, тим менша щільність меланосом.

Дуже подібна картина відновлення спостерігається в групі лазерної абляції епідермісу (рис. 7). На 45-ий день експерименту значення % площі МС від площі епідермісу склали  $1,07 \pm 0,28\%$ , на 61-ий день –  $0,92 \pm 0,22\%$  та на 121-ий день –  $0,84 \pm 0,19\%$ . Підрахунок кореляції між щільністю меланосом та днем експерименту в групі лазерної депігментації демонструє помітну зворотню кореляцію з  $r = -0,881$  – чим більше часу пройшло після УФ опромінення, тим менша щільність меланосом.

**Обговорення.** Спостерігається певна зміна кількості МЦ базальної мембрани епідермісу одразу після УФ опромінення та в групі вільної реадаптації через два тижні від зупинки УФ опроміненя (45-ий день). Щільність МЦ повертається до норми із

наявною негативною кореляцією між кількістю МЦ та днем експерименту – більше часу від опромінення, ближче до норми значення щільності МЦ. У той же час така динаміка не верифікується статистичним аналізом відмінності сукупності показників експериментальних груп між собою та з нормою. Такі результати свідчать, що УФ, як і інші кофактори неодмінно впливає на шкіру, але застосована тривалість та/або інтенсивність впливу

не є достатньою для достовірного проявлення впливу факторів на меланоцитарну популяцію. Загалом, відомо, що фізіотерапевтичні методи знайшли позитивні відгуки в діагностиці, профілактиці і лікуванні різноманітних патологій [19–22]. Дані результати опосередковано наводять на думку про безпечність використаних фізичних методів, але не можуть бути повністю трактовані таким чином.

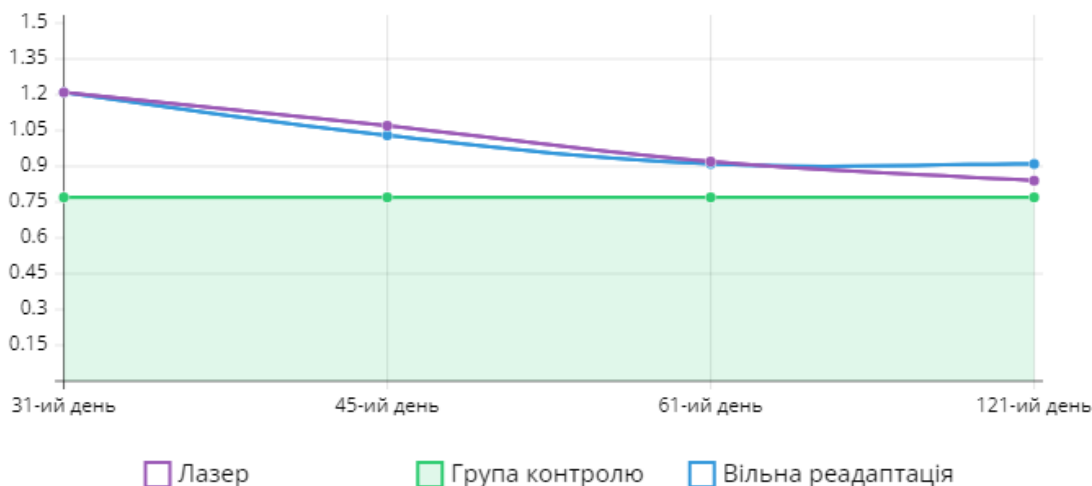


Рисунок 5 – Динаміка відновлення % площі МС від площі епідермісу в експериментальних групах

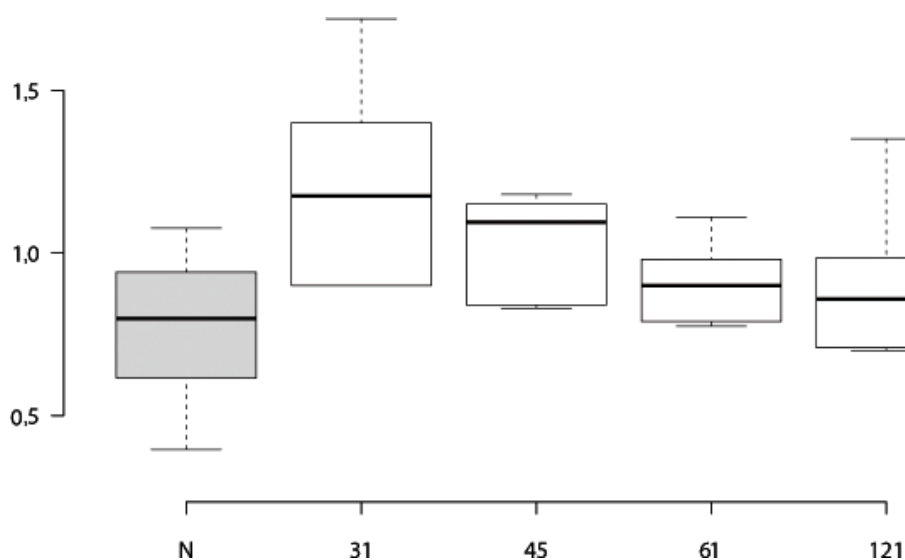


Рисунок 6 – Графічне представлення значень виміру щільності МС відносно епідермісу в групі вільної реабілітації (горизонтальна вісь: група контролю N, сірий колір та дні експерименту 31, 45, 61, 121; білий колір)

Частина площі зрізу епідермісу, що займають МС достовірно збільшується після впливу ультрафіолету та вже за два тижні після нього не виявляє статистично достовірних відмінностей від відповідних показників групи контролю. Примітно, що використання аблятивного лазеру не змінило

частки епідермісу, що займають МС, таким чином не виявивши в умовах експерименту побічного ефекту гіперпігментації, що описаний в літературі та зустрічається в клініці [16–19]. Водночас, потрібно відзначити більше стандартне відхилення середнього показника щільності МС в групі лазерної

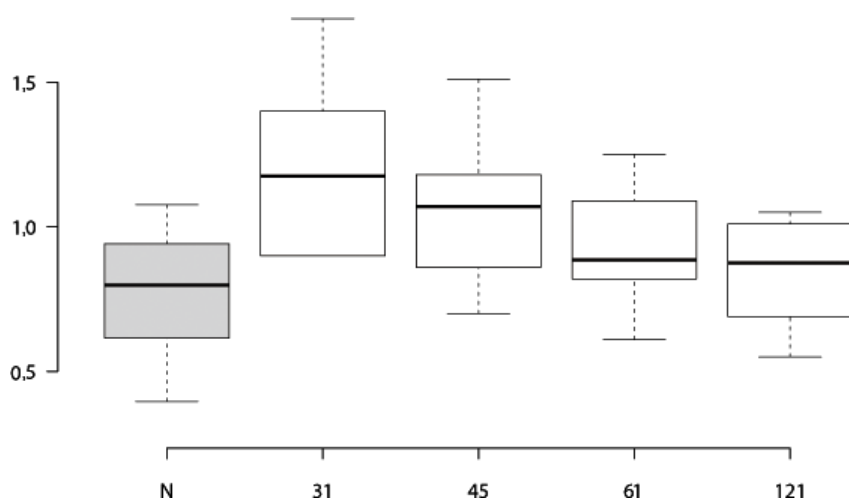


**Таблиця 4 – Значення р при підрахунку U-критерію Манна-Уїтні для % площі МС до площі епідермісу між групою лазерної гіпопигментації та вільної реадаптації по днях**

	31-ий день	45-ий день	61-ий день	121-ий день
лазерна депігментація до вільної реадаптації, р =	×	0,75	1,06	0,82

депігментації на 45-ий день, порівняно із групою вільної реадаптації –  $1,07 \pm 0,28\%$  для лазеру та  $1,03 \pm 0,16\%$  для вільної реадаптації. Не можна

виключити, що крайні вищі значення лазерної групи в дослідженні на великих групах не відповідали б випадкам виникнення побічних гіперпигментних ефектів від використання лазеру. Також, важливим аспектом у профілактиці та лікуванні є контроль стану мікроциркуляції як поверхневого епітелію так і слизових оболонок [19–26]. Також у порівнянні з даними літератури [15], варто брати до уваги помітно більшу енергію лазерного впливу, за якого описана частота гіперпигментних ускладнень ( $22,5 \text{ J/cm}^2$  порівняно до  $3,0 \text{ J/cm}^2$ ), а також потенційно більшу функціональну здатність МЦ шкіри людей з різними фототипами порівняно до шкіри щурів.



**Рисунок 7 – Графічне представлення значень виміру щільності МС відносно епідермісу в групі лазерної депігментації (горизонтальна вісь: група контролю N, сірий колір та дні експерименту 31, 45, 61, 121; білий колір)**

### CONCLUSIONS / ВИСНОВКИ

УФ опромінення призводить до достовірного підвищення щільності меланосом у товщі епідермісу порівняно з групою контролю на 31-ий день ( $p=0,04$ ). Надалі відсоток площі епідермісу, що займають меланосоми, поступово зменшується не досягаючи норми на 121-ий день.

Кількість меланоцитів у епідермісі достовірно не змінилася від вказаного впливу УФ на всіх

етапах спостереження. Імітація лазерних процедур для гіпопигментації не впливає на показник кількості меланоцитів на 100 мкм протяжності базальної мембрани.

Вказаний лазерний вплив на шкіру після УФ опроміненнь не призводить до виникнення відмінностей у щільності меланосом в епідермісі порівняно з групою вільної реадаптації.

### PROSPECTS FOR FUTURE RESEARCH / ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідити вплив УФ опромінення та хімічного й лазерного кофакторів на кількість та дистрибуцію меланосомального компоненту з урахуванням аспекту товщини епідермісу, що разом виступають об'єктивним субстратом меланінової пігментації шкіри.

### CONFLICT OF INTEREST / КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**FUNDING / ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ**

Робота виконана у рамках планової наукової теми кафедри патологічної анатомії СумДУ (номер державної реєстрації 0119U100887) «Сучасні погляди на морфогенез загальнопатологічних процесів» та науково-дослідної роботи (номер державної реєстрації 0123U100111) «Розробка методу діагностики та прогнозування перебігу пухлин з використанням молекул клітинної адгезії раково-ембріонального антигену та циклооксигеназ».

**AUTHOR CONTRIBUTIONS / ВКЛАД АВТОРІВ**

Концептуалізація, Г.С. та А.Р.; методологія, Г.С., М.Л., А.Ш., Ю.Л. та А.Р.; формальний аналіз, Г.С., М.Л.; дослідження, Г.С., М.Л., А.Ш. та Ю.Л.; cura curatam, М.Л., та А.Р.; написання — підготовка оригіналу, Г.С., М.Л., А.Ш., Ю.Л. та А.Р.; написання—рецензування та ред., Г.С., М.Л. та А.Р.; візуалізація, Г.С. та М.Л.; керівництво, А.Р.. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

**REFERENCES/СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

- Pfeifer GP. Mechanisms of UV-induced mutations and skin cancer. *Genome instability & disease*. 2020;1(3):99–113. <https://doi.org/10.1007/s42764-020-00009-8>
- Wang E, Rodrigues M. An update and review of narrowband ultraviolet B phototherapy for vitiligo. *Dermatological Reviews*. 2022;3(5):326–335. <https://doi.org/10.1002/der2.142>
- Nunomura CY, Sousa SJDFE. Ultraviolet radiation and the human eye. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*. 2022. <https://doi.org/10.5935/0004-2749.2021-0354>
- Alikhan A, Felsten LM, Daly M, Petronic-Rosic V. Vitiligo: a comprehensive overview: part I. Introduction, epidemiology, quality of life, diagnosis, differential diagnosis, associations, histopathology, etiology, and work-up. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2011;65(3):473–491. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2010.11.061>
- Bergqvist C, Ezzedine K. Vitiligo: a review. *Dermatology*. 2020;236(6):571–592. <https://doi.org/10.1159/000506103>
- Zamudio Díaz DF, Busch L, Kröger M, Klein AL, Lohan SB, Mewes KR, ... & Meinke MC. Significance of melanin distribution in the epidermis for the protective effect against UV light. *Scientific Reports*. 2024;14(1):3488. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53941-0>
- Cardinali G, Kovacs D, Picardo M. Mechanisms underlying post-inflammatory hyperpigmentation: lessons from solar lentigo. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*. 2012;139(1):148–152. [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(12\)70127-8](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(12)70127-8)
- Dell'Anna ML, Mastrofrancesco A, Sala R, Venturini M, Ottaviani M, Vidolin AP, ... & Picardo M. Antioxidants and narrow band-UVB in the treatment of vitiligo: a double-blind placebo-controlled trial. *Clinical and Experimental Dermatology: Clinical Dermatology*. 2007;32(6):631–636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2230.2007.02514.x>
- Kot YH, Kot KV, & Kurbanov RA. The determination of fibroblast and keratinocyte death types after their transplantation into  $\gamma$ -irradiated porous scaffold in vitro. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 2023;14(4):552–558. <https://doi.org/10.15421/022380>
- Addison R, Weatherhead SC, Pawitri A, Smith GR, Rider A, Grantham HJ, ... & Reynolds NJ. Therapeutic wavelengths of ultraviolet B radiation activate apoptotic, circadian rhythm, redox signaling and key canonical pathways in psoriatic epidermis. *Redox Biology*. 2021;41:101924. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.101924>
- Thomas KS, Batchelor JM, Akram P, Chalmers JR, Haines RH, Meakin GD, ... & UK Dermatology Clinical Trials Network's HI-Light Vitiligo Trial Team. Randomized controlled trial of topical corticosteroid and home-based narrowband ultraviolet B for active and limited vitiligo: results of the HI-Light Vitiligo Trial. *British Journal of Dermatology*. 2021;184(5):828–839. <https://doi.org/10.1111/bjd.19592>
- Martic I, Wedel S, Jansen-Dürr P, & Cavinato M. A new model to investigate UVB-induced cellular senescence and pigmentation in melanocytes. *Mechanisms of Ageing and Development*. 2020;190:111322. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2020.111322>
- Lytvynenko M, Shkolnikov V, Bocharova T, Sychova L, & Gargin V. Peculiarities of proliferative activity of cervical squamous cancer in HIV infection. *Georgian Medical News*. 2017;(270):10–15.
- Schwartz C, Jan A, & Zito PM. Hydroquinone. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; 2023. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539693/>
- Rosa DSA, Aranha ACC, de Paula Eduardo C, & Aoki A. Esthetic treatment of gingival melanin hyperpigmentation with Er:YAG laser: Short-term clinical observations and patient follow-up. *Journal of Periodontology*. 2007;78(10):2018–2025. <https://doi.org/10.1902/jop.2007.070041>
- Ghani H, Khan S, Podwojniak A, Mirza FN, Richards E, Ekeh O, ... & Khatri K. Adverse effects associated with ablative lasers when treating common dermatologic conditions: a systematic review of 946 patients. *Laser Therapy*. 2023;30(2). <https://doi.org/10.4081/ltj.2023.378>
- Hantash BM, De Coninck E, Liu H, & Gladstone HB. Split-face comparison of the erbium micropeel with intense pulsed light. *Dermatologic Surgery*.

- 2008;34(6):763–772. <https://doi.org/10.1097/00042728-200806000-00006>
18. Puri N. A study on fractional erbium glass laser therapy versus chemical peeling for the treatment of melasma in female patients. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*. 2013;6(3):148. <https://doi.org/10.4103/0974-2077.118410>
  19. Sulym H, Lyndin M, Sulym L, Kiptenko L, Sikora Y, Sikora V, & Romaniuk A. Detection of melanin in the rat skin. *Pol Merkur Lekarski*. 2022;50(295):21–24.
  20. Kolupayev S, Lisovyi V, Andoniev N, Geletka O, Lisova M, & Gargin V. Neurophysiological aspects of electrical pulse stimulation in patients with urolithiasis. *Pol Merkur Lekarski*. 2022;50(300):348–351.
  21. Myronov P, Bugaiov V, Holubnycha V, Sikora V, Deineka V, Lyndin M, Opanasyuk A, Romaniuk A, & Pogorielov M. Low-frequency ultrasound increases effectiveness of silver nanoparticles in a purulent wound model. *Biomedical Engineering Letters*. 2020;10(4):621–631. <https://doi.org/10.1007/s13534-020-00174-5>
  22. Myronov P, Duzhyi I, Bugaiov V, Holubnycha V, Sikora V, Opanasyuk A, Romaniuk A, Pererva O, & Pogorielov M. Low-Frequency Ultrasound Reinforces Silver Nanoparticles Effect in Experimental Chronic Non-healing Purulent Wounds Treatment. *BioNanoScience*. 2023;13(4):2337–47. <https://doi.org/10.1007/s12668-023-01195-x>
  23. Nazaryan R, Kryvenko L, & Gargin V. The role of nitric oxide synthase in the modulation of the immune response in atopic disease. *The New Armenian Medical Journal*. 2017;11(2):52–57.
  24. Fesenko D, Glazunov O, Nakonechna O, Nazaryan R, & Gargin V. Consequences of microsequences of microcirculatory disturbances of oral mucosa in modeling of rheumatoid arthritis. *Georgian Medical News*. 2019;(295):137–140.
  25. Duzhiy ID, Nikolaienko AS, Popadynets VM, Kravets OV, Hresko IY, Holubnychyi SO, Sikora VV, Lyndin MS, & Romaniuk AM. Reparative processes features in trophic ulcers caused by diabetes mellitus with the use of platelet-rich plasma. *Wiadomosci Lekarskie*. 2020;73(10):2150–2155.
  26. Denga O, Pyndus T, Gargin V, & Schneider S. Influence of metabolic syndrome on condition of microcirculatory bed of oral cavity. *Georgian Medical News*. 2017;(273):99–104.

Received 15.04.2024

Accepted 15.05.2024

Одержано 15.04.2024

Затверджено до друку 15.05.2024

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

##### Сулім Григорій Анатолійович

Аспірант, кафедра патологічної анатомії, Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: [0000-0002-9822-9545](https://orcid.org/0000-0002-9822-9545)

Електронна адреса: [g.sulim@med.sumdu.edu.ua](mailto:g.sulim@med.sumdu.edu.ua)

##### Линдін Микола Сергійович

К.мед.н., доцент, кафедра патологічної анатомії, Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: [0000-0003-4385-3903](https://orcid.org/0000-0003-4385-3903)

Електронна адреса: [n.lyndin@med.sumdu.edu.ua](mailto:n.lyndin@med.sumdu.edu.ua)

##### Шамрай Алевтина Вікторівна

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Електронна адреса: [alevtynashamrai@gmail.com](mailto:alevtynashamrai@gmail.com)

##### Линдіна Юлія Миколаївна

К.мед.н., кафедра патологічної анатомії, Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: [0000-0002-2132-0965](https://orcid.org/0000-0002-2132-0965)

Електронна адреса: [y.lyndina@med.sumdu.edu.ua](mailto:y.lyndina@med.sumdu.edu.ua)

##### Романюк Анатолій Миколайович

Д.мед.н., професор, кафедра патологічної анатомії, Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: [0000-0003-2560-1382](https://orcid.org/0000-0003-2560-1382)

Електронна адреса: [pathomorph@gmail.com](mailto:pathomorph@gmail.com)