

©М. М. Корда <https://orcid.org/0000-0003-0676-336X>
©О. І. Кулянда <https://orcid.org/0009-0004-1975-511x>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України,
Тернопіль, Україна

ДИНАМІКА ЗМІН pH ТА ЦИТОЛОГІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ У ПОВНОШАРОВІЙ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ РАНІ ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗКЛІТИННОГО ДЕРМАЛЬНОГО МАТРИКСУ

РЕЗЮМЕ. Рівень pH у рані є одним із ключових факторів, що визначають ефективність лікувальних втручань та сприятливий перебіг загоєння. Цитологічний аналіз може слугувати важливим прогностичним маркером ефективності закриття рани, оскільки на ранніх етапах загоєння він відображає співвідношення між запальною реакцією та процесами відновлення.

Мета – дослідити особливості динаміки змін pH ранової поверхні та цитологічної структури повношарового дефекту шкіри свині при використанні безклітинного дермального матриксу.

Матеріал і методи. Проведено аналіз даних pH-метрії повношарових експериментальних ран на свині та цитологічних відбитків, отриманих із цих ран. Модель рани сформована відповідно до запропонованої автором методики.

Рівень pH визначали pH-метром EZODO 6011A з калібруванням за двома точками pH=4.00 та pH=7.00. Статистичний аналіз проводили із використанням непараметричного критерію Манна-Уїтні (Mann-Whitney U test).

Цитологічне дослідження проводили за методикою М. П. Покровської та М. С. Макарова у модифікації Д. М. Штейнберга. Цитограми досліджували під мікроскопом Nikon E 100.

Результати. pH повношарового дефекту шкіри свині змінюється залежно від стадії ранового процесу. Встановлено, що протягом усього періоду спостереження pH рани залишається лужним, що відображає специфіку перебігу загоєння саме повношарових дефектів шкіри свині. Застосування безклітинного дермального матриксу сприяє зменшенню локальної запальної реакції в рані, що корелює зі змінами pH та цитологічної структури відбитків з ранової поверхні. Цитологічні дослідження підтверджують протизапальну та антимікробну активність безклітинного дермального матриксу, що має патофізіологічне значення для оптимізації процесів регенерації шкіри.

Висновки. 1. Початковий лужний pH ($7,05 \pm 0,12$) у повношаровій рані свині є закономірним наслідком вивільнення внутрішньоклітинних лужних компонентів із м'язової тканини, порушення мікроциркуляції та окисного метаболізму, а також ранньої запальної реакції з високим вмістом ексудату. Надалі, за відсутності ознак прогресування запалення, pH у повношаровій рані зберігає лужний характер.

Підвищений pH при застосуванні безклітинного дермального матриксу може розглядатися як показник активного ремоделювання білкових структур і нормалізації мікрооточення рани. Це підтверджує перспективність використання БДМ як біоактивного покриття у реконструктивній хірургії шкіри.

2. Застосування безклітинного дермального матриксу сприяє зниженню інтенсивності гострої запальної реакції під час перебігу ранового процесу, прискорює формування грануляційної тканини та стимулює швидше відновлення епітеліального покриву.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: шкіра, повношарова рана свині; pH ран; цитологія рани; безклітинний дермальний матрикс; регенерація рани.

Вступ. Рівень pH у рані є одним із ключових факторів, що визначають ефективність лікувальних втручань та перебіг загоєння. Сучасні дослідження свідчать, що підтримання слабокислого середовища (pH 4–6) сприяє прискоренню процесів регенерації, тоді як лужне середовище (pH ≥ 7) корелює з уповільненням загоєння, підвищенням ризиком інфекційних ускладнень та утворенням бактеріальних біоплівків.

Окремі дослідники вказують на те, що лужне середовище сприяє росту патогенів та утворенню біоплівків. Кисле середовище (pH < 6) дестабілізує біоплівкові структури та підвищує ефективність антимікробних препаратів [1, 2].

При підвищенні pH зростає активність матриксних металопротеїназ (MMP-2, MMP-9), що призводить до деградації колагену та сповільнення відновлення пошкоджених тканин [3].

Рівень pH впливає на колагеногенез та ремоделювання позаклітинного матриксу. Слабокисле середовище оптимізує крос-лінкінг колагенових волокон і зменшує протеоліз, що сприяє формуванню міцного грануляційного шару [4].

Помірно кисле середовище стимулює міграцію кератиноцитів і фібробластів, а також неоангіогенез, забезпечуючи швидшу епітелізацію [5].

Рівень pH впливає на тканинне дихання, утворення реактивних форм кисню (ROS) та антиокси-

дантний захист, що визначає інтенсивність запальної фази [2].

Таким чином, моніторинг pH ранового середовища дозволяє прогнозувати перебіг загоєння та ефективність лікування [6], є патогенетично обґрунтованим біомаркером стану рани, впливає на рівень бактеріального навантаження, нормалізацію протеолітичної активності, стимуляцію колагеногенезу та епітелізації.

Для об'єктивної оцінки перебігу ранового процесу також проводили цитологічне дослідження ран, що у динаміці загоєння дозволяє оцінити клітинний склад грануляційної тканини, ступінь запальної реакції та активність процесів проліферації, що відображає якість перебігу репаративних процесів [7].

Цитологічний аналіз може слугувати важливим прогностичним маркером ефективності закриття рани, оскільки на ранніх етапах загоєння він відображає співвідношення між запальною реакцією та процесами відновлення, що визначає кінцевий результат регенерації тканини [8, 9].

Мета – оцінити динаміку змін pH ранової поверхні та патофізіологічні особливості цитологічної структури повношарового дефекту шкіри свині за умов застосування безклітинного дермального матриксу (БДМ).

Матеріал і методи дослідження. Проведено аналіз даних pH-метрії повношарових експериментальних ран на свині та цитологічних відбитків, отриманих із цих ран.

Модель повношарового дефекту шкіри сформована відповідно до запропонованої автором методики [10].

Для проведення експериментальних досліджень було використано двох свиней білої породи масою 12 та 13 кг. Тварин утримували в умовах віварію відповідно до міжнародних стандартів догляду та експериментального використання лабораторних тварин. Повношарову рану розміром 5×5 см із лінійними розрізами по кутах довжиною 1 см моделювали на спині тварини під тіопентал-натрієвим наркозом у дозі 25 мг/кг. На кожній тварині формували по чотири рани, з них 2 рани закривали неадгезивними пов'язками (I група), 2 рани закривали БДМ (II група).

Дослідження проводили на 0, 3, 7, 14 та 21 добу після моделювання ран.

Рівень pH визначали pH-метром EZODO 6011A з калібруванням за двома точками pH=4.00 та pH=7.00.

Статистичний аналіз проводили із використанням непараметричного критерію Манна – Уїтні (Mann – Whitney U test) для порівняння незалежних вибірок – значень pH у повношарових ранах I та II груп. Відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Цитологічне дослідження проводили за методикою М. П. Покровської та М. С. Макарова у модифікації Д. М. Штейнберга. Мазки-відбитки висушували, фіксували протягом 5 хв у метиловому спирті та фарбували за Романовським – Гімзою. Цитограми досліджували під мікроскопом Nikon E 100.

Результати й обговорення. При виникненні гострих ран та порушенні цілісності шкірного покриву лужний тканинний ексудат і плазма з пошкоджених капілярів надходять у ранову порожнину, що призводить до значного підвищення pH у ділянці ушкодження [11].

У мікросередовищі гострої рани показник pH зазвичай наближається до нейтрального, у середньому становлячи близько 7,44 [12].

Окрім цього, у нормі м'язова тканина свині має слаболужне середовище ($pH \approx 7,0-7,2$). Після формування повношарового дефекту шкіри, при оголенні підшкірної та м'язової тканин, ця ділянка безпосередньо контактує з атмосферним повітрям та тканинним ексудатом, що призводить до порушень кислотно-лужного балансу у рановій зоні. Пошкоджені м'язові клітини вивільняють іони K^+ , Na^+ , білкові буфери, фосфати – це тимчасово підвищує локальний pH до 7,5–8,5, що часто спостерігається у гострій фазі експериментальних ран [13].

Отримані в нашому дослідженні дані щодо рівня pH на дні рани відразу після її моделювання корелюють із результатами, наведеними в попередніх дослідженнях. У нашому випадку pH повношарової експериментальної рани становила $7,05 \pm 0,12$ (табл. 1).

На етапах коагуляції та запальної реакції кровопостачання ушкодженої ділянки порушується внаслідок вторинного поглиблення некрозу. Відбувається деградація некротичних тканин та формування локального застою вуглекислого газу, що спричинює зниження pH у рані [14].

Таблиця 1. Показники pH у ранах I групи і II групи; $M \pm m$, ($n=8$)

Група ран	Доба обстеження				
	0	3	7	14	21
I група	$7,05 \pm 0,12$	$7,77 \pm 0,18$	$7,03 \pm 0,27$	$6,97 \pm 0,31$	$8,13 \pm 0,18$
II група	$6,25 \pm 0,09$ $p=0,0073$	$8,66 \pm 0,12$ $p=0,0091$	$8,03 \pm 0,08$ $p=0,0166$	$7,74 \pm 0,14$ $p=0,1042^*$	$7,63 \pm 0,26$ $p=0,2084^*$

Примітка. * – різниця між групами не достовірна.

Етап коагуляції та запалення відповідає 1–3 добі після утворення рани [15].

У нашому дослідженні моделювалася чиста післяопераційна рана, при якій хірургічним шляхом видалено всі шари шкіри. Внаслідок цього у рані відсутні вогнища некрозу та мікробна контамінація, що обумовлює збереження лужного рівня рН у рановій зоні. Проте у нашому випадку рівень рН у I групі був достовірною нижчим, ніж у II групі: $7,77 \pm 0,18$ проти $8,66 \pm 0,12$.

На подальших етапах загоєння активність нейтрофілів та макрофагів призводить до накопичення молочної кислоти, CO_2 та лізосомальних ферментів, що спричинює поступове зниження рН до рівня 6,5–7,0. Водночас, за низької активності цих клітинних популяцій рН знижується незначно [16].

У цей період у повношаровій рані грануляційна тканина ще недостатньо сформована та характеризується низьким рівнем мікроциркуляції, що свідчить про обмежену судинну складову запальної реакції та низьку активність нейтрофілів і макрофагів. Крім того, формування повношарового дефекту шкіри призводить до зниження локальної температури рани, що, у свою чергу, спричинює зменшення міграції клітин та фагоцитарної активності [17].

У фазі проліферації рН зазвичай стабілізується і становить близько 7,0–7,2, що сприяє проліферації фібробластів і кератиноцитів [18].

Рівень рН як на 7 так і на 14 доби експерименту (фаза проліферації, початок регенераторної фази) також був лужним. Проте на 7 добу добу ми спостерігали достовірну різницю між показниками рН у групах: $7,03 \pm 0,27$ у ранах I групи проти $8,03 \pm 0,08$ у ранах II групи. А вже на 14 добу достовірної різниці рівня рН між ранами обох груп ми не спостерігали: $6,97 \pm 0,31$ проти $7,74 \pm 0,14$.

На пізніх етапах загоєння, коли відбувається відновлення пошкоджених шарів шкіри, рН рани поступово наближається до нейтрального рівня перед формуванням рогового шару епідермісу [19].

Оскільки відновлення шкірних покривів до 21 доби у групах ран ще не відбулось, то і показ-

ники рН залишались лужними: на рівні рН $8,13 \pm 0,18$ у I групі та $7,63 \pm 0,26$ у II групі. Як і на 14 добу, достовірної різниці між показниками I і II груп у цей період вже не було.

Таким чином, нами встановлено, що рівень рН у повношаровій рані, закритій БДМ, на 3 і 7 добу спостереження є достовірно вищим, ніж у повношаровій рані, закритій традиційною пов'язкою. Це явище має комплексне патогенетичне пояснення, пов'язане з фізико-хімічними властивостями матриксу, особливостями мікроциркуляції та запальної реакції.

БДМ складається переважно з колагену та залишкових білкових структур дерми, які при деградації утворюють лужні продукти, здатні підвищувати рН мікрооточення рани [20]. На ранніх етапах імплантації матриксу ферментативна деградація колагену під дією колагеназ, протеаз супроводжується вивільненням аміногруп і білкових буферів, що зумовлює зміщення реакції середовища у лужний бік.

Матрикс створює щільну бар'єрну структуру, що обмежує дифузію вуглекислого газу та знижує утворення вугільної кислоти, унаслідок чого підвищується рН. Натомість під звичайною пов'язкою відбувається вільний газообмін, тому рН частіше знижується до 6,8–7,2 [21]. Важливим фактором є також зниження активності нейтрофілів і макрофагів під БДМ, що зменшує продукцію органічних кислот і підтримує більш лужне середовище [22].

З точки зору мікроциркуляції, БДМ підтримує вологий стан рани і оптимальне насичення її киснем, але в перші дні після імплантації ще не має власної судинної сітки, тому анаеробний метаболізм виражений слабше. Це також сприяє підвищенню рН у рановому середовищі. Таким чином, вищий рівень рН під БДМ є результатом сукупного впливу фізико-хімічних, мікроциркуляторних і клітинних факторів, що формують сприятливе середовище для проліферації клітин і неоангіогенезу [23].

Порівняльну характеристику клітинного складу мазків-відбитків повношарової рани шкіри свині наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз клітинного складу мазків-відбитків ран I та II груп

Доба дослідження	Цитологічна картина	
	I група	II група
1	2	3
0 доба	Еритроцити – все поле зору	Еритроцити – все поле зору
3 доба	Еритроцити – 1/2 поля зору Лейкоцити – 10–15 в полі зору	Еритроцити – поодинокі Лейкоцити – 1/2 поля зору
7 доба	Еритроцити – 10–20 в полі зору Лейкоцити – 20–30 в полі зору Макрофаги – 1–2 в полі зору	Еритроцити – незначна кількість Лейкоцити – 1–2 в полі зору Макрофаги – 1–2 в полі зору Поодинокий плоский епітелій

1	2	3
14 доба	Еритроцити – 1–2 в полі зору Лейкоцити – 2–5 в полі зору Макрофаги – 1–2 в полі зору Плоский епітелій – 1–2 в полі зору	Еритроцити – 1–2 поля зору Лейкоцити – 1–2 в полі зору Макрофаги – 2–3 в полі зору Плоский епітелій – 5–8 в полі зору
21 доба	Еритроцити – значна кількість Лейкоцити – 5–10 в полі зору Скупчення плоского епітелію – 5–8 в полі зору	Еритроцити – значна кількість Лейкоцити – 2–5 в полі зору Скупчення плоского епітелію – 10–20 в полі зору

На 0 добу результати досліджень не брали до уваги, оскільки після видалення усіх шарів шкіри дном рани була м'язова тканина, а на відбитках все поле було вкрито еритроцитами. Ми це розцінили як наслідок механічного травмування дна рани.

У повношарових ранах свині I групи на 3-ю добу спостерігається помірна рання клітинна відповідь: еритроцити та лейкоцити 10–15 в полі зору. У ранах II групи вже на 3-ю добу відзначається більш активна рання імунна відповідь: лейкоцити – ½ поля зору, еритроцити поодинокі.

На 7-му добу запальна активність в ранах I групи зростає (лейкоцити 20–30, еритроцити 10–20 у полі зору), макрофаги 1–2, що свідчить про збереження запального процесу.

На 7-му добу в ранах II групи запальна реакція зменшується (лейкоцити 1–2, макрофаги 1–2), при цьому з'являються поодинокі клітини плоского епітелію, що свідчить про початок епітелізації.

Поступово, до 14–21 доби, в ранах I групи відбувається поява плоского епітелію та зниження кількості лейкоцитів, але процес епітелізації відбувається повільно.

У ранах II групи до 14–21 доби формується скупчення плоского епітелію (5–20 у полі зору), а запальна активність залишається низькою, що відображає прискорене загоєння та більш ефективну репарацію тканин під впливом БДМ.

Таким чином, цитологічна динаміка показує, що закриття рани БДМ сприяє більш швидкій активації лейкоцитарного та макрофагального ком-

понентів на ранніх етапах і прискорює процес епітелізації на пізніх етапах, порівняно з використанням неадгезивної пов'язки.

Висновки. 1. Початковий лужний рН ($7,05 \pm 0,12$) у повношаровій рані свині є закономірним наслідком вивільнення внутрішньоклітинних лужних компонентів із м'язової тканини, порушення мікроциркуляції та окисного метаболізму, а також ранньої запальної реакції з високим вмістом ексудату. Надалі, за відсутності ознак прогресування запалення, рН у повношаровій рані зберігає лужний характер.

Підвищений рН при застосуванні БДМ може розглядатися як показник активного ремоделювання білкових структур і нормалізації мікрооточення рани. Це підтверджує перспективність використання БДМ як біоактивного покриття у реконструктивній хірургії шкіри.

2. Застосування БДМ сприяє зниженню інтенсивності гострої запальної реакції під час перебігу ранового процесу, прискорює формування грануляційної тканини та стимулює швидше відновлення епітеліального покриву.

Джерела фінансування. Власні кошти авторів.

Внесок авторів:

М. М. Корда – розробка ідеї дослідження і публікації, узагальнення висновків;

О. І. Кулянда – огляд літератури, аналіз та інтерпретація даних.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Liu Y., Long S., Wang H., Wang Y. Biofilm therapy for chronic wounds. *International Wound Journal*. 2024. Vol. 21, No. 2. P. e14667. DOI: 10.1111/iwj.14667.

2. Implications of pH and ionic environment in chronic diabetic wounds: an overlooked perspective / Guo J. et al. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*. 2024. Vol. 17. P. 2669–2686. DOI: 10.2147/CCID.S485138.

3. Wound pH-modulating strategies for diabetic wound healing / Tricou L. P. et al. *Advances in Wound Care (New Rochelle)*. 2024. Vol. 13, No. 9. P. 446–462. DOI: 10.1089/wound.2023.0129.

4. Influence of acidic pH on wound healing in vivo: a novel perspective for wound treatment / Sim P. et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, No. 21. P. 13655. DOI: 10.3390/ijms232113655.

5. An observational study of the pH value during healing of diabetic foot ulcers / Wang Y. et al. *Wound Repair and Regeneration*. 2024.

6. Wang X., Cheng J., Wang H. Chronic wound management: a liquid diode-based smart bandage with ultrasensitive pH sensing ability. *Microsystems & Nanoengineering*. 2024. Vol. 10. Art. 193. DOI: 10.1038/s41378-024-00801-6.

7. The use of cytological studies to determine the readiness of burn wounds for autodermoplasty / Kravtsov O. V. et al. *Kharkiv Surgical School*. 2020. No. 2. P. 182–187. DOI: 10.37699/2308-7005.2.2020.35.
8. Ryabushko R. M. Changes of pH and cytological picture at various stages of wound healing in patients with venous genesis trophic ulcers of the lower limbs. *Klinichna Khirurgiia*. 2017. No. 3. P. 42–43. PMID: 30273478.
9. Муравйов П. Т., Беспалько М. Г., Запорожченко Б. С. Динаміка змін цитологічної картини ранової поверхні в умовах експериментального ранового процесу. *Світ медицини та біології*. 2025. № 2 (92). С. 184–188.
10. Kulianda O. Experimental modelling of full-thickness skin wounds in pigs. *Bulletin of Medical and Biological Research*. 2025. Vol. 7(1). P. 43–50. DOI: 10.63341/bmbr/1.2025.43.
11. Skin and wound care in lymphedema patients: a taxonomy, primer, and literature review / Fife C. E. et al. *Advances in Skin & Wound Care*. 2017. Vol. 30, No. 7. P. 305–318. DOI: 10.1097/01.ASW.0000520501.23702.82.
12. Power G., Moore Z., O'Connor T. Measurement of pH, exudate composition and temperature in wound healing: a systematic review. *Journal of Wound Care*. 2017. Vol. 26, No. 7. P. 381–397. DOI: 10.12968/jowc.2017.26.7.381.
13. Dynamic changes in wound pH during tissue injury and repair / Nguyen A. T. et al. *Wound Repair and Regeneration*. 2022. Vol. 30, No. 6. P. 942–952.
14. Jones E. M., Cochrane C. A., Percival S. L. The effect of pH on the extracellular matrix and biofilms. *Advances in Wound Care*. 2015. Vol. 4, No. 7. P. 431–439. DOI: 10.1089/wound.2014.0538.
15. Ozgok Kangal M. K., Kopitnik N. L. Physiology, wound healing. [Updated 2025 Apr 4]. In: *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535406/>.
16. Gethin G. Wound pH: indicator of healing status and infection. *International Wound Journal*. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 12–20.
17. Lämmermann T., Germain R. N. The multiple faces of neutrophil migration in inflammation and immunity. *Nature Reviews Immunology*. 2022. Vol. 22, No. 3. P. 173–187.
18. The importance of the pH in wound healing / Schneider L. A. et al. *Advances in Wound Care*. 2021. Vol. 10, No. 9. P. 509–523.
19. Ohman H., Vahlquist A. In vivo studies concerning a pH gradient in human stratum corneum and upper epidermis. *Acta Dermato-Venereologica*. 1994. Vol. 74, No. 5. P. 375–379. DOI: 10.2340/000155574375379.
20. Biodegradation and host response of acellular dermal matrix grafts / Lee J. H. et al. *Tissue Engineering Part A*. 2022. Vol. 28, No. 3–4. P. 161–172.
21. Implications of pH in wound microenvironment and healing process / Guo J. et al. *Frontiers in Physiology*. 2023. Vol. 14. P. 1115562. DOI: 10.3389/fphys.2023.1115562.
22. Liu Y., Long S., Wang H., Wang Y. Biofilm therapy for chronic wounds. *International Wound Journal*. 2024. Vol. 21, No. 2. P. e14667. DOI: 10.1111/iwj.14667.
23. pH-responsive behavior of collagen scaffolds in wound healing / Zhang Z. et al. *Materials Science and Engineering C*. 2021. Vol. 119. P. 111568.
24. Effectiveness and safety of dermal matrix used for diabetic foot ulcer: a systematic review and meta-analysis / Sui L. et al. *BMC Endocrine Disorders*. 2024. Vol. 24. P. 23.
25. Histological and cytological features of porcine full-thickness wound healing with acellular dermal scaffolds / Chen X. et al. *Veterinary Dermatology*. 2021. Vol. 32, No. 6. P. 517–525.

REFERENCES

1. Liu Y, Long S, Wang H, Wang Y. Biofilm therapy for chronic wounds. *Int Wound J*. 2024;21(2):e14667. DOI: 10.1111/iwj.14667.
2. Guo J, Cao Y, Wu QY, Zhou YM, Cao YH, Cen LS. Implications of pH and Ionic Environment in Chronic Diabetic Wounds: An Overlooked Perspective. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2024;17:2669-2686. DOI: 10.2147/CCID.S485138.
3. Tricou LP, Al-Hawat ML, Cherifi K, Manrique G, Freedman BR, Matoori S. Wound pH-Modulating Strategies for Diabetic Wound Healing. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2024;13(9):446-462. DOI: 10.1089/wound.2023.0129.
4. Sim P, Strudwick XL, Song Y, Cowin AJ, Garg S. Influence of Acidic pH on Wound Healing In Vivo: A Novel Perspective for Wound Treatment. *Int J Mol Sci*. 2022;23(21):13655. DOI: 10.3390/ijms232113655.
5. Wang Y, et al. An Observational Study of the pH Value During Healing of Diabetic Foot Ulcers. *Wound Rep Reg*. 2024.
6. Wang X, Cheng J, Wang H. Chronic wound management: a liquid diode-based smart bandage with ultrasensitive pH sensing ability. *Microsyst Nanoeng*. 2024;10:193. DOI: 10.1038/s41378-024-00801-6.
7. Kravtsov OV, Shapoval OV, Kozin YI, Isaev YI, Tsogoev AA, Kurbanov TA, Beresnyev SA, Gopko AO. The use of cytological studies to determine the readiness of burn wounds for autodermoplasty. *Kharkiv Surg School*. 2020;2:182-187. DOI: 10.37699/2308-7005.2.2020.35.
8. Ryabushko RM. [Changes of pH and cytological picture at various stages of wound healing in patients with venous genesis trophic ulcers of the lower limbs]. *Klin Khir*. 2017;(3):42-3. Ukrainian.
9. Muraviov PT, Bepalko MH, Zaporozhchenko BS. Dynamika zmin cytolohichnoi kartyny ranovoi poverkhni v umovakh eksperymentalnoho ranovoho protsesu [Dynamics of changes in the cytological pattern of the wound surface under conditions of experimental wound process]. *Svit medytsyny ta biolohii*. 2025;2(92):184–188. Ukrainian.
10. Kulianda O. Experimental modelling of full-thickness skin wounds in pigs. *Bull Med Biol Res*. 2025;7(1):43–50. DOI: 10.63341/bmbr/1.2025.43.
11. Fife CE, Farrow W, Hebert AA, et al. Skin and Wound Care in Lymphedema Patients: a Taxonomy, Primer, and Literature Review. *Adv Skin Wound Care*. 2017;30(7):305–318. DOI: 10.1097/01.ASW.0000520501.23702.82.
12. Power G, Moore Z, O'Connor T. Measurement of pH, exudate composition and temperature in wound healing: a systematic review. *J Wound Care*. 2017;26(7):381–397. DOI: 10.12968/jowc.2017.26.7.381.

13. Nguyen AT, et al. Dynamic changes in wound pH during tissue injury and repair. *Wound Repair Regen.* 2022;30(6):942–952.
14. Jones EM, Cochrane CA, Percival SL. The Effect of pH on the Extracellular Matrix and Biofilms. *Adv Wound.* 2015;4(7):431–439. DOI: 10.1089/wound.2014.0538.
15. Ozgok Kangal MK, Kopitnik NL. Physiology, Wound Healing. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535406/>.
16. Gethin G. Wound pH: Indicator of Healing Status and Infection. *Int Wound J.* 2023;20(1):12–20.
17. Lämmermann T, Germain RN. The multiple faces of neutrophil migration in inflammation and immunity. *Nat Rev Immunol.* 2022;22(3):173–187.
18. Schneider LA, et al. The importance of the pH in wound healing. *Adv Wound Care.* 2021;10(9):509–523.
19. Ohman H, Vahlquist A. In vivo studies concerning a pH gradient in human stratum corneum and upper epidermis. *Acta Derm Venereol.* 1994;74(5):375–379. DOI:10.2340/0001555574375379.
20. Lee JH, Kim YS, Park J, et al. Biodegradation and host response of acellular dermal matrix grafts. *Tissue Eng Part A.* 2022;28(3-4):161–172.
21. Guo J, Cao Y, Wu QY, et al. Implications of pH in wound microenvironment and healing process. *Front Physiol.* 2023;14:1115562. DOI: 10.3389/fphys.2023.1115562
22. Liu Y, Long S, Wang H, Wang Y. Biofilm therapy for chronic wounds. *Int Wound J.* 2024;21(2):e14667. DOI: 10.1111/iwj.14667
23. Zhang Z, Li Q, Wang X, et al. pH-responsive behavior of collagen scaffolds in wound healing. *Mater Sci Eng C.* 2021;119:111568.
24. Sui L, et al. Effectiveness and safety of dermal matrix used for diabetic foot ulcer: a systematic review and meta-analysis. *BMC Endocr Disord.* 2024;24:23.
25. Chen X, et al. Histological and cytological features of porcine full-thickness wound healing with acellular dermal scaffolds. *Vet Dermatol.* 2021;32(6):517–525.

M. M. Korda, O. I. Kulianda

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine

DYNAMICS OF PH CHANGES AND CYTOLOGICAL CHARACTERISTICS IN A FULL-THICKNESS EXPERIMENTAL WOUND UNDER CONDITIONS OF ACELLULAR DERMAL MATRIX APPLICATION

SUMMARY. The pH level within a wound represents a critical parameter influencing the effectiveness of therapeutic interventions and the overall course of tissue repair. Cytological analysis can serve as a valuable prognostic indicator of wound closure efficacy, as it provides insight into the dynamic balance between inflammatory responses and regenerative processes at the early stages of repair.

The aim – to investigate the features of pH dynamics on the wound surface and the cytological structure of a full-thickness skin defect in pigs when using an acellular dermal matrix.

Material and Methods. An analysis was performed on the data of pH-metry of full-thickness experimental wounds in pigs and on cytological smears obtained from these wounds. The wound model was formed according to the author's proposed method.

The pH level was determined using a pH meter EZODO 6011A, calibrated at two points (pH=4.00 and pH=7.00). Statistical analysis was performed using the nonparametric Mann–Whitney criterion (Mann–Whitney U test).

Cytological examination was carried out according to the method of M. P. Pokrovska and M. S. Makarov, modified by D. M. Shteinberg. Cytograms were examined under a Nikon E 100 microscope.

Results. The pH of the full-thickness skin defect in pigs changes depending on the stage of the wound-healing process. It was established that throughout the observation period, the wound pH remains alkaline, which reflects the specific nature of healing in full-thickness skin defects in pigs. The use of the acellular dermal matrix contributes to a reduction of the local inflammatory reaction in the wound, which correlates with changes in pH and in the cytological structure of the wound-surface smears. Cytological studies confirm the anti-inflammatory and antimicrobial activity of the acellular dermal matrix, which has pathophysiological significance for optimizing skin regeneration processes.

Conclusions. 1. The initial alkaline pH (7.05 ± 0.12) in the full-thickness wound of pigs is a natural consequence of the release of intracellular alkaline components from muscle tissue, disturbances of microcirculation and oxidative metabolism, as well as the early inflammatory response with a high exudate content. Subsequently, in the absence of signs of progressive inflammation, the pH in the full-thickness wound remains alkaline.

The increased pH during the application of the acellular dermal matrix can be considered an indicator of active remodeling of protein structures and normalization of the wound microenvironment. This confirms the promising potential of using the ADM as a bioactive dressing in reconstructive skin surgery.

2. The use of the acellular dermal matrix helps reduce the intensity of the acute inflammatory response during the wound-healing process, accelerates the formation of granulation tissue, and stimulates faster restoration of the epithelial layer.

KEY WORDS: skin; full-thickness pig wound; wound pH; wound cytology; acellular dermal matrix; wound regeneration.

Отримано 14.10.2025

Електронна адреса для листування: kulianda_o@tdmu.edu.ua