

К.В. Полковнікова
В.С. Коноплицький
Л.В. Фоміна
Ю.Є. Коробко

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова
Вінниця, Україна

Надійшла: 29.08.2025

Прийнята: 12.09.2025

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.122-128>

УДК: 612.79:615.84:611.08

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРМИ ПІД ВПЛИВОМ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Polkovnikova K.V. , Konopliitskyi V.S. , Fomina L.V. , Korobko Yu.Ye.  ✉ Experimental study of the energy impact of a single irradiation with standard laser power and duration parameters on the microcirculatory bed of the dermis.

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine.

ABSTRACT. Topicality. The high efficacy and safety profile of laser therapy allows treatment to be initiated at the earliest stages of disease in patients of different age groups, including pediatric practice. **Objective.** To evaluate morphological alterations in the microcirculatory vessels of the dermis after session of laser irradiation with standard energy and exposure parameters, and to correlate these changes with the dynamics of skin purpura involution. **Object** of the study – morphometric changes of the dermal microcirculatory bed in guinea pigs and their alterations under the influence of laser irradiation. **Methods.** Histological structure and tissue responses of the skin were studied after sequential laser exposure at 30 minutes, 60 minutes, and 90 minutes. Experiments were carried out on guinea pigs, since the morphological structure of their skin is close to that of humans. The authors declare no conflict of interest. **Results.** The analysis of morphometric parameters of the dermal microcirculatory component revealed a direct correlation with the relative area of stromal edema, which represents one of the key morphological features of purpura. It was established that stromal edema increased despite the gradual reduction of visible purpura manifestations, indicating an inverse relationship between superficial clinical signs and deeper structural alterations. At 60 minutes after irradiation, more pronounced vascular congestion and perivascular edema with erythrocyte stasis were observed, accompanied by minor per diapedesis hemorrhages, reactive inflammatory infiltration, and damage to connective tissue elements. **Conclusion.** The comparison of purpura involution dynamics with morphological and morphometric vascular changes demonstrates rapid progression of pathological alterations into deeper dermal layers already at early observation periods following irradiation. The findings confirm the possibility of cyclic pathological changes in dermal structures, particularly in the microcirculatory and vascular compartments, during laser therapy sessions.

Key words: dermis, vascular lesions, laser therapy, treatment, experiment, skin morphology, pathological changes, microcirculatory bed.

Polkovnikova KV, Konopliitskyi VS, Fomina LV, Korobko YuYe. [Experimental study of the energy impact of a single irradiation with standard laser power and duration parameters on the microcirculatory bed of the dermis]. Morphologia. 2025;19(3):122-8. Ukrainian.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.3.122-128>

 Polkovnikova K.V. 0009-0005-2601-9943;  Konopliitskyi V.S. 0000-0001-9525-1547;

 Fomina L.V. 0000-0001-8302-3520;  Korobko Yu.Ye. 0000-0002-3299-878X

✉ lundqist747@gmail.com

© Dnipro State Medical University, «Morphologia»

Вступ

Сьогоднішній спектр методів терапії судинних утворень шкіри є надзвичайно різноманітним — від хірургічного висічення, коагуляції, кріодеструкції, променевої та хіміотерапії до комбінованих підходів. Вибір оптимальної тактики визначається морфологічними та клінічними характерис-

тиками утворення, його типом, розмірами, топографією, а також віком і загальним станом пацієнта [1].

Найбільш радикальним варіантом лікування є повне хірургічне видалення з урахуванням зони відступу та частини інтактних тканин. Втім, такий підхід виправданий не завжди, особливо у випадках розташування новоутворення на косметично

чутливих ділянках або в зонах високої функціональної активності. У таких ситуаціях втручання може спричинити як анатомічні деформації, так і психологічні проблеми, знижуючи якість життя.

З огляду на це активно досліджуються менш травматичні альтернативи. Одним із найбільш перспективних напрямів вважається використання лазерного випромінювання. Сьогодні саме воно визнане «золотим стандартом» лікування поверхневих судинних уражень шкіри. Згідно з концепцією селективного фототермолізу (ТСФТ), світлова енергія вибірково поглинається аномальними судинами, що призводить до їх незворотної термічної деструкції з мінімальним впливом на оточуючі структури. Інтенсивне поглинання лазерного імпульсу гемоглобіном зумовлює локальне випаровування рідини та формування точкових крововиливів, клінічно відомих як пурпура — явище, що безпосередньо підтверджує ефективність механізму ТСФТ [2, 3].

Ряд сучасних досліджень демонструє: навіть у разі відсутності пурпури тканина зберігає перфузію, а темний відтінок ураженої ділянки зберігається протягом кількох тижнів. Тому наявність пурпури розглядається як ключовий прогностичний маркер ефективності терапії [3, 4].

Беручи до уваги припущення, що епідерміс та дерма мають відносно однорідну структуру з низьким вмістом води, їх термічні ушкодження можна застосовувати для оцінки безпечності процедури. Згідно з моделлю дорсальної шкірної камери (ДШК), площа пурпури корелює з об'ємом кровотечі і є пропорційною до кількості залучених судин у зоні впливу лазера [5, 6, 7, 8].

Універсальність і безпечність лазерної терапії дозволяють починати лікування вже на ранніх етапах хвороби, включно з дитячою практикою. Це підтверджує високу актуальність дослідження параметрів лазерного впливу: типу випромінювача, довжини хвилі, потужності та інших технічних характеристик.

Мета

Дослідити морфологічні зміни у судинах мікроциркуляторного русла дерми після впливу лазера зі стандартними параметрами потужності та експозиції й співвіднести їх із динамікою інволюції гіперемії.

Об'єкт дослідження – морфометричні зміни мікроциркуляторного русла дерми морських свинок та їх зміни під впливом лазерного опромінення.

Сьогоднішній спектр методів терапії судинних утворень шкіри є надзвичайно різноманітним — від хірургічного висічення, коагуляції, кріодеструкції, променевої та хіміотерапії до комбінованих підходів. Вибір оптимальної тактики визначається морфологічними та клінічними характеристиками утворення, його типом, розмірами, топографією, а також віком і загальним станом пацієнта [1, 9, 10, 11, 12].

Найбільш радикальним варіантом лікування є повне хірургічне видалення з урахуванням зони відступу та частини інтактних тканин. Втім, такий підхід виправданий не завжди, особливо у випадках розташування новоутворення на косметично чутливих ділянках або в зонах високої функціональної активності. У таких ситуаціях втручання може спричинити як анатомічні деформації, так і психологічні проблеми, знижуючи якість життя.

З огляду на це активно досліджуються менш травматичні альтернативи. Одним із найбільш перспективних напрямів вважається використання лазерного випромінювання. Сьогодні саме воно визнане «золотим стандартом» лікування поверхневих судинних уражень шкіри. Згідно з концепцією селективного фототермолізу (ТСФТ), світлова енергія вибірково поглинається аномальними судинами, що призводить до їх незворотної термічної деструкції з мінімальним впливом на оточуючі структури. Інтенсивне поглинання лазерного імпульсу гемоглобіном зумовлює локальне випаровування рідини та формування точкових крововиливів, клінічно відомих як пурпура — явище, що безпосередньо підтверджує ефективність механізму ТСФТ [2, 3, 13, 14, 15].

Ряд сучасних досліджень демонструє: навіть у разі відсутності пурпури тканина зберігає перфузію, а темний відтінок ураженої ділянки зберігається протягом кількох тижнів. Тому наявність пурпури розглядається як ключовий прогностичний маркер ефективності терапії [3, 4].

Беручи до уваги припущення, що епідерміс та дерма мають відносно однорідну структуру з низьким вмістом води, їх термічні ушкодження можна застосовувати для оцінки безпечності процедури. Згідно з моделлю дорсальної шкірної камери (ДШК), площа пурпури корелює з об'ємом кровотечі і є пропорційною до кількості залучених судин у зоні впливу лазера [5, 16, 17, 18, 19].

Універсальність і безпечність лазерної терапії дозволяють починати лікування вже на ранніх етапах хвороби, включно з дитячою практикою. Це підтверджує високу актуальність дослідження параметрів лазерного впливу: типу випромінювача, довжини хвилі, потужності та інших технічних характеристик.

Матеріали та методи

Нами досліджені зміни гістологічної структури та характер реакцій тканин шкіри після послідовного лазерного опромінення шкіри через 30 хвилин (ділянка № 1), 60 хвилин (ділянка № 2) та 90 хвилин (ділянка № 3). Всі статистичні дослідження проводились у співставних за кількісним та якісним складом групах пацієнтів клінічного аналізу. Належність пацієнтів до обох груп дослідження, з метою збереження принципів рандомізації визначалась "сліпим" методом, з метою запобігання впливу стратифікуючих факторів на результати обчислення. Аналіз отриманих результа-

тів, статистична обробка даних проведена за допомогою пакета прикладних комп'ютерних програм Statistica 6.0 for Windows та ліцензійної версії програми BioStat.

Експериментальна частина була виконана на морських свинках, масою 350,0 – 400,0 г та віком 6 – 8 тижнів. Вибір експериментальних тварин був зумовлений тим, що у ссавців даного виду морфологічна будова шкіри наближена до будови шкіри людини.

В якості контролю були обрані дві інтактні тварини, у яких забирались зразки шкіри в ділянці спини, аналогічно як і у решти тварин.

Концептуальні погляди на опромінення судинних пухлин шкіри знаходяться у площині доцільності використання лазерів, оскільки їх енергія максимально поглинається меланіном епідермісу, що було переконливо доведено дослідженнями Н. Яіа та співавторів [6, 20] (табл. 1).

Таблиця 1

Біотехнічні параметри при лазерному опроміненні шкіри

		Показник	Дерма	Кров
Оптичні властивості	Коефіцієнт поглинання, ($\mu\text{a}/\text{cm}^{-1}$)		20	49,3
	Коефіцієнт розсіювання, ($\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$)		460	466
	Індекс анізотропії, (g)		0,8	0,995
	Індекс заломлення, (n)		1,37	1,33
Теплові властивості	Щільність, ($\rho/\text{kg}\times\text{m}^{-3}$)		1090	1060
	Теплопровідність, ($k/\text{kWt}\times\text{m}^{-1}\times\text{K}^{-1}$)		0,41	0,55
	Питома теплоємність, ($c/\text{Дж}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$)		3500	3600

Енергетичне опромінення шкіри виконували за допомогою імпульсного лазера CandelaTM Vbeam Perfecta (USA) з довжиною хвилі 595 нм, тривалістю імпульсу 0,45 мс, потужністю 9,5 Дж. Тривалість сеансу опромінення в усіх випадках складала 15 хв., а розмір плями опромінення – 7 мм.

Тваринам виконувалась панч-біопсія шкіри в ділянці лазерного опромінення з трьох вище вказаних ділянках I, II та III, під час якої брали по 3 фрагменти шкіри з платизмою із зони енергетичного впливу лазерного опромінення, відступаючи по 0,5 см в сторони від її країв. Для оцінки гістологічної будови шкіри матеріал забирався одноразово та одночасно. Зібраний матеріал фіксували 10 % водним розчином нейтрального формаліну не менше 48 годин, потім його промивали, зневоднювали та заливали в парафін за стандартною схемою. Приготовлені зрізи товщиною 5 – 7 мкм забарвлювали гематоксиліном та еозином. Мікроскопію гістологічних препаратів проводили за допомогою світлового мікроскопу OLIMPUS BX 41 при збільшеннях в 40, 100, 200 и 400 разів. При мікроскопії оцінювали певні морфометричні параметри дерми: відносна площа стромального набряку; відносна площа судин мікроциркуляторного русла дерми; середня кількість судин дерми; діаметр судин мікроциркуляторного русла (капілярів, прекапілярів, посткапілярів); діаметр артеріол та венул дерми; кількість запальноклітинних елементів дерми (сегментоядерних лейкоцитів, плазматичних клітин, одноядерних клітин типу моноцитів крові, макрофагів) в 1 мм²; щільність запальноклітинного інфільтрату [4, 7].

Для виведення на екран монітора кольорового зображення препаратів використовували плату відеозахоплення «Leadtek WinFast VC 100».

Отримували та обробляли знімки, проводили морфометрію та статистичну обробку за допомогою програми «Quick PHOTO MICRO 2.3» (ліцензійна згода № 925113924), що дозволяє проводити 2737 пікселей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Усі дослідження проведені відповідно до етичних норм, отримано інформовану згоду від батьків (опікунів) на участь у дослідженні.

Дослідження проведено з дотриманням положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1985), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001), Закону України № 3447 – IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» згідно з директивою Ради ЄС 2010/63/EU про дотримання постанов, законів, адміністративних положень Держав ЄС з питань захисту тварин, які використовуються з науковою метою [21, 22].

Результати та їх обговорення

У ході експерименту проводили порівняльний аналіз морфометричних характеристик дерми.

Через 30 хвилин після лазерного впливу відносна площа перерізу мікросудин становила $8,14 \pm 0,12 \%$, при середньому діаметрі судин $13,24 \pm 0,35$ мкм. У тканині виявлялися поодинокі запальні клітинні елементи — сегментоядерні лейкоцити, плазмоцити, моноцити крові та макрофаги. Їх чисельність становила відповідно: 9, 5, 8 і 3 клітини на 1 мм². Загальна щільність інфільтрату дорівнювала 25 клітин/мм². Судини мали ознаки ділатції, були наповнені кров'ю, ендотеліальний шар набряклий, реєструвався периваскулярний

набряк. У частині судин виявлявся сладж-феномен еритроцитів, проте тромбози та крововиливи не спостерігались. Середній діаметр артеріол і венул складав $20,18 \pm 0,61$ мкм, їх середня кількість — $17,2 \pm 0,27$. Подібні зміни характеризують лише помірні розлади мікроциркуляції в зоні опромінення.

Відносна площа стромального набряку на цьому етапі дорівнювала $14,03 \pm 0,52$ %, що свідчило про слабко виражену судинну реакцію з підвищенням проникності стінки.

Через 60 хвилин після опромінення площа мікросудинної сітки зросла до $9,15 \pm 0,16$ %, середній діаметр — до $15,45 \pm 0,46$ мкм. У дермі кількість запальних клітин була суттєво більшою: 13 сегментоядерних лейкоцитів, 9 плазматичних клітин, 15 моноцитів, 6 макрофагів на 1 мм^2 . Загальна щільність інфільтрату підвищилася до 43 клітин/ мм^2 . Судини мали помірну дилатацію, залишалися повнокровними, ендотелій був набряклим, спостерігався периваскулярний набряк. Тромбозів не виявлено, але реєструвалися поодинокі пердіapedезні крововиливи. Діаметр артеріол і венул становив $22,86 \pm 0,64$ мкм, їх кількість — $18,9 \pm 0,31$. Це вказувало на більш виражені порушення мікрогемодинаміки порівняно з попереднім часовим інтервалом.

Площа стромального набряку у цей момент

складала $15,98 \pm 0,59$ %, що відповідає помірній судинній реакції з підвищенням проникності судинних стінок.

Через 90 хвилин площа мікросудин досягала $10,12 \pm 0,31$ %, а їх середній діаметр — $16,12 \pm 0,41$ мкм. У дермі з'являлися ділянки коагуляції колагенових волокон та значно більша кількість запальних клітин: 17 лейкоцитів, 14 плазматичних клітин, 18 моноцитів та 9 макрофагів на 1 мм^2 . Щільність інфільтрату досягла 58 клітин/ мм^2 .

Судини мікроциркуляторного русла були чітко дилатовані, з вираженим повнокрів'ям і набряком ендотелію. Фіксувався значний набряк дерми. У низці судин виявлявся сладж-феномен еритроцитів та ознаки тромбозу, відзначалися периваскулярні локальні крововиливи. Діаметр артеріол і венул становив $23,45 \pm 0,54$ мкм, середня кількість — $20,78 \pm 0,37$. Це підтверджувало формування тяжких порушень мікроциркуляції в зоні опромінення.

Відносна площа стромального набряку сягнула $16,87 \pm 0,55$ %, що є свідченням інтенсивної судинної відповіді й високої проникності стінок уражених дермальних шарів.

Отримані в експерименті морфометричні показники узагальнено в зведеній таблиці (табл. 2), що дозволило провести подальший порівняльний аналіз динаміки їх змін.

Таблиця 2
Динаміка змін морфометричних показників дослідження у експериментальних тварин

Морфометричні показники	Час визначення морфометричних показників				
	Через 30 хвилин	Через 60 хвилин	p*	Через 90 хвилин	p*
Відносна площа стромального набряку, (%)	$14,03 \pm 0,52$	$15,98 \pm 0,59$	<0.05	$16,87 \pm 0,55$	<0.05
Відносна площа судин мікроциркуляторного русла, (%)	$8,14 \pm 0,12$	$9,15 \pm 0,16$	<0.05	$10,12 \pm 0,31$	<0.05
Середня кількість судин дерми, (шт.)	$17,2 \pm 0,27$	$18,9 \pm 0,31$	<0.05	$20,78 \pm 0,37$	<0.05
Середній діаметр судин мікроциркуляторного русла, (мкм)	$13,24 \pm 0,35$	$15,45 \pm 0,46$	<0.05	$16,12 \pm 0,41$	<0.05
Середній діаметр артеріол та венул дерми, (мкм)	$20,18 \pm 0,61$	$22,86 \pm 0,64$	<0.05	$23,45 \pm 0,54$	<0.05
Кількість запальних клітинних елементів дерми в 1 мм^2 : сегментоядерні лейкоцити	9	13		17	
плазматичні клітини	5	9		14	
моноцити крові	8	15		18	
Макрофаги	3	6		9	
Щільність запальноклітинного інфільтрату, (мм^2)	25	43		58	

*— достовірність відмінності відносно показників 30 хвилин після опромінення шкіри.

Аналіз показника величини відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середньої кількості судин дерми виявив їх практично подібну прямо пропорційну тенденцію до збільшення у залежності від часу. Крім цього дослідження динаміки змін відносної площі стромального набряку, показало, що вона в більшій ступені корелювала

із відповідними величинами відносної площі судин дерми (рис. 1).

Порівнюючи величини показників середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла та середній діаметр артеріол і венул дерми з'ясовано наявність, в залежності від термінів експерименту, практично прямо пропорційної тенденції до їх одночасного зростання. При цьому, реперні

часові показники відносної площі стромального набряку також володіли позитивною тенденцією до свого збільшення (рис. 2).

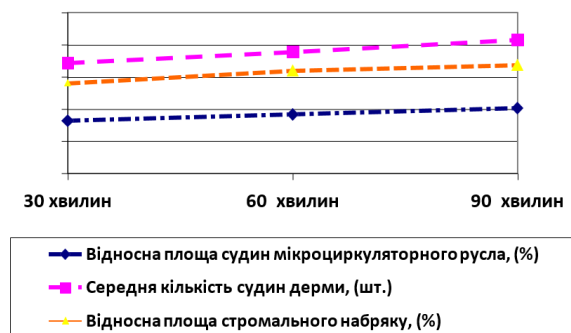


Рис. 1. Лінійні графіки залежності значень відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середньої кількості судин дерми із показником відносної площі стромального набряку.

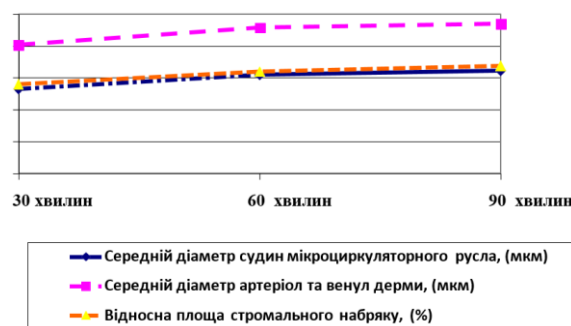


Рис. 2. Лінійні графіки залежності середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметру артеріол і венул із показником відносної площі стромального набряку.

Таким чином, збільшення середнього діаметра судин мікроциркуляторного русла, а також артеріол і венул дерми, супроводжувалося поступовим зростанням відносної площі стромального набряку впродовж експерименту. При цьому виявлено, що ступінь набряку значною мірою корелював саме з показниками діаметра мікросудин, що свідчить про більш виражений вплив лазерного випромінювання на периферичну частину судинного русла шкіри. Саме ця ділянка зазнавала незворотних морфологічних змін, зокрема утворення мікротромбів і облітерації просвіту, що посилювалося дією зовнішнього тиску внаслідок інтерстиціального набряку.

Дослідження динаміки відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметра його елементів показало майже лінійну тенденцію до їх зростання залежно від часу експерименту. Водночас, у всі проміжки спостереження величини стромального набряку більш тісно узгоджувалися саме з діаметром мікросудин, ніж з іншими морфометричними характеристиками (рис. 3).

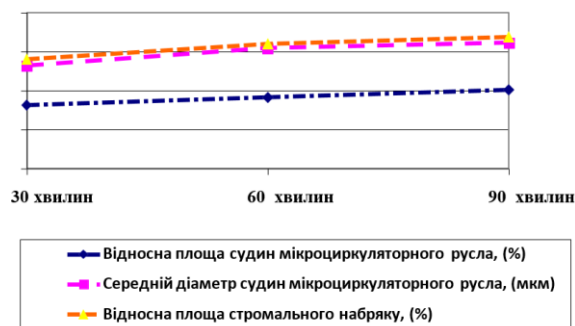


Рис. 3. Лінійні графіки залежності відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла із показником відносної площі стромального набряку.

Порівняння значень взаємного зростання показників середнього діаметру артеріол та венул дерми і середньої кількості судин дерми показало існування майже прямо пропорційної їх динаміки відповідно до термінів експерименту. Однак, важливим на наш погляд є факт відсутності близького співвідношення із показниками які досліджувались, величин відносної площі стромального набряку, хоча остання і мала більш наближений зв'язок, за своїми значеннями, із середньою кількістю судин дерми (рис. 4).

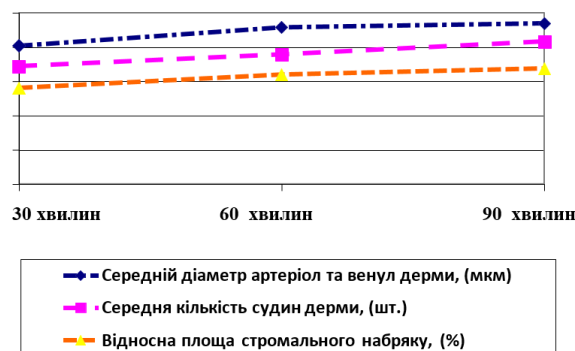


Рис. 4. Лінійні графіки залежності середнього діаметру артеріол та венул дерми і середньої кількості судин дерми із показником відносної площі стромального набряку.

Таким чином, аналіз динаміки морфометричних показників мікроциркуляторної ланки дерми дозволив встановити чітку лінійну залежність цих параметрів від величини відносної площі стромального набряку, яка є одним із ключових морфологічних маркерів пурпури шкіри у всі часові проміжки експерименту. При цьому площа набряку мала виражену тенденцію до зростання, навіть на тлі поступового зменшення видимих клінічних проявів пурпури під час спостереження.

Подібна розбіжність між зовнішніми симптомами та глибинними структурними змінами свідчить про зворотний характер взаємозв'язку між поверхневими ознаками пурпури та інтенсивністю морфологічних порушень у дермі. Уже через

60 хв після впливу лазера відзначалися більш виражене повнокрів'я та периваскулярний набряк, стаз еритроцитів у мікросудинах, дрібні пердіapedні крововиливи та осередки реактивної запальної інфільтрації зі структурними пошкодженнями сполучної тканини, у порівнянні з результатами 30-хвилинного інтервалу.

Ще глибші зміни відмічалися через 90 хв: з'являлися ділянки коагуляції в сполучнотканинних структурах, масивна інфільтрація сегментарних дермис нейтрофілами, виражений набряк дерми з нерівномірним повнокрів'ям мікросудин, явищами лейкопедезу та порушеннями мікроциркуляції. Епідермальний шар у цей період характеризувався ділянками локальної гіперкератозної ущільненості, витончення та вогнищевої десквамації. Судинна реакція шкіри проявлялася паралітичною дилатацією, застійним повнокрів'ям і навіть формуванням тромбів у судинах середнього та великого калібру, що зумовлювало прогресуюче збільшення площі стромального набряку в цілому.

Висновки

1. Феномен пурпури після одноразового лазерного опромінення слід розглядати як клінічно значущий маркер адекватності вибраних енергетичних параметрів впливу.

2. Співставлення інволютивних змін пурпури з морфологічними та морфометричними характе-

ристиками дерми свідчить про швидке поширення патологічних змін у її глибоких шарах уже на ранніх етапах після лазеротерапії.

3. Отримані результати підтверджують імовірність розвитку циклічних патологічних процесів у структурних компонентах дерми, зокрема у мікроциркуляторному та судинному руслі, при проведенні повторних сеансів лазерного лікування за індивідуальними терапевтичними схемами.

Перспективи подальших досліджень

У майбутньому доцільним є розширення експериментальної бази для визначення відмінностей морфологічних реакцій у дермі залежно від типу та параметрів лазерного опромінення. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку оптимальних протоколів лазеротерапії з урахуванням безпечності для глибших структур шкіри.

Інформація про конфлікт інтересів

Потенційних або явних конфліктів інтересів, що пов'язані з цим рукописом, на момент публікації не існує та не передбачається.

Джерела фінансування

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної теми «Розробка сучасних та вдосконалення існуючих методів діагностики, лікування, профілактики та реабілітації хірургічної патології у дітей» (номер державної реєстрації 0123U102436).

Літературні джерела References

1. Khamaysi Z, Jiryis B, Zoabi R, Avitan-Hersh E. Laser treatment of infantile hemangioma. *J Cosmet Dermatol.* 2023;22(2):1–7. doi: 10.1111/jocd.15671.

2. Nie J, Dong X, Tasimeti D, Zhu Y. Research trends and hotspots of laser therapy in hemangioma: a bibliometric and visualization analysis. *Lasers Med Sci.* 2025;40(1):107. doi: 10.1007/s10103-025-04312-2.

3. Chelleri C, Monzani NA, Gelmetti C, Milani GP, Fossali EF, Galeone C, et al. Residual lesions after pharmacological and dye-laser treatment of infantile hemangiomas: critical review of 432 cases. *Lasers Surg Med.* 2020;52(7):597–603. doi: 10.1002/lsm.23205.

4. DeHart AN, Richter GT. Laser treatment of vascular anomalies. *Dermatol Clin.* 2022;40(4):481–7. doi: 10.1016/j.det.2022.06.002.

5. Mesolella M, Allosso S, Mansueto G, Fuggi M, Motta G. Strategies and controversies in the treatment with carbon dioxide laser of laryngeal hemangioma: a case series and review of the literature. *Ear Nose Throat J.* 2022;101(5):326–31. doi: 10.1177/0145561320952191.

6. Nie J, Dong X, Tasimeti D, Zhu Y. Research trends and hotspots of laser therapy in hemangioma:

a bibliometric and visualization analysis. *Lasers Med Sci.* 2025;40(1):107. doi: 10.1007/s10103-025-04312-2.

7. Sebaratnam DF, Wong LCF, Wargon O. Infantile hemangioma. Part 2: management. *J Am Acad Dermatol.* 2021;85(6):1395–404. doi: 10.1016/j.jaad.2021.08.020.

8. Halevy S, Lubart R, Reuveni H, Grossman N. 780 nm low-power laser therapy for wound healing in vivo and in vitro studies. *Laser Ther.* 1997;9(3):159–64. doi: 10.5978/islm.9.159.

9. Filaj V, Jorgaqi E, Byzhyti M. Our experience in the treatment of hemangioma with intense pulsed light laser: a 10-year study in Albania. *Dermatol Ther.* 2021;34(3):e14880.

10. Shah SD, Mathes EF, Baselga E, Frieden IJ, Powell J, Garzon MC, et al. Multicenter retrospective review of pulsed dye laser in nonulcerated infantile hemangioma. *Pediatr Dermatol.* 2023;40(1):28–34.

11. Bossini PS, Fangel R, Habenschus RM, et al. Low-level laser therapy (670 nm) on viability of random skin flap in rats. *Lasers Med Sci.* 2008;24(2):209–13. doi: 10.1007/s10103-008-0551-5.

12. Jia H, Chen B, Li D, Zhang Y. Boundary discretization in the numerical simulation of light propagation in skin tissue: Problem and strategy. *J Biomed*

Opt. 2015;20(2):025007.

13. Biletsky EV, Petrenko EV, Semeniuk DP. Method for calculating the dissipation energy during the flow of generalized-displaced fluid in the channels of technological equipment. *J Chem Technol.* 2023;31(2):376–84. doi: 10.18372/2411-2201.31.37684.

14. Passeron T, Maza A, Fontas E, et al. Treatment of port wine stains with pulsed dye laser and topical timolol: A multicenter randomized controlled trial. *Br J Dermatol.* 2014;170(6):1350–3. doi: 10.1111/bjd.12772.

15. Li D, Chen B, Wu WJ, Wang GX, He YL, Ying ZX. Experimental study on the vascular thermal response to visible laser pulses. *Lasers Med Sci.* 2015;30(1):135–45. doi: 10.1007/s10103-014-1631-3.

16. Schindl A, Heinze G, Schindl M, Pernstorfer-Schön H, Schindl L. Systemic effects of low-intensity laser irradiation on skin microcirculation in patients with diabetic microangiopathy. *Microvasc Res.* 2002;64(2):240–6. doi: 10.1006/mvre.2002.2429.

17. Schindl A, Schindl M, Schön H, et al. Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in

patients with diabetic microangiopathy. *Diabetes Care.* 1998;21(4):580–4. doi: 10.2337/diacare.21.4.580.

18. Kanal J, Núñez M, et al. Effects of He-Ne laser on blood microcirculation during wound healing process. *Lasers Surg Med.* 2000;27(3):249–54. doi: 10.1002/lsm.1101.

19. Bixler JN, Hokr BH, Oian CA, et al. Assessment of tissue heating under tunable laser radiation from 1100 nm to 1550 nm. *arXiv.* 2015. doi: 10.48550/arXiv.1509.08022.

20. Lubashevsky IA, Gafiychuk VV, Priezzhev AV. Laser induced heat diffusion limited tissue coagulation: problem and general properties. *arXiv.* 2000. doi: 10.48550/arXiv.physics/0101002.

21. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes. Strasbourg: Council of Europe. 1986;123:52. Available from: <https://rm.coe.int/168007a67b>.

22. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official Journal of the European Union.* 2010;53(L276):33-79.

Полковнікова К.В., Коноплицький В.С., Фоміна Л.В., Коробко Ю.Є. Порівняльний аналіз морфометричних характеристик дерми під впливом лазерного опромінення.

РЕФЕРАТ. Актуальність. Високі показники ефективності та безпечності лазерної терапії дають можливість розпочинати лікування вже на ранніх етапах патологічного процесу в пацієнтів будь-якого віку, включно з дитячою практикою. **Мета.** Дослідити морфологічні зміни у судинах мікроциркуляторного русла дерми після впливу лазера зі стандартними параметрами потужності та експозиції й співвіднести їх із динамікою інволюції гіперемії. Об'єкт дослідження – морфометричні зміни мікроциркуляторного русла дерми морських свинок та їх зміни під впливом лазерного опромінення. **Методи.** Оцінювали гістологічні зміни та тканинні реакції шкіри після опромінення через 30 хв, 60 хв та 90 хв. Експерименти виконували на морських свинках, оскільки морфологічна структура їхньої шкіри близька до людської. **Результати.** Аналіз морфометричних показників мікроциркуляторного компоненту дерми продемонстрував прямолінійну залежність між ними та відносною площею стромального набряку — ключового морфологічного прояву пурпури. Встановлено, що площа набряку збільшувалася, незважаючи на поступове зменшення видимих проявів пурпури. Це свідчить про наявність оберненого зв'язку між зовнішніми клінічними ознаками та глибинними структурними порушеннями. Через 60 хв після опромінення спостерігалися більш виражене повнокрів'я та периваскулярний набряк із стазом еритроцитів, дрібні пердіapedезні крововиливи та осередки реактивної запальної інфільтрації, що супроводжувалося пошкодженням елементів сполучної тканини. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. **Підсумок.** Співставлення динаміки регресу пурпури з морфологічними та морфометричними характеристиками судинної перебудови дерми свідчить про швидке прогресування патологічних змін у глибші шари шкіри вже на ранніх етапах після опромінення. Отримані результати підтверджують можливість розвитку циклічних патологічних змін у структурних елементах дерми, зокрема в її мікроциркуляторному руслі, під час проведення сеансів лазерної терапії.

Ключові слова: дерма, судинні утворення, лазеротерапія, лікування, експеримент, морфологія шкіри, патологічні зміни, мікроциркуляторне русло.