

УДК: 612.79:615.84:611.08

DOI: 10.24061/2413-4260. XV.3.57.2025.19

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

Вінницький національний медичний університет
ім. М. І. Пирогова
(м. Вінниця, Україна)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВПЛИВУ ОДНОРАЗОВОГО ОПРОМІНЕННЯ ІЗ СТАНДАРТНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОТУЖНОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ЛАЗЕРА НА МІКРОЦИРКУЛЯТОРНЕ РУСЛО ДЕРМИ

Резюме.

Переваги у ефективності і безпечності лазерної терапії дозволяють починати лікування вже на самих ранніх етапах захворювання у пацієнтів різного віку і, в тому числі у педіатричній практиці, впливаючи не тільки безпосередньо на патологічне вогнище, а й для попередження можливих ускладнень, що підтверджує актуальність даної проблематики. Притаманні лазерному опроміненню переваги у лікуванні судинних утворень шкіри потребують подальших детальних досліджень відносно їх максимально ефективного використання, як то тип лазера, раціональна довжина хвилі, потужність та інші біотехнічні параметри опромінення.

Мета – вивчення патологічних змін в судинах мікроциркуляторного русла дерми після одноразового сеансу енергетичного впливу лазерного опромінення за стандартними параметрами його потужності і тривалості на основі їх зв'язку із інволютивними змінами пурпури шкіри.

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). Експериментальна частина була виконана на морських свинках масою 350,0-400,0 г та віком 6-8 тижнів. Вибір експериментальних тварин був обумовлений тим, що у ссавців даного виду морфологічна будова шкіри наближена до будови шкіри людини. Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначених у роботі установ. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей (номер протоколу 37 від 13.05.2025). Статистична оцінка даних проводилася за допомогою програмного забезпечення, вбудованого в Microsoft Excel на базі MS Statistica 10. Стаття виконана у межах науково-дослідної роботи кафедри дитячої хірургії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова «Розробка сучасних та вдосконалення існуючих методів діагностики, лікування, профілактики та реабілітації хірургічної патології у дітей», номер державної реєстрації № 0123U102436, термін виконання 2023-2027 рр.

Результати. Проведений аналіз динаміки морфометричних показників мікроциркуляторного компоненту (ланки) дерми показав певну прямолінійну залежність їх порівняно із величиною відносної площі стромального набряку, як одного зі складових компонентів пурпури шкіри в усі визначені часові терміни експериментального дослідження. При цьому величина відносної площі стромального набряку дерми мала тенденцію до свого збільшення попри зменшення візуальних проявів пурпури протягом експериментального спостереження. Подібний видимий перебіг розвитку поверхневих проявів пурпури дерми після одноразового лазерного її опромінення знаходиться у зворотній залежності (зв'язку) від виразності та поширеності морфологічних змін у більш глибоких шарах шкіри. Так, через 60 хвилин після лазерного опромінення характерними були більш виражені, порівняно із 30 хвилинним інтервалом експерименту, повнокрів'я та периваскулярний набряк із стазом еритроцитів в судинах мікроциркуляторного русла, на тлі незначних пердіапедезних крововиливів і реактивної запальної інфільтрації, пошкодження структурних елементів сполучної тканини.

Висновки. Наявність феномену пурпури шкіри після однократного лазерного опромінення можливо і потрібно розглядати в якості клінічно значимого маркеру ефективності обраних параметрів енергетичного впливу. Співставлення динаміки інволютивного розвитку пурпури із морфологічними та морфометричними параметрами судинних змін у всіх шарах дерми переконливо засвідчує стрімке поширення патологічних чинників у них на тлі збільшення і виразності площі стромального набряку у напрямку більш глибоких її шарів вже у ранні терміни після лазерного опромінення. Результат експериментальних досліджень доводить можливість розвитку циклічних патологічних змін з боку структурних елементів дерми, і насамперед її мікроциркуляторного та судинного русла після проведення кожного наступного сеансу лазеротерапії при реалізації індивідуальної програми лікування судинних утворень шкіри.

Ключові слова: дерма; судинні утворення; лазери; лікування; експеримент; морфологія шкіри; патологічні зміни; мікроциркуляторне русло.

Вступ

Сучасний арсенал методів лікування судинних утворень шкіри досить широкий, від їх хірургічного видалення, коагуляції, кріодеструкції, променевої терапії, хіміотерапії, тощо до комбінованого підходу. Вибір конкретного способу лікування напряму залежить від індивідуальних ознак утворення, а саме від їх типу, лінійних розмірів, локалізації, віку та загального стану пацієнта [1].

Найбільш радикальний спосіб лікування судинних утворень шкіри – радикальне видалення ураженої зони

з невеликим відступом та захопленням здорових тканин, шляхом хірургічної інцизії. Однак, такий підхід до лікування не завжди виправданий, особливо при локалізації судинних утворень на естетично значимих ділянках та функціонально важливих (активних) зонах, через їх можливе структурне порушення і косметичні втрати, що негативно впливає на якість життя та психологічний стан пацієнтів.

Для запобігання подібних ускладнень продовжується пошук менш інвазивних методів лікування, одним

із найбільш перспективних з яких багато дослідників вважають застосування енергії лазерного опромінення.

Ефективна стратегія лікування поверхневих судинних новоутворень шкіри зосереджена на лазерному опроміненні її вогнищ ураження, що вважається золотим стандартом лікування. Відповідно до теорії «селективного фототермолізу» (ТСФТ) (вибірковому поглинанні світла різними біологічними структурами), лазерне опромінення сприяє незворотному термічному пошкодженню аномальних кровоносних судин, з мінімальним негативним впливом на навколишні ділянки шкіри. Сильне поглинання лазерного імпульсу гемоглобіном може легко призводити до випаровування води із крові та утворенню локального крововиливу, який клінічно проявляється у вигляді пурпури, що підтверджує зворотній зв'язок із ТСФТ [2, 3].

Результати багатьох сучасних експериментальних досліджень засвідчують, що ділянка шкіри після впливу лазера залишається перфузованою за відсутності пурпури опромінених судин (темний колір тканин зберігається протягом одного місяця після лікування), тому наявність пурпури зазвичай вважається кінцевим клінічним пунктом якісного лікування і гарним прогностичним показником [3, 4].

З урахуванням логічно обґрунтованого припущення про те, що основні шари шкіри (епідерміс і дерма) розглядаються як тверді, однорідні за складом і будовою її складові, через низький вміст води, її термічні пошкодження можуть використовуватись для характеристики безпеки як епідермісу, так і дерми [4]. З огляду на це припущення вважається, що площа пурпури дорівнює площі кровотечі із судин згідно з моделлю дорсальної шкірної камери (ДШК) (яка ефективна у дослідженні теплової відповіді кровоносних судин) і прямо пропорційна об'ємній частині ділянки кровоносних судин пухлинного утворення шкіри в проекції клінічного лікування (лазерного опромінення) [5].

Переваги у ефективності та безпечності лазерної терапії дозволяють починати лікування вже на самих ранніх етапах захворювання у пацієнтів різного віку, і в тому числі у педіатричній практиці, впливаючи не тільки безпосередньо на патологічне вогнище, а й упевнено попереджувати можливі ускладнення, що підтверджує актуальність даної проблематики.

Притаманні лазерному опроміненню переваги у лікуванні судинних утворень шкіри потребують подальших детальних досліджень відносно їх максимально ефективного використання, як то тип лазера, раціональні довжини хвиль, потужність та інші біотехнічні параметри опромінення.

Мета дослідження – вивчення патологічних змін в судинах мікроциркуляторного русла дерми після одноразового сеансу енергетичного впливу лазерного опромінення за стандартними параметрами його потужності і тривалості на основі їх зв'язку із інволютивними змінами пурпури шкіри.

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 статис-

тичні дослідження проводились в співставимим за кількісним та якісним складом груп 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 результатів, статистична обробка даних проведена за допомогою пакету 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 обумовлений тим, що у свавців даного виду морфологічна будова шкіри наближена до будови шкіри людини.

Експериментальний розділ досліджень проводили у відповідності до Європейській конвенції про захист хребетних тварин, з дотриманням основних правил належної лабораторної практики GLP (1981). Комісією з біоетики ВНМУ ім. М. І. Пирогова встановлено, що дослідження відповідають етичним та морально – правовим вимогам відповідно до наказу МОЗ України № 281 від 01.11.2000 р. Всіх тварин, як в період двотижневого карантину, так і безпосередньо під час експерименту утримували в умовах віварію на стандартній дієті, питво не обмежували. Стан здоров'я та вік експериментальних тварин визначався ветеринаром.

Розподіл тварин згідно обраного дизайну дослідження відповідно до етапів проведеного експерименту представлено в таблиці № 1.

У 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 співавт., (2019) (табл. № 2) [6].

З метою стандартизації умов проведення енергетичного впливу на кожну із ділянок шкіри піддослідних тварин використовували фіксуєчий пристрій власної розробки, який представляє собою фіксуєчу конструкцію, що складається із предметної платформи штативу (1), на якій фіксується за чотири кінцівки лабораторна тварина (з можливістю в стані наркозу), з попередньо підготовленою (поголеною і обробленою розчином антисептики з метою профілактики бактеріальної контамінації) ділянкою шкіри (2), та опорної осі штативу (5), до якої за допомогою фіксуєчого вузла (6) прикріплена вільно рухома вздовж осі штативу горизонтально орієнтована гнучка сітчаста пластина із стандартною площею комірок в 1 см² (4), яка дає можливість моделювати її профіль в залежності від індивідуальної конфігурації поверхні тулуба експериментальної тварини, забезпечуючи таким чином можливість її додаткової фіксації на поверхні предметної платформи штативу, до верхньої частини якої нерухомо закріплено додатковий штатив (7) з фіксуєчим гвинтом (8) горизонтально орієнтованого торця випромінювача (3) з гнучким фібро волоконним світловодом (9) під'єднаним до лазерного апарату, що дозволяє додатково корегувати положення площини торця випромінювача відносно поверхні шкіри (рис. 1).

Таблиця № 1

Дизайн експериментального дослідження

Терміни дослідження	Етапи експериментального дослідження
Через 30 хвилин після опромінення	I етап експерименту (n=5) 15 біоптатів
Через 60 хвилин після опромінення	II етап експерименту (n=5) 15 біоптатів
Через 90 хвилин після опромінення	III етап експерименту (n=5) 15 біоптатів
Загалом	45 біоптатів

Таблиця № 2

Біотехнічні параметри при лазерному опроміненні шкіри

Показники	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, ($\text{p}/\text{kg}\times\text{m}^{-3}$)	1090	1060
	Теплопровідність, ($\text{k}/\text{kBt}\times\text{m}^{-1}\times\text{K}^{-1}$)	0,41	0,55
	Питома теплоємність, ($\text{B}/\text{Дж}\times\text{kg}^{-1}\times\text{K}^{-1}$)	3500	3600

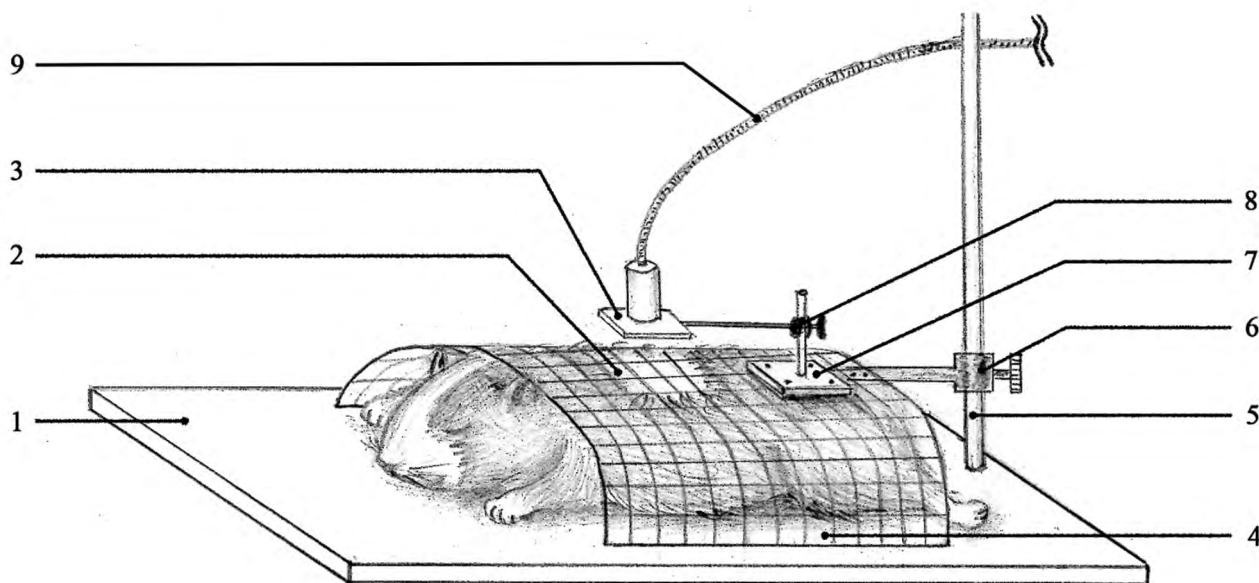


Рис. 1. Схема пристрою для стандартизації величини енергетичної травми шкіри лазерним опроміненням в експерименті на лабораторних тваринах: 1 – предметна платформа штативу; 2 – підготовлена ділянка шкіри; 3 – торець випромінювача; 4 – гнучка сітчаста пластина; 5 – опорна ось штативу; 6 – фіксуючий вузол; 7 – додатковий штатив; 8 – фіксуючий гвинт; 9 – гнучкий фібро волоконний світловод.

Лабораторну тварину в положенні лежачи на животі фіксували за чотири кінцівки на предметній платформі штативу (1), зверху додатково фіксуючи попередньо змодельованою, відповідно до контурів тулуба, гнучкою сітчастою пластиною зі стандартною площею комірок в 1 cm^2 (4), необхідне положення якої утримують за допомогою фіксуючого вузла (6) відносно опорної осі штативу (5), а над попередньо підготовленою поверхнею ділянки шкіри (поголеною і обробленою розчином антисептику з метою профілактики бакте-

ріальної контамінації) в області спини (2), за допомогою додаткового штативу (7) фіксують паралельно ділянки шкіри (2) горизонтально орієнтований торець випромінювача (3), який закріплений за допомогою фіксуючого гвинта (8), до якого під'єднаний гнучкий фіброволоконний світловод (9) для комутації пристрою із лазерним апаратом, зменшуючи таким чином можливості розсіювання лазерного опромінення поза межами безпосередньо визначеної за умовами експерименту ділянки шкіри лабораторної тварини.

На дану методику отримано свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 133258 «Спосіб стандартизації величини енергетичної травми шкіри лазерним опроміненням в експерименті на лабораторних тваринах» від 6 лютого 2025 р.

Безпосередньо, за 60 хвилин, перед проведенням сеансу опромінення, навколо кожної із обраних ділянок шкіри, поза маркерованим колом, з метою місцевого знеболення аплікаційно наносили крем ЕМЛА (Швеція) (рис. 2).

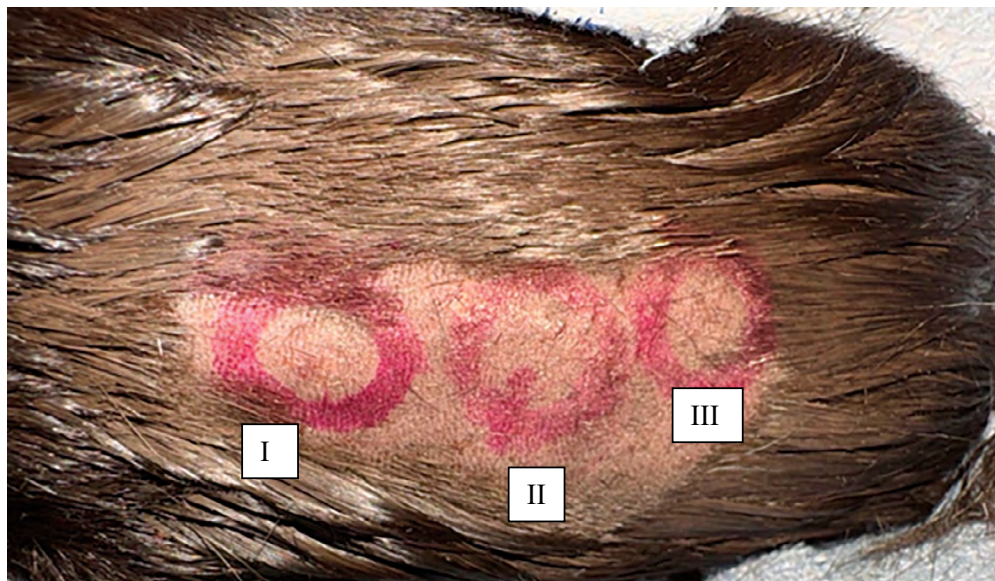


Рис. 2. Загальний вигляд схеми маркування майбутніх ділянок опромінення на шкірі експериментальної тварини.

Енергетичне опромінення шкіри виконували за допомогою імпульсного лазера Candela™ 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 (рис. 3).

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 і 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.

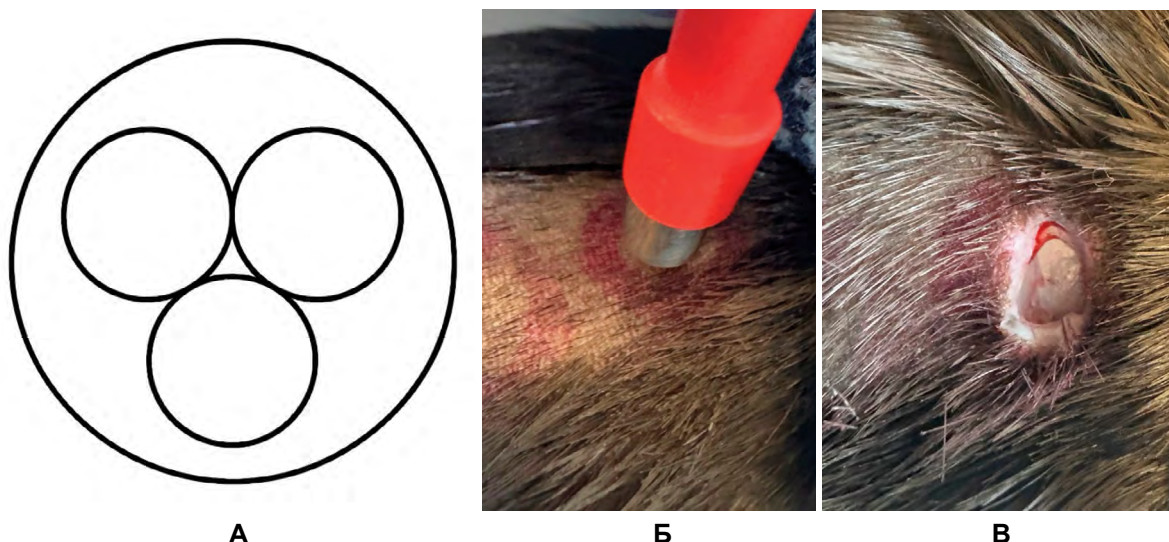


Рис. 3. Схема забору біоптатів шкіри у експериментальних тварин (А); загальний вигляд етапу виконання панч-біопсії (Б); загальний вигляд ділянки шкіри після біопсії (В).

Для виведення на екран монітору 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 пікселів.

Статистична оцінка даних проводилася за допомогою програмного забезпечення, вбудованого в Microsoft Excel на базі MS Statistica 10.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначених у роботі установ.

Стаття виконана у межах науково-дослідної програми кафедри дитячої хірургії ВНМУ ім. М. І. Пирогова «Розробка та вдосконалення сучасних технологій діагностики, лікування, профілактики та реабілітації хірургічних захворювань у дітей», номер державної реєстрації № 0118U003918, термін виконання 2023-2027 рр.

Результати досліджень та їх обговорення

Враховуючи можливості методу Монте-Карло для вивчення випадкових процесів шляхом імітації приблизного відтворення реальних явищ, на основі тетраедру при моделюванні поширення світла та виділенні енергії, з урахуванням того, що кожна окрема «комірка» є поверхнею, яка відповідає складній формі судини шкіри, ми погоджувались із правомочним та очевидним припущенням деяких дослідників, про те

що оптичні властивості різних тканин є постійними та однорідними у межах одного компоненту [7].

Зважаючи на це, нами обрана для концептуальних підходів конкретна модель ДШК, яка у подальшому визначала стратегію дослідження в процесі експерименту, з обов'язковим збереженням цілісності епідермального шару шкіри, що у певній мірі відповідала гістоархітектоніці тканин, які покривають зовнішні поверхневі судинні утворення шкіряного покриву. Подібний стан речей зумовлений законом Паскаля, згідно до якого тиск на рідину або газ передається без змін по всім напрямкам у будь яку точку рідини або газу, засвідчуючи таким чином феномен «нестискаємості» рідини (у нашому випадку крові) [8, 9, 10]. Зважаючи на цей беззаперечний факт, кров, яка у значній своїй об'ємній частці є складовою структурної будови будь якого поверхневого судинного утворення шкіри, гідродинамічний тиск, по мірі росту (збільшення) пухлини/мальформації на оточуючі тканини, поступово призводить до значного витончення та структурної деградації епідермісу, сприяючи при цьому майже повній відсутності в ньому меланіну і елементів додатків шкіри (волосяних фолікулів та залоз), що в свою чергу нівелює (значно зменшує) енергетичні втрати лазерного опромінення у «хибному» епітеліальному шарі. Відповідно до висновків авторів щодо енергетичного порогу судинної кровотечі, поширеність зони розривів судин тісно пов'язана із пурпурою, що спричинена судинними крововиливами, і яка під час сеансу лазеротерапії клінічно визначається співвідношенням площ пурпури, а саме:

$$S_{\text{спів.}} = \frac{S_{\text{п.}}}{H \times S_{\text{лп.}}}, \text{ де (1)}$$

$S_{\text{спів.}}$ – співвідношення площ пурпури (крововиливів);
 $S_{\text{п.}}$ – загальна площа пурпури після сеансу лазеротерапії;
 H – загальна кількість лазерних імпульсів;
 $S_{\text{лп.}}$ – площа лазерної плями.

Ефективний та адекватний діапазон $S_{\text{спів.}}$ на думку авторів, рекомендовано оцінювати з огляду на ступінь одужання через 1 місяць після першого сеансу лікування. При занадто потужному енергетичному впливі ділянка кровотечі також буде значно більшою, а після лікування може супроводжуватись побічними ефектами: гіперемією, термічними опіками, пухирями, рубцями та/або гіпо-/гіперпигментацією. Якщо через 1 місяць побічні ефекти відсутні, прийнятний результат лікування знаходиться в межах рівня кліренсу $S_{\text{спів.}}$ від $\geq 60\%$ до $< 90\%$. При цьому середня величина $S_{\text{спів.}}$ має тенденцію до свого, майже рівномірного, зростання одночасно із збільшенням потоку лазерного опромінення, а ідеальна величина $S_{\text{спів.}}$ має бути вищою ніж $S_{\text{спів.}}$ виражених позитивних результатів і нижче за $S_{\text{спів.}}$ побічних ефектів [11, 12, 13, 14].

Відповідно до ТСФТ, ефективна клінічна користь досягається високою піковою щільністю опромінення і короткою тривалістю його імпульсу, що максимізує ефективність та селективність. Збільшення розміру плями лазера сприяє більш ефективному нагріву тканин, і навпаки, поглиблення нагрівання може бути до-

сягнуто за рахунок менших флюенсів. Тобто поріг флюенсу відповідної судинної кровотечі (пурпури), відповідно до експериментальної моделі дорсальної камери шкіри (ДКШ), визначається як ефективна щільність лазера (ЕЩЛ) [15, 16, 17]. Але при цьому остаточно нез'ясованими залишаються питання структурних змін мікроциркуляторної ланки у різних шарах дерми вже в ранні (протягом перших 1-1,5 годин) терміни після одноразового лазерного опромінення [18, 19, 20].

Для вирішення цього питання нами після послідовного опромінення всіх трьох запланованих для цього ділянок шкіри через 30 (ділянка I), 60 (ділянка II) та 90 (ділянка III) хвилин був оцінений їх макроскопічний вигляд в зоні лазерного впливу (рис. 3).

При реалізації експериментального дослідження нами враховувався той факт, що у морської свинки шкіра в нормі має гістологічну будову, яка максимально відповідає будові дерми у людини. Зовнішній шар шкіри представлений пластом багатошарового плоского роговистого епітелію – епідермісом. Підлегла сполучнотканнна основа – дерма (власне шкіра) без різкої межі переходить в підшкірну клітковину або гіподерму.



Рис. 3. Макроскопічний вигляд ділянки шкіри після лазерного опромінення – через 30 (ділянка I), 60 (ділянка II) та 90 (ділянка III)

Дерма представлена двома різновидами власне сполучної тканини, котрі відповідно формують сосочковий та сітчастий шари, без чіткої межі між ними. Сосочковий шар представлений пухкою волокнистою сполучною тканиною, нерівномірно виражений. Місцями він малопомітний, а місцями зовнішній рельєф епідермісу, повторюючи контури сполучнотканинних сосочків, значно виступає відносно сусідніх ділянок шкіри. Сітчастий шар добре розвинутий, представлений щільною волокнистою неоформленою сполучною тканиною, яка містить додатки шкіри – волосся та тісно зв'язані

з ними сальні залози. Стрижні волосся виступають над поверхнею шкіри. Поодинокі додатки шкіри розташовуються також і в гіподермі, у котру плавно переходить сітчастий шар. Основу гіподерми складає жирова клітковина. Адипоцити, що утворюють жирову тканину, організовані в часточки – компактні скупчення жирових клітин. Часточки мають різну форму та величину, а між собою розмежовані тонкими прошарками пухкої волокнистої сполучної тканини, у якій проходять кровоносні судини та нерви [21, 22, 23, 24, 25]. Зсередини гіподерма відмежована платизмою (рис. 4).

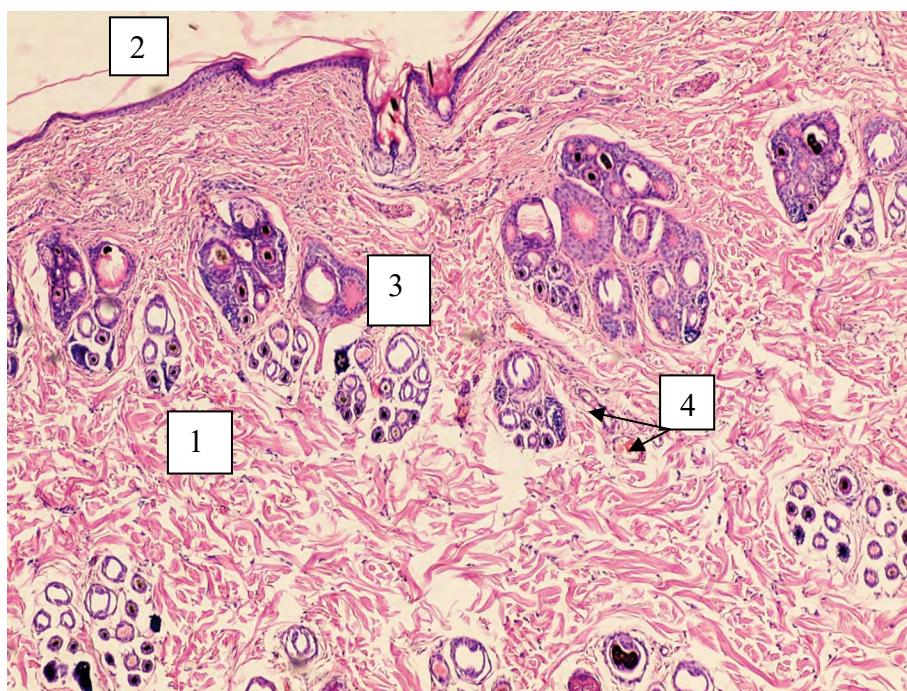


Рис. 4. Інтактна тварина. Нормальна гістологічна будова шкіри морської свинки: 1 – колагенові волокна дерми; 2 – епідерміс; 3 – волоссяні фолікули; 4 – судини мікроциркуляторного русла. Забарвлення гематоксилін та еозин. × 100

Через 30 хвилин від початку експерименту при опроміненні лазером визначались зміни пласта епідермісу. Мало місце деяке потовщення його, обумовлене незначним набряком, вогнищевою балонною дистрофією епітеліоцитів. Зона безпосереднього пошкодження тканин визначалась у вигляді тонкої, ледь помітної нечіткої смужки дещо набряклої дерми, у котрій має місце розсіяна інфільтрація сегментоядерними нейтрофільними лейкоцитами (у т.ч. з ознаками лейкоклазії), серед яких присутні поодинокі лімфоцити та клітини моноцитарного ряду (так звана зона реакції). Серед останніх визначались макрофаги та гістіоцити. Макрофаги округлої або неправильно овальної форми, різні за величиною, ядро їх розташоване ексцентрично, неодинакового ступеню базофільії.

Цитоплазма клітин вакуолізована, містить часточки тканин, що розпадаються, та структурні елементи загнаних лейкоцитів. Гістіоцити визначаються в більш глибоких шарах дерми, форма їх округла чи неправильно витягнута. Цитоплазма їх слабо базофільна, чітко окреслена, дещо зерниста, вакуолізована. Ядро невелике темне, округлої, овальної або бобоподібної форми з великими грудками хроматину. Має місце лише незначний набряк сітчастого шару епідермісу, субепідермальних відділів дерми. Ядра ендотелію судин гемомікроциркуляторного русла набряклі, великі, блідо забарвлені (поодинокі ядра пікнотичні). У цілому збережені фуксинофільні жмутки колагенових волокон щільної волокнистої неоформленої сполучної тканини дерми (рис. 5).

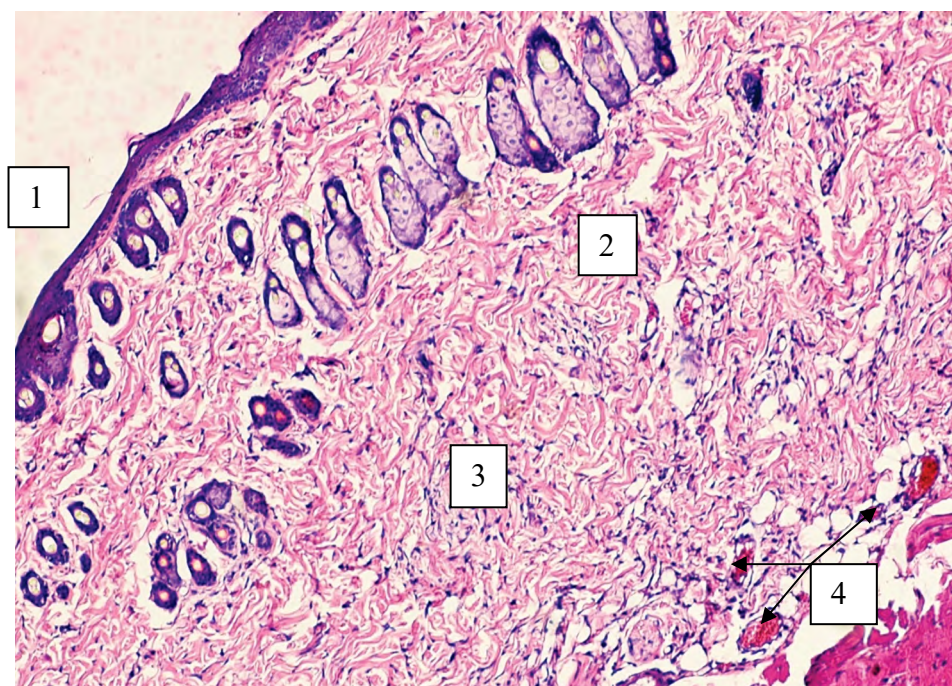


Рис. 5. Шкіра експериментальної морської свинки через 30 хвилин після опромінення:
1 – дистрофічно змінений епідерміс нерівномірної товщини; 2 – незначний набряк дерми;
3 – розсіяна запальноклітинна інфільтрація; 4 – дилатовані повнокровні дрібні судини.
Забарвлення гематоксилін та еозин. × 100

Через 60 хвилин від початку експерименту визначались зміни пласта епідермісу. Місцями мало місце деяке потовщення його, обумовлене незначним набряком, вогнищевою балонною дистрофією епітеліоцитів, а місцями спостерігалось потоншення та ущільнення епідермісу, обумовлене його вогнищевою коагуляцією. Також відзначалось поширення стромального набряку на поверхневі шари шкіри, що свідчить про розвиток виразної судинної реакції. Судини глибоких шарів були повнокровні, зберігається периваскулярний набряк і стаз еритроцитів у судинах мікроциркуляторного русла. На відміну від попереднього терміну спостереження, відбувалось більш глибоке поширення зазначених змін у поверхневих шарах шкіри та наявного набряку безпосередньо у дермі. Судинна реакція шкіри також проявлялась повнокров'ям судин дрібного калібру, що призводило до збільшення відносної площі судин дерми та середнього діаметра судин. Характерними були незначні пердіapedезні

крововиливи. Мала місце реактивна запальна інфільтрація. В клітинному складі інфільтрату переважали сегментоядерні нейтрофільні лейкоцити (в т.ч. з ознаками лейкоклазії), серед яких присутні лімфоцити та макрофаги в невеликій кількості. Виявляються незначно пошкоджені фуксинофільні жмутки колагенових волокон щільної волокнистої неоформленої сполучної тканини дерми (рис. 6).

Через 90 хвилин після опромінення структура шкіри порушена через наявність вогнищ коагуляції та більш виразної запальної інфільтрації сегментоядерними нейтрофільними лейкоцитами. Лімфогістіоцитарні елементи зустрічаються в меншій кількості. Судини гемомікроциркуляторного русла дерми з ознаками нерівномірного повнокров'я. Визначається більш значний набряк дерми. Явища лейкопедезу більш виражені. У дермі визначаються фуксинофільні пучки колагенових волокон оформленої волокнистої сполучної тканини дерми з явищами коагуляції. Судинна

реакція шкіри проявляється паретичною дилатацією, повнокров'ям та тромбозом судин середнього та великого калібрів, що призводить до значного подальшого

збільшення відносної площі судин дерми та середнього діаметра судин. Епідерміс місцями ущільнений, витончений, місцями – десквамований (рис. 7).

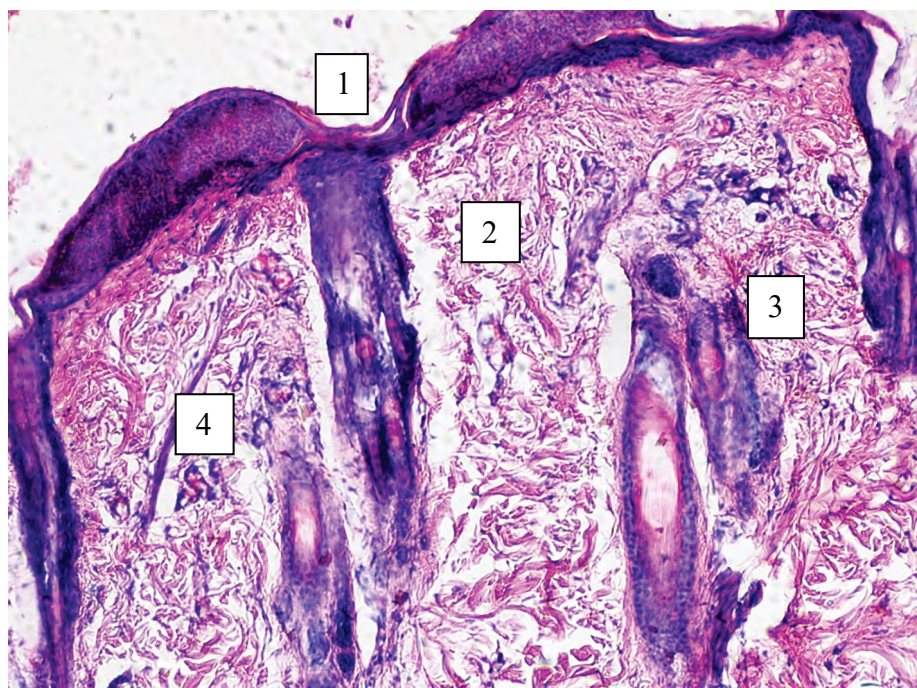


Рис. 6. Шкіра експериментальної морської свинки через 60 хвилин після опромінення: 1 – дистрофічно змінений епідерміс нерівномірної товщини з вогнищами коагуляції; 2 – помірний набряк дерми; 3 – розсіяна запальноклітинна інфільтрація; 4 – дилатовані повнокровні дрібні судини. Забарвлення гематоксилін та еозин. $\times 100$

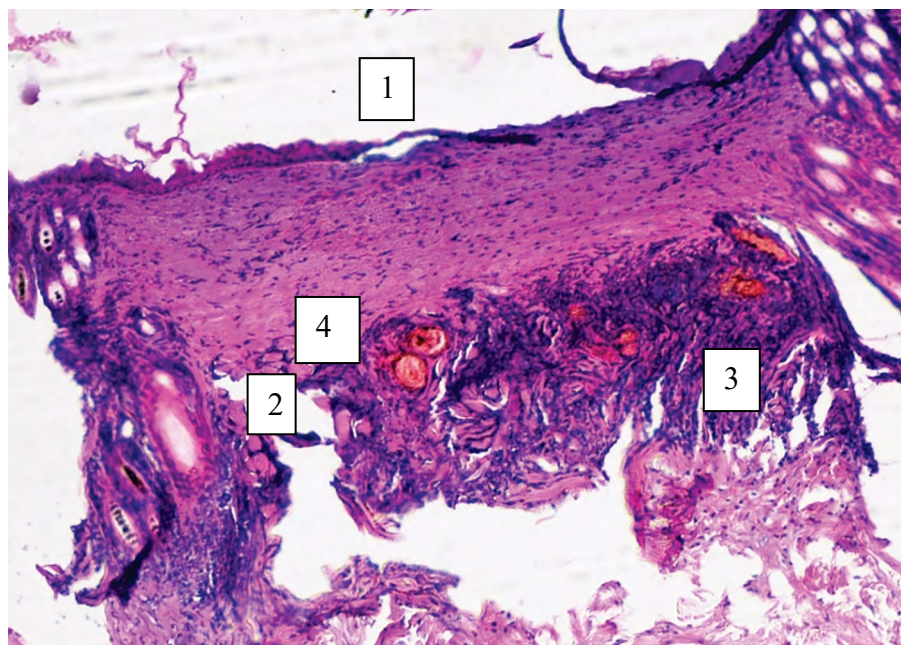


Рис. 7. Шкіра експериментальної морської свинки через 90 хвилин після опромінення: 1 – дистрофічно змінений епідерміс нерівномірної товщини з вогнищами коагуляції та десквамації; 2 – виражений набряк дерми; 3 – розсіяна значна запальноклітинна інфільтрація; 4 – значно дилатовані повнокровні та тромбовані дрібні судини. Забарвлення гематоксилін та еозин. $\times 100$

Другим етапом експерименту було порівняльне дослідження визначених нами морфометричних показників дерми. Через 30 хвилин після експериментального лазерного опромінення шкіри відносна площа перерізу

судин мікроциркуляторного русла складала $8,14 \pm 0,12\%$, а їх середній діаметр – $13,24 \pm 0,35$ мкм. У дермі визначались різні форми запальноклітинних елементів у невеликій кількості (сегментоядерні лейкоцити, плазматичні

клітини, одноядерні клітини типу моноцитів крові, макрофаги). Кількість сегментоядерних лейкоцитів складала 9 клітин в 1 мм², плазматичних клітин – 5 в 1 мм², одноядерних клітин типу моноцитів крові – 8 в 1 мм², макрофагів – 3 в 1 мм². Щільність запальноклітинного інфільтрату складала 25 клітин в 1 мм².

Судини дерми були дилатовані, повнокровні, ендотелій був набряклий, мав місце периваскулярний набряк дерми. У деяких судинах спостерігався складж – феномен еритроцитів. Тромбоз судин, крововиливи не визначались. Діаметр судин складав при цьому 20,18 ± 0,61 мкм, а їх середня кількість – 17,2 ± 0,27 шт. Ці зміни в судинах свідчать про мало виражені порушення мікрогемодинаміки в опромінених тканинах. Відносна площа стромального набряку складала 14,03 ± 0,52%, що є свідченням мало вираженої реакції судин та підвищеної проникності їх стінки в ураженій шкірі у цей часовий проміжок після енергетичного впливу.

Через 60 хвилин від початку експерименту відносна площа судин мікрогемодинамічного русла складала 9,15 ± 0,16%, а їх середній діаметр – 15,45 ± 0,46 мкм. У дермі визначались різні форми запальноклітинних елементів у більшій кількості, ніж через 30 хвилин після опромінення. Кількість сегментоядерних лейкоцитів складала 13 клітин в 1 мм², плазматичних клітин – 9 в 1 мм², одноядерних клітин типу моноцитів крові – 15 в 1 мм², макрофагів – 6 в 1 мм². Щільність запальноклітинного інфільтрату складала 43 клітини в 1 мм².

Судини дерми були помірно дилатовані, повнокровні, ендотелій був набряклий, мав місце помірний набряк дерми. У деяких судинах спостерігався складж – феномен еритроцитів. Ознак тромбозу судин не було. Визначались периваскулярні пердіapedезні крововиливи. Середній діаметр артерій та венул складав при цьому 22,86 ± 0,64 мкм, а їх середня кількість –

18,9 ± 0,31 шт. Ці зміни в судинах свідчать про помірні порушення мікрогемодинаміки в ураженій шкірі.

Відносна площа стромального набряку складала 15,98 ± 0,59%, що є свідченням помірно вираженої реакції судин та підвищеної проникності їх стінки в ділянці ураженої шкіри.

Через 90 хвилин від початку експерименту відносна площа судин мікроциркуляторного русла дерми складала 10,12 ± 0,31%, а їх середній діаметр – 16,12 ± 0,41 мкм. У дермі визначались ділянки коагуляції колагенових волокон та різні форми запальноклітинних елементів у більшій кількості, ніж через 60 хвилин від початку експерименту. Кількість сегментоядерних лейкоцитів складала 17 клітин в 1 мм², плазматичних клітин – 14 в 1 мм², одноядерних клітин типу моноцитів крові – 18 в 1 мм², макрофагів – 9 в 1 мм². Щільність запальноклітинного інфільтрату складала 58 клітин в 1 мм².

Судини мікрогемодинамічного русла були значно дилатовані, повнокровні, ендотелій був значно набряклий, мав місце значний набряк дерми. У судинах спостерігався складж – феномен еритроцитів, а в деяких – тромбоз. Мали місце периваскулярні вогнищеві крововиливи. Діаметр артерій та венул складав при цьому 23,45 ± 0,54 мкм, а середня кількість їх – 20,78 ± 0,37 шт. Ці зміни в судинах свідчать про значні порушення мікрогемодинаміки в опроміненій шкірі. Відносна площа стромального набряку складала 16,87 ± 0,55%, що є свідченням вираженої судинної реакції та підвищеної проникності судинної стінки в уражених шарах дерми.

Отримані в процесі експериментального дослідження показники вивчених морфометричних величин наведені в зведеній таблиці з метою об'єктивізації подальшого аналізу динаміки їх змін та взаємного впливу (табл. 3).

Таблиця 3

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±0.52	15.98±0.59	<0.05	16.87±0.55	<0.05
Відносна площа судин мікроциркуляторного русла, (%)	8.14±0.12	9.15±0.16	<0.05	10.12±0.31	<0.05
Середня кількість судин дерми, (шт.)	17.2±0.27	18.9±0.31	<0.05	20.78±0.37	<0.05
Середній діаметр судин мікроциркуляторного русла, (мкм)	13.24±0.35	15.45±0.46	<0.05	16.12±0.41	<0.05
Середній діаметр артерій та венул дерми, (мкм)	20.18±0.61	22.86±0.64	<0.05	23.45±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	

Примітка: * – 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 у більшій ступені корелювала з відповідними величинами відносної площі судин дерми (рис. 8).

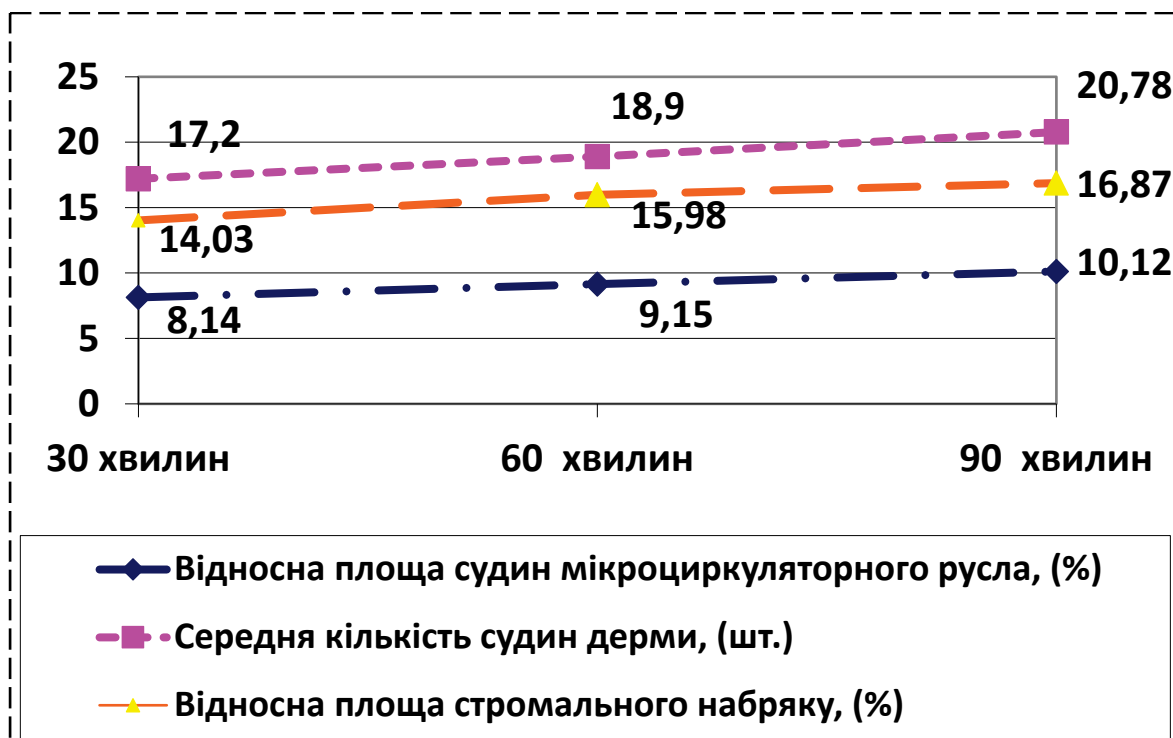


Рис. 8. Лінійні графіки залежності значень відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середньої кількості судин дерми із показником відносної площі стромального набряку

Порівнюючи величини показників середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла та середній діаметр артеріол і вену дерми з'ясовано наявність, у 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. 9).

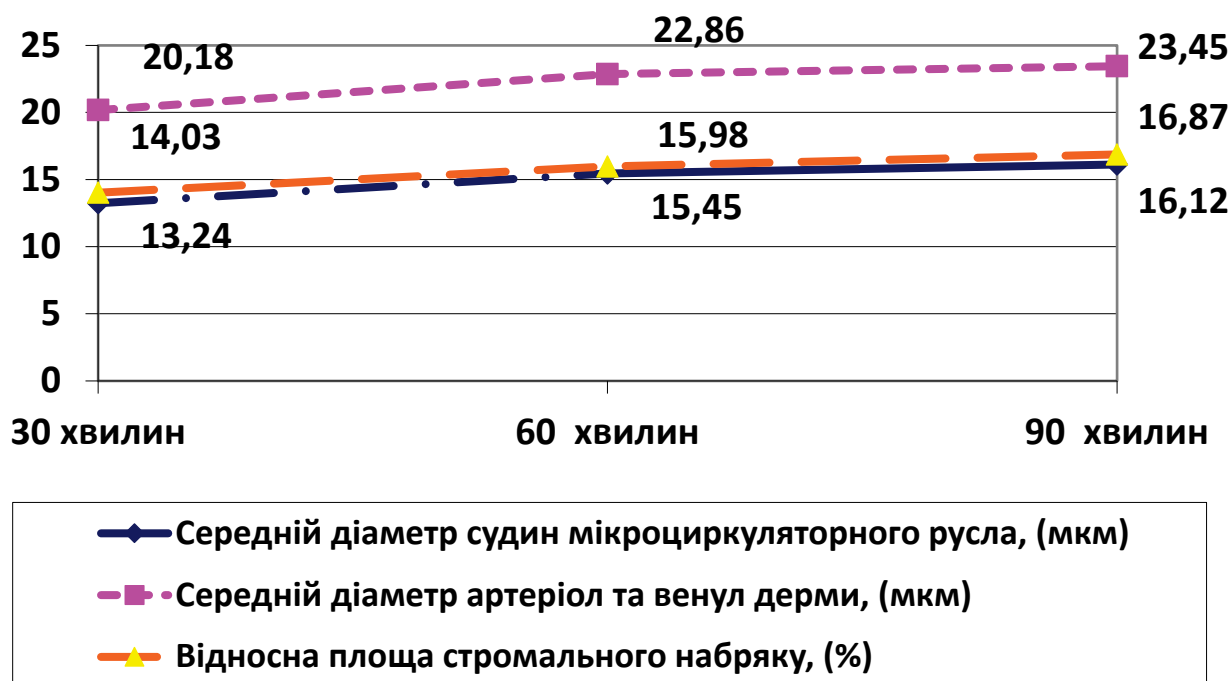


Рис. 9. Лінійні графіки залежності середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметру артеріол і венул із показником відносної площі стромального набряку

Отже, зростання середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла та відповідно середнього діаметру артеріол та вену дерми зумовлювало збільшення відносної площі стромального набряку з часом експерименту. При цьому, величину відносної площі стромального набряку в більшій ступені визначає залежність від показника середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла, що вказує на більший виражений енергетичний вплив лазерного опромінення шкіри саме на периферійну ланку її кровообігу, викликаючи в ній незворотні деструктивні процеси (утворення мі-

кротромбів, облітерація просвіту) під постійним впливом тиску, внаслідок набряку, зовні на судинну стінку.

Аналіз динаміки показників відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметру мікроциркуляторного русла визначив існування майже прямо пропорційної їх динаміки в залежності від тривалості експерименту. Також показовим, на наш погляд, був той факт, що показники відносної площі стромального набряку, в усі терміни експериментального дослідження, ближче співвідносились із величинами середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла (рис. 10).

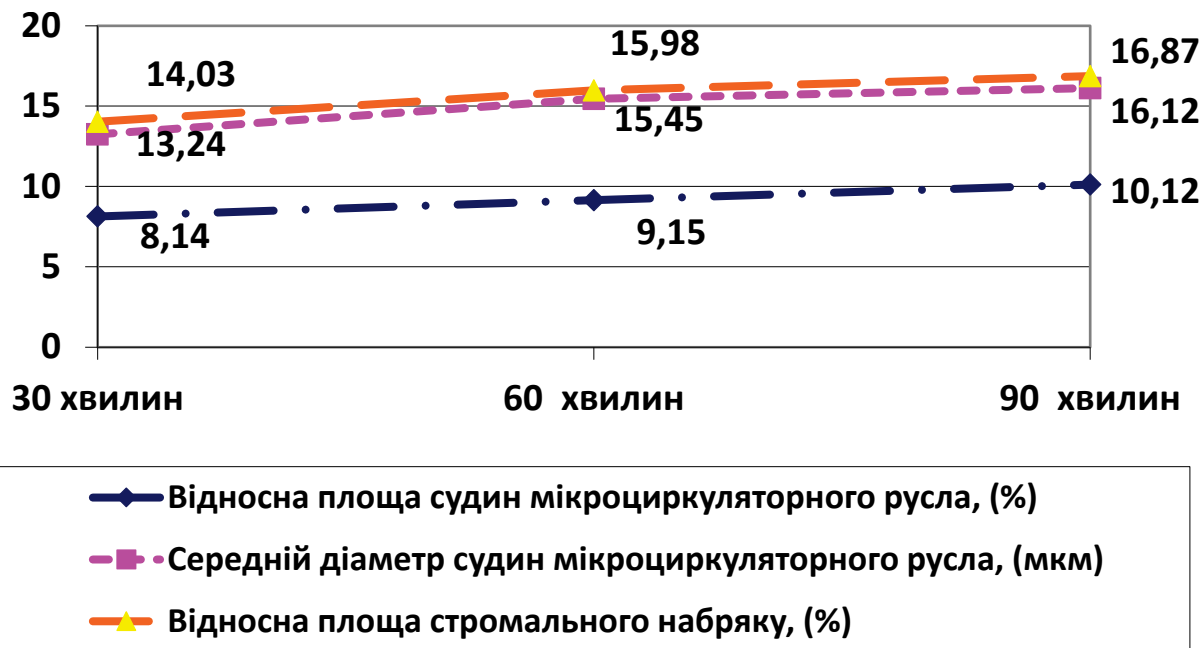


Рис. 10. Лінійні графіки залежності відносної площі судин мікроциркуляторного русла та середнього діаметру судин мікроциркуляторного русла із показником відносної площі стромального набряку.

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 по-

гляд 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. 11).

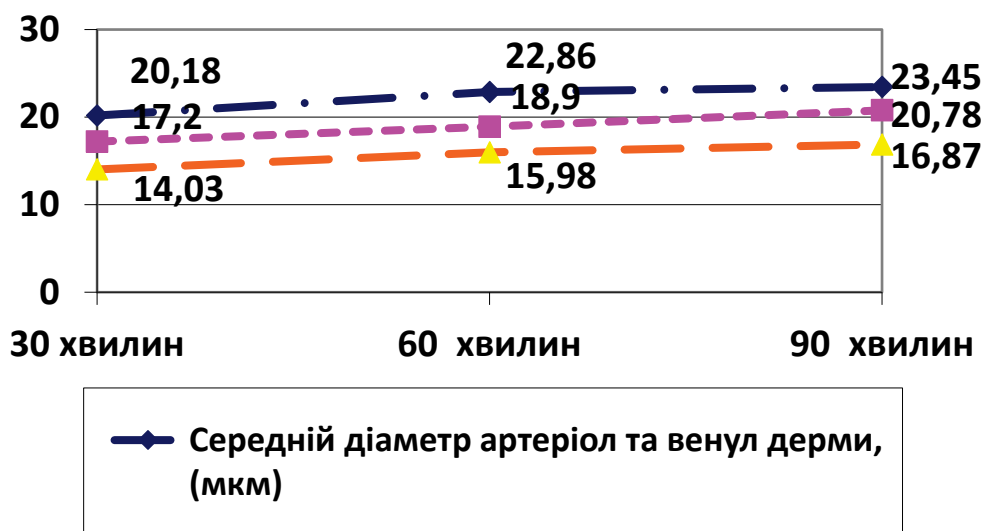


Рис. 11. Лінійні графіки залежності середнього діаметру артеріол та венул дерми і середньої кількості судин дерми із показником відносної площі стромального набряку.

Таким чином, проведений аналіз динаміки морфометричних показників мікроциркулярного компоненту (ланки) дерми з'ясував певну прямолінійну залежність їх порівняно із величиною відносної площі стромального набряку, як одного зі складових компонентів пурпури шкіри в усі визначені часові терміни експериментального дослідження.

При цьому величина відносної площі стромального набряку дерми мала тенденцію до свого збільшення попри зменшення візуальних проявів пурпури протягом експериментального спостереження.

Подібний видимий перебіг розвитку поверхневих проявів пурпури дерми після одноразового лазерного її опромінення знаходиться в зворотній залежності (зв'язку) від виразності та поширеності морфологічних змін в більш глибоких шарах шкіри. Так, через 60 хвилин після лазерного опромінення характерними були більш виражені, порівняно із 30 хвилинним інтервалом експерименту, повнокрів'я та периваскулярний набряк зі стазом еритроцитів в судинах мікроциркуляторного русла на тлі незначних пердіapedезних крововиливів і реактивної запальної інфільтрації, пошкодження структурних елементів сполучної тканини.

Ще більш виразні і глибокі порушення структури дерми спостерігались через 90 хвилин після лазерного опромінення за рахунок наявності вогнищ коагуляції в структурі сполучної тканини та значної її запальної інфільтрації сегментоядерними нейтрофільними лейкоцитами, вираженого набряку глибоких шарів шкіри з ознаками нерівномірного повнокрів'я судин гемомікроциркуляторного русла, вираженими явищами лейкопедезу. Епідермальний шар представлений ділянками локального ущільнення-витончення та вогнищевої його десквамації. Судинна реакція шкіри характеризувалась

паралітичною дилатацією, повнокрів'ям та тромбозом судин великого і середнього калібру, що в подальшому сприяє збільшенню їх відносної площі, а отже і площі стромального набряку в цілому, в процесі перебігу патологічного процесу.

Висновки

1. Наявність феномену пурпури шкіри після однократного лазерного опромінення можливо і потрібно розглядати в якості клінічно значимого маркера ефективності обраних параметрів енергетичного впливу.

2. Співставлення динаміки інволютивного розвитку пурпури із морфологічними та морфометричними параметрами судинних змін у всіх шарах дерми переконливо засвідчує стрімке поширення патологічних чинників у них на тлі збільшення і виразності площі стромального набряку у напрямку більш глибоких її шарів вже у ранні терміни після лазерного опромінення.

3. Результат експериментальних досліджень доводить можливість розвитку циклічних патологічних змін з боку структурних елементів дерми, і насамперед її мікроциркуляторного та судинного русла після проведення кожного наступного сеансу лазеротерапії при реалізації індивідуальної програми лікування судинних утворень шкіри.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. При проведенні досліджень у батьків (опікунів) була отримана інформована згода.

Джерела фінансування. Стаття опублікована без фінансової підтримки.

Література:

1. Hoeger PH, Harper JJ, Baselga E, Bonnet D, Boon LM, Ciofi Degli Atti M, El Hachem M, Oranje AP, Rubin AT, Weibel L, Léauté-Labrèze C. Treatment of infantile haemangiomas: recommendations of a European expert group. *Eur J Pediatr*. 2015;174(7):855-65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00431-015-2570-0>. PMID: 26021855.
2. 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: <https://doi.org/10.1007/s10103-014-1631-3>. PMID: 25048855.
3. Li D, Farshidi D, Wang GX, He YL, Kelly KM, Wu WJ, et al. A comparison of microvascular responses to visible and near-infrared lasers. *Lasers Surg Med*. 2014;46(6):479-87. DOI: <https://doi.org/10.1002/lsm.22250>. PMID: 24974953; PMCID: PMC4356526.
4. Zhang JZ, Zhang XX, Audette M. A photothermal model of selective photothermolysis with dynamically changing vaporization temperature. *Lasers Med Sci*. 2011;26(5):633-40. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-011-0949-3>. PMID: 21732112.
5. Jia H, Chen B, Li D. Theoretical study on pressure damage based on clinical purpura during the laser irradiation of port wine stains with real complex vessels. *Appl Sci*. 2019;9(24):5478. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9245478>
6. Jia H, Chen B, Li D. Criteria of pressure and thermal damage during laser irradiation of port wine stains: Which is dominant to vascular lesions? *Int J Heat Mass Transf*. 2019;132:848-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.049>
7. 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):25007. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.jbo.20.2.025007>. PMID: 25710306.
8. 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: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.277115>
9. Passeron T, Maza A, Fontas E, Toubel G, Vabres P, Livideanu C, 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: <https://doi.org/10.1111/bjd.12772>. PMID: 24641096.
10. 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: <https://doi.org/10.1007/s10103-014-1631-3>. PMID: 25048855.
11. Schindl A, Heinze G, Schindl M, Pernerstorfer-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: <https://doi.org/10.1006/mvre.2002.2429>. PMID: 12204648.
12. Schindl A, Schindl M, Schon H, Knobler R, Havelec L, Schindl L. Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy. *Diabetes Care*. 1998;21(4):580-4. DOI: <https://doi.org/10.2337/diacare.21.4.580>. PMID: 9571346.

13. Katta N, Santos D, McElroy AB, Estrada AD, Das G, Mohsin M, et al. Laser coagulation and hemostasis of large diameter blood vessels: effect of shear stress and flow velocity. *Sci Rep.* 2022;12:8375. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12128-1>
14. El Saftawy E, Sarhan R, Hamed A, Elhawary E, Sameh A. Lasers for cutaneous lesions: an update. *Dermatologic Therapy.* 2022;35(8): e15647. DOI: <https://doi.org/10.1111/dth.15647>. PMID: 35714173.
15. Shimanouchi K, Rikihisa N, Saito Y, Iuchi K, Tsumura N, Sakai H, et al. Artificial red blood cells increase large vessel wall damage and decrease surrounding dermal tissue damage in a rabbit auricle model after subsequent flashlamp-pumped pulsed-dye laser treatment. *J Dermatol.* 2021;48(5):600-12. DOI: <https://doi.org/10.1111/1346-8138.15805>. PMID: 33630391.
16. Magnain C, Castel A, Boucneau T, Simonutti M, Ferezou I, Rancillac A, et al. Holographic laser Doppler imaging of microvascular blood flow. *J Optic Society of America A.* 2014;31(12):2723-35. DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.002723>
17. Brandl A, Egner C, Reisser U, Lingenfelder C, Schleip R. Influence of high-energy laser therapy to the patellar tendon on its ligamentous microcirculation: An experimental intervention study. *PLoS One.* 2023;18(3): e0275883. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275883>. PMID: 36972259; PMCID: PMC10042339.
18. Hohenauer E, Deliens T, Clarys P, Clijsen R. Perfusion of the skin's microcirculation after cold-water immersion (10 °C) and partial-body cryotherapy (-135 °C). *Skin Res Technol.* 2019;25(5):677-82. DOI: <https://doi.org/10.1111/srt.12703>. PMID: 31038232; PMCID: PMC6849860.
19. De Decker I, Klotz T, Vu P, Hoeksema H, De Mey K, Beeckman A, et al. Influence of Moisturizers on Skin Microcirculation: An Assessment Study Using Laser Speckle Contrast Imaging. *J Pers Med.* 2023;13(10):1507. DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm13101507>. PMID: 37888118; PMCID: PMC10608544.
20. VoDinh T, editor. *Biomedical Photonics Handbook*. CRC: Press; 2003. Karu TI. Lowpower laser therapy. p.33-48.
21. Yamamoto Y, Kono T, Kotani H, Kasai S, Mito M. Effect of low-power laser irradiation on procollagen synthesis in human fibroblasts. *J Clin Laser Med Surg.* 1996;14(3):129-32. DOI: <https://doi.org/10.1089/clm.1996.14.129>. PMID: 9484089.
22. Halevy S, Lubart R, Reuveni H, Grossman N. Infrared (780 nm) low level laser therapy for wound healing: in vivo and in vitro studies. *Laser Ther.* 1997;9:15964.
23. Simhon D, Halpern M, Brosh T, Vasilyev T, Ravid A, Tennenbaum T, et al. Immediate tight sealing of skin incisions using an innovative temperature-controlled laser soldering device: in vivo study in porcine skin. *Ann Surg.* 2007;245(2):206-13. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000232554.13719.10>. PMID: 17245173; PMCID: PMC1876995.
24. Gal P, Mokry M, Vidinsky B, Kilik R, Depta F, Harakalova M, et al. Effect of equal daily doses achieved by different power densities of low-level laser therapy at 635 nm on open skin wound healing in normal and corticosteroid-treated rats. *Lasers Med Sci.* 2009;24(4):539-47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-008-0604-9>. PMID: 18716824.
25. Bossini PS, Fangel R, Habenschus RM, Renno AC, Benze B, Zuanon JA, et al. Low-level laser therapy (670 nm) on viability of random skin flap in rats. *Lasers Med Sci.* 2009;24(2):209-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-008-0551-5>. PMID: 18351431.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ENERGY IMPACT OF A SINGLE IRRADIATION WITH STANDARD LASER POWER AND DURATION PARAMETERS ON THE MICROCIRCULATORY BED OF THE DERMIS

K. Polkovnikova, V. Konopliyskyi, L. Fomina, Yu. Korobko

**National Pirogov Memorial Medical University
(Vinnytsia, Ukraine)**

Summary.

The demonstrated efficacy and safety advantages of laser therapy enable its application during early disease stages across all age groups, including pediatric populations. This modality not only targets pathological foci directly but also effectively prevents potential complications, underscoring its clinical relevance. The inherent benefits of laser irradiation for cutaneous vascular anomalies warrant further investigation to optimize treatment parameters, including laser type, wavelength selection, power settings, and other biotechnical irradiation variables.

The aim is study of microcirculatory vessel alterations in the dermis following single-session laser exposure at standard power and duration parameters, focusing on their correlation with involutive changes in cutaneous purpura.

Materials and methods. We evaluated sequential histological changes in skin tissue following laser irradiation at 30-minute (Site 1), 60-minute (Site 2), and 90-minute (Site 3) intervals. The experimental protocol utilized guinea pigs (weight 350.0-400.0 g; age 6-8 weeks) selected for their cutaneous morphological similarity to human skin.

The study complied with Declaration of Helsinki principles, with protocol approval by the Institutional Ethics Committee (Protocol No. 37, May 13, 2025). Parental informed consent was obtained for pediatric participants. Data analysis employed Microsoft Excel and MS Statistica 10 software. This research is part of Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University's Department of Pediatric Surgery program: «Development and Improvement of Modern Diagnostic, Therapeutic, Preventive, and Rehabilitation Technologies for Pediatric Surgical Conditions» (State Registration No. 0118U003918, 2023-2027).

Results. Morphometric analysis revealed a linear relationship between microcirculatory parameters and relative stromal edema area—a key purpura component—across all experimental intervals. Notably, stromal edema exhibited progressive expansion despite diminishing visual purpura manifestations. This apparent dissociation between superficial presentation and deeper histological changes demonstrated an inverse correlation. At 60-minute post-irradiation, observations showed marked pleurisy and perivascular edema with erythrocyte stasis in microcirculatory vessels, accompanied by minor per diapedesis hemorrhages, reactive inflammatory infiltration, and connective tissue structural damage—all more pronounced than at 30-minute evaluation.

Conclusions. The presence of the phenomenon of purpura of the skin after a single laser irradiation can and should be considered as a clinically significant marker of the effectiveness of the selected parameters of energy exposure. Comparison of the dynamics of involutive development of purpura with morphological and morphometric parameters of vascular changes in all layers of the dermis convincingly demonstrates the rapid spread of pathological factors in them against the background of an increase and severity of the area of stromal edema in the direction of its deeper layers already in the early stages after laser irradiation. The result of experimental studies proves the possibility of the development of cyclic pathological changes in the structural elements of the dermis, and primarily

its microcirculatory and vascular bed after each subsequent session of laser therapy when implementing an individual program for the treatment of vascular formations of the skin.

Keywords: Dermis; Vascular Formations; Lasers; Treatment; Experiment; Skin Morphology; Pathological Changes; Microcirculatory System.

Контактна інформація:

Полковникова Катерина Володимирівна – аспірант кафедри дитячої хірургії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

e-mail: kate_polkovnikova@icloud.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2601-9943>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58786646100>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/NVM-0715-2025>

Коноплицький Віктор Сергійович – д.мед.н., проесор., завідувач кафедри дитячої хірургії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

e-mail: vkonoplytsky@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9525-1547>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189007905>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/CAG-6400-2022>

Фоміна Людмила Василівна – д.мед.н., професор кафедри анатомії людини Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

e-mail: fomina@vnm.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8302-3520>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216804426>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/P-6856-2018>

Коробко Юрій Євгенійович – PhD, асистент кафедри дитячої хірургії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

e-mail: lundqist747@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3299-878X

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57494294800>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ADI-7843-2021>

Contact Information:

Kateryna Polkovnikova – Assistant of the Department of Pediatric Surgery, of the National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsia, Ukraine).

e-mail: kate_polkovnikova@icloud.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2601-9943>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58786646100>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/NVM-0715-2025>

Viktor Konoplytskyi – MD, Doctor of Medical Science, Professor of the pediatric surgery department of the National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsia, Ukraine).

e-mail: vkonoplytsky@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9525-1547>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189007905>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/CAG-6400-2022>

Lyudmila Fomina – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Human Anatomy, of the National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsia, Ukraine).

e-mail: fomina@vnm.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8302-3520>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216804426>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/P-6856-2018>

Yurii Korobko – PhD, Assistant of the Pediatric Surgery Department of the National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsia, Ukraine).

e-mail: lundqist747@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3299-878X

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57494294800>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ADI-7843-2021>



Надійшло до редакції 16.07.2025 р.
Підписано до друку 25.09.2025 р.