

КУЧИНСЬКА ДАР'Я

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0007-5928-6639>e-mail: dkuchinska@gmail.com**ІЩЕНКО ОЛЕНА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>e-mail: e.ishchenko5@gmail.com**КАЧАН РОМАН**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-7974-2784>e-mail: kachanr@gmail.com**РОІК ОЛЕНА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-5988-6577>e-mail: alena_08@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК З КСЕРОФОРМОМ

З метою розробки перспективних ранозагоювальних матеріалів, було проведено дослідження антимікробних властивостей полімерних плівок на основі суміші модифікованого крохмалю (МК) та полівінілового спирту (ПВС), що містять 10% мас. ксероформу. Для оцінки ефективності розроблених плівок було використано метод дифузії в агар відносно грамнегативної бактерії *Escherichia coli*, грампозитивної бактерії *Staphylococcus aureus*, дріжджеподібного гриба *Candida albicans* та пліснявого гриба *Aspergillus niger* – типових збудників вторинних інфекцій поверхневих ран. Встановлено виражену антибактеріальну та протигрибкову активність плівок на основі МК/ПВС з додаванням ксероформу, що підтверджує їхній значний потенціал як активних ранових покриттів. Важливим аспектом є можливість регулювання властивостей матеріалів шляхом варіації умов модифікації крохмалю, що відкриває перспективи для створення плівок з різними функціональними характеристиками. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення біосумісності розроблених матеріалів та дослідження їхньої здатності до пролонгованого вивільнення лікарських засобів, що дозволить комплексно оцінити перспективність їхнього застосування в медичній практиці.

Ключові слова: модифікований крохмаль, полівініловий спирт, молочна кислота, ранові пов'язки, уповільнене вивільнення ліків, ксероформ, загоєння ран, біосумісність, протимікробні засоби.

KUCHYNSKA DARIA, ISHCENKO OLENA., KACHAN ROMAN, ROIK OLENA

Kyiv National University of Technology and Design

ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF POLYMER FILMS WITH XEROFORM

To investigate the potential of novel wound-healing dressings, a comprehensive study was undertaken to evaluate the antimicrobial and antifungal efficacy of composite polymer films based on modified starch (MS) and polyvinyl alcohol (PVA), incorporating 10 wt.% xeroform. To rigorously assess the bioactivity of these developed films, the agar diffusion method was employed, utilizing a panel of clinically relevant microorganisms. This panel comprised the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*, the Gram-positive bacterium *Staphylococcus aureus*, the yeast-like fungus *Candida albicans*, and the filamentous fungus *Aspergillus niger*, all recognized as common etiological agents of secondary wound infections.

Discovered significant antibacterial and antifungal activity exhibited by the MS/PVA films incorporating xeroform. These results robustly confirm the substantial potential of these composite materials as bioactive wound dressings, capable of mitigating microbial colonization and infection. A particularly noteworthy aspect of this research is the inherent tunability of material properties through controlled modification of the starch component. This versatility offers promising avenues for tailoring film characteristics to meet diverse functional requirements in wound management and other biomedical applications.

Future research endeavors will be strategically directed towards in-depth investigations of the biocompatibility profile of these novel materials. Furthermore, studies will be conducted to elucidate and optimize the drug release kinetics, specifically examining the sustained release capabilities of medicinal substances from the polymer matrix. These subsequent investigations will be critical to providing a comprehensive evaluation of the translational potential and ultimate clinical utility of these innovative composite films in medical practice.

Keywords: modified starch, polyvinyl alcohol, lactic acid, wound dressings, sustained drug release, Xeroform, wound healing, biocompatibility, antimicrobials.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

Інфекційні ураження ран є серйозною проблемою в сучасній медицині, що може уповільнювати процес загоєння та спричиняти ускладнення [1]. Тому розробка ефективних антимікробних пов'язок є важливим напрямом у галузі біомедичних матеріалів. Багато традиційних ранових покриттів не забезпечують достатнього захисту від патогенних мікроорганізмів або вимагають частих замінів, що може спричинити додатковий дискомфорт для пацієнта та збільшувати ризик вторинного інфікування [2]. Сучасні стратегії створення інноваційних ранових покриттів передбачають впровадження матеріалів з пролонгованою дією антибактеріальних агентів, що дозволяє контролювати вивільнення активних

фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) та підвищувати ефективність терапії [3]. Одним із перспективних підходів є використання полімерних плівок на основі модифікованого крохмалю (МК) та полівінілового спирту (ПВС), доповнених ксероформом — антисептичним засобом із вираженими антибактеріальними та протигрибковими властивостями.

Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю розробки біосумісних та функціональних матеріалів, які б поєднували високу повітропроникність, оптимальну абсорбційну здатність та контрольоване вивільнення антимікробних компонентів. Для оцінки ефективності отриманих плівок було проведено тестування їхньої антимікробної активності щодо найпоширеніших збудників вторинної інфекції поверхневих ран: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* та *Aspergillus niger* [4].

Аналіз останніх досліджень

Розробка ранозагоювальних матеріалів на основі модифікованого крохмалю з інкорпорованим ксероформом представляє собою перспективний напрямок у створенні ефективних засобів для лікування ран різної етіології. Враховуючи зростаючий попит на біосумісні та біодеградуючі матеріали медичного призначення, дослідження полісахаридів, зокрема крохмалю, як основи для ранозагоювальних покриттів є особливо актуальним. Крохмаль, будучи доступним та економічно вигідним біополімером, характеризується біосумісністю, здатністю до біологічного розкладання та низькою токсичністю, що робить його привабливим кандидатом для медичного застосування [5]. Проте, нативний крохмаль має певні обмеження, пов'язані з недостатніми механічними характеристиками та схильністю до швидкої деградації, що обмежує його безпосереднє застосування у формі плівок для ранозагоювання [6].

З метою покращення функціональних властивостей крохмалю та розширення спектру його застосування, ефективним підходом є хімічна модифікація. Модифікація органічними кислотами, зокрема лимонною та молочною, дозволяє впливати на структуру крохмалю, змінюючи його реологічні властивості, гідрофобність та механічну міцність. Така модифікація сприяє покращенню плівкоутворюючих властивостей крохмалю, підвищенню стабільності матеріалу та оптимізації його деградаційних характеристик, що є важливим для створення ранозагоювальних покриттів пролонгованої дії.

Ксероформ, відомий своїми антисептичними та протизапальними властивостями, є ефективним засобом для профілактики та лікування інфекційних ускладнень в ранах. Препарат являє собою монокомпонентний порошок вісмуту трибромфеноляту з антисептичними, в'язучими та підсушувальними властивостями [7].

Розроблена плівка забезпечує зручну форму для доставки ксероформу безпосередньо в рану, гарантуючи контрольоване вивільнення АФІ та пролонговану антимікробну дію. Матричні властивості полімерної композиції створюють умови для поступового вивільнення ксероформу, забезпечуючи тривалий терапевтичний ефект та зменшуючи частоту перев'язок [8].

Антисептичний та в'язучий ефекти ксероформу обумовлені утворенням сталого зв'язку з протеїнами мікробної клітини та білками тканинного ексудату, що призводить до їх коагуляції. Як наслідок, формується альбумінатна плівка, що захищає пошкоджену поверхню, в т.ч. закінчення сенсорних волокон і порушуються процеси життєдіяльності патогенної мікрофлори [9]. Одночасно з цим відбувається констрикція капілярів поряд зі зниженням їхньої проникності, що зменшує ексудацію. Встановлено протимікробний ефект органічних сполук вісмуту щодо бактерій кишкової палички (*Escherichia coli*), синьогнійної палички (*Pseudomonas aeruginosa*), сінної палички (*Bacillus subtilis*), золотистого стафілокока (*Staphylococcus aureus*), епідермального стафілокока (*Staphylococcus epidermidis*), гемолітичного стафілокока (*Staphylococcus haemolyticus*), альфа-гемолітичного стрептокока (*Streptococcus viridans*), фекального ентерококу (*Enterococcus faecalis*), сальмонели тифімуриум (*Salmonella typhimurium*) та грибків кандиди альбіканс (*Candida albicans*), бацилус цереус (*Bacillus cereus*) [10].

Крім того, солі вісмуту мають властивість інгібувати β -лактамази мікроорганізмів, перешкоджаючи антибіотикорезистентності. Зазначені ефекти вісмуту посилює антисептичну активність трибромфенолу [11].

Перспективним напрямком є застосування солей вісмуту як доповнення до антибіотикотерапії. Така комбінація ефективна у випадку, якщо збудник демонструє такі шляхи набутої антибіотикорезистентності, як метало- β -лактамази (Верона інтегрон-кодована метало- β -лактамаза, Нью Делі метало- β -лактамаза - найбільш відома на сьогодні плазмідна β -лактамаза NDM-1). Солі вісмуту не тільки пригнічують β -лактамази, а й значно гальмують подальшу еволюцію NDM-1 [12]. Ця властивість дозволяє розглядати ксероформ як засіб для боротьби з мультирезистентною мікрофлорою, яка колонізує шкірні покриви та ранові поверхні у важких та лежачих хворих.

Важливим аспектом ефективності розроблених ранозагоювальних плівок є збереження антибактеріальних та антигрибкових властивостей ксероформу після інкорпорації у полімерну матрицю. Розроблений підхід до інкорпорації ксероформу у плівкову матрицю дозволяє вирішити проблему незручності його використання у формі порошку, відкриваючи нові перспективи для застосування цього ефективного АФІ у сучасних ранозагоювальних матеріалах. Подальші дослідження будуть спрямовані на детальне вивчення властивостей розроблених плівок, включаючи дослідження швидкості вивільнення ксероформу, антимікробної активності *in vitro* та оцінку ранозагоювальної ефективності *in vivo*.

Метою роботи є дослідження впливу ксероформу на антибактеріальні та протигрибкові властивості полімерних плівок на основі модифікованого молочною та лимонною кислотами крохмалю при створенні ранозагоювальних матеріалів з антимікробною дією.

Виклад основного матеріалу.

З метою підтвердження збереження антимікробної активності ксероформу у складі плівкової матриці, було проведено ряд досліджень, спрямованих на оцінку *in vitro* антибактеріальної та антигрибкової дії композиційних плівок. Встановлено, що плівки на основі модифікованого крохмалю та ПВС з інкорпорованим ксероформом зберігають антимікробну активність.

Для визначення дифузійної спроможності та оцінки ефективності біологічно активних речовин було застосовано метод дифузії в агаровому середовищі. Цей якісний метод є швидким інструментом для первинної оцінки чутливості мікроорганізмів до фунгіцидних сполук або досліджуваних субстанцій. Методологічним підґрунтям методу є здатність сполук до дифузії в агаризованому середовищі, що зумовлює інгібування росту тест-штамів. Швидкість дифузійного процесу визначається фізико-хімічними властивостями речовини, характеристиками розчинника, складом поживного середовища та показником рН. Принцип методу полягає у внесенні досліджуваної активної речовини на агаризоване середовище, попередньо інюкульоване тест-культурою, та подальшій оцінці зони пригнічення росту мікроорганізмів, що формуються внаслідок дифузії сполуки в агар [13]. Отримані результати дозволяють встановити наявність та охарактеризувати фунгіцидну активність досліджуваних зразків, оскільки формування зон затримки росту грибів є прямим наслідком дифузії біологічно активних речовин у щільне поживне середовище.

В експериментальній роботі використано наступні тест-культури мікроорганізмів: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* та *Aspergillus niger*. Культивування мікроорганізмів та визначення їх чутливості проводили в оптимальних умовах, використовуючи поживні середовища Сабуро (для грибів) та м'ясо-пептонний агар (МПА) для бактерій. У чашки Петрі стандартизованого розміру, встановлені на горизонтальній поверхні, вносили по 15 мл поживного середовища, попередньо інюкульованого відповідною тест-культурою. Для підсушування поверхні середовища після внесення інюкулянту чашки з напіввідкритими кришками залишали у ламінарній шафі не більше ніж на 15 хвилин. Культивування та інюкацію мікроорганізмів здійснювали в термостаті моделі ТС80м-2. *Candida albicans*, *E. coli* та *Staphylococcus aureus* культивували при температурі 37 °С, тоді як для *Aspergillus niger* оптимальною була температура 32 °С. Концентрацію суспензій *Candida albicans*, *E. coli* та *Staphylococcus aureus* визначали за допомогою нефелометра Densi-La-Meter-2 («Erba Lachema s.r.o.», Чехія); для *Aspergillus niger* використовували камеру Горяєва. Кінцева концентрація інюкулюму для всіх тест-культур становила 0.5×10^5 – 2.5×10^5 КУО/мл. Після затвердіння поживного середовища на його поверхню розміщували тканини, просочені досліджуваними речовинами. Первинні результати оцінювали через 24 години, фінальні – через 72 години інкубації. Критеріями валідності експерименту слугував суцільний мікробний газон однакової щільності на всій поверхні чашки Петрі та рівномірно округла форма зон затримки росту. Реєстрацію результатів проводили у відбитому світлі на темній матовій поверхні. При вимірюванні діаметру зон затримки росту орієнтувались на зону повного пригнічення видимого росту, вимірювання проводили штангенциркулем з точністю до 1.0 мм.

Результати антибактеріальних досліджень плівок, на основі МК і ксероформу на грам-позитивні (*Staphylococcus aureus*) і грам-негативні (*Escherichia coli*) бактерії представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Дослідження антибактеріальних властивостей плівок на основі модифікованого крохмалю з додаванням ксероформу

Склад плівок	Тип модифікації крохмалю	<i>Escherichia coli</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>	
		BC	BS	BC	BS
МК/ПВС (25/75) + Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 1 моль, 1,5 год	10	10	10	10
МК/ПВС (75/25) + Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 1 моль, 2,5 год	10	10	10	10
МК/ПВС (75/25) + Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 0,5 моль, 1,5 год	10	10	10	10
МК/ПВС (50/50) + Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 1 моль, 2 год	10	10	10	10
МК/ПВС (75/25) + Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 1 моль, 2,5 год	10	10	10	10
МК/ПВС (25/75) + Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 0,5 моль, 2,5 год	10	10	10	10
Контрольна чашка	-	0	0	0	0

Всі зразки продемонстрували максимальну бактерицидну та бактеріостатичну активність проти *Staphylococcus aureus* та *Escherichia coli*. Це вказує на високі антибактеріальні властивості плівок. Результати антигрибкових досліджень плівок, на основі МК і ксероформу представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Дослідження фунгіцидних властивостей плівок на основі модифікованого крохмалю з додаванням ксероформу

Склад плівок	модифікації крохмалю	Ріст грибів на зразку	Тест-штами
МК/ПВС(25/75)+Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 1 моль, 1, год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
МК/ПВС(75/25)+Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 1 моль, 2, год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
МК/ПВС(75/25)+Ксероформ 10 мас.%	Лимонна кислота, 0,5 моль, 1,5 год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
МК/ПВС(50/50)+Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 1 моль, 2 год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
МК/ПВС(75/25)+Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 1 моль, 2, год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
МК/ПВС(25/75)+Ксероформ 10 мас.%	Молочна кислота, 0,5 моль, 2,5 год	Відсутній	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>
Контрольна чашка		<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus niger</i>

Встановлено, що запропоновані полімерні композиції з використанням модифікованих полісахаридів і з додаванням Ксероформу забезпечують 100% антигрибковий ефект плівок.

У результаті дослідження зон інгібування не було. Так як, біоцидні агенти, що були на зразках інгібували зростання культур по всій чашці Петрі з середовищем. У контрольних чашках (без зразка) спостерігалось суцільне зростання.

Таким чином, розроблена плівкова матриця не лише забезпечує зручну та контрольовану доставку ксероформу до рани, але й дозволяє повною мірою реалізувати його антимікробний потенціал, створюючи надійний бар'єр проти інфекційних ускладнень та сприяючи ефективній регенерації пошкоджених тканин. Використання композиційного матеріалу з ксероформом відкриває перспективу для його альтернативного застосування, роблячи його використання більш зручним, ефективним та спрямованим на досягнення оптимального ранозагоювального ефекту із мінімізацією ризику вторинного інфікування.

Висновки

У даному дослідженні вивчено антибактеріальну та протигрибкову активність полімерних плівок на основі модифікованого крохмалю та полівінілового спирту з додаванням ксероформу, який є антисептичним агентом із широким спектром дії.

Встановлено, що всі досліджені зразки володіють вираженою бактерицидною та бактериостатичною активністю щодо грам-позитивних (*Staphylococcus aureus*) та грам-негативних (*Escherichia coli*) бактерій. Це підтверджує ефективність застосування даних композиційних матеріалів для пригнічення росту патогенних мікроорганізмів, що є ключовим фактором у профілактиці вторинних інфекцій ранових поверхонь.

Окрім антибактеріальної активності, досліджувані полімерні плівки продемонстрували повний антигрибковий ефект проти *Candida albicans* та *Aspergillus niger*, які є одними з найпоширеніших збудників грибкових уражень ран. Така ефективність може бути пов'язана з пролонгованим вивільненням ксероформу, що забезпечує тривалу протимікробну дію без необхідності частих заміन пов'язки.

Таким чином, отримані результати свідчать про значний потенціал полімерних плівок на основі МК/ПВС/ксероформу як перспективних матеріалів для створення інноваційних ранових покриттів із пролонгованою антимікробною активністю. Подальші дослідження спрямовуватимуться на оптимізацію фізико-механічних властивостей плівок, вивчення механізму контрольованого вивільнення ксероформу та біосумісності у реальних умовах застосування.

Література

1. Orfali, Raha & Ghaffar, Safina & Orfali, Razan & AlAjlan, Lateefa & Alsahli, Ruzan & Alaqeel, Shaden & Ameen, Fuad & Perveen, Shagufta. (2025). Anti-Bacterial Activity of an Ancient Remedy Against Pathogenic Skin Infections. *Natural Product Communications*. 20. 10.1177/1934578X241303282.
2. Delavari and Stiharu (2022) Preparation and Characterization of Eco-Friendly Transparent Antibacterial Starch/Polyvinyl Alcohol Materials for Use as Wound-Dressing. *Micromachines*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35744574/>

3. Delavari et al. (2022) Optimizing Biodegradable Starch-Based Composite Films Formulation for Wound-Dressing Applications. *Micromachines*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36557445/>
4. Kaur et al. (2011) Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of food science and technology*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23572771/>
5. Martins et al. (2018) Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International journal of biological macromolecules*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30171961/>
6. Johnson et al. (2023) Xeroform Gauze Bolster: A Cost-Effective Alternative to Synthetic Skin Grafts. *Cureus*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37846243/>
7. Chattopadhyay et al. (2016) An Inexpensive Bismuth-Petrolatum Dressing for Treatment of Burns. *Plastic and reconstructive surgery*. *Global open*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27482485/>
8. Nizam, A. A. K., Masri, S., Fadilah, N. I. M., Maarof, M., & Fauzi, M. B. (2025). Current Insight of Peptide-Based Hydrogels for Chronic Wound Healing Applications: A Concise Review. *Pharmaceuticals*, 18(1), 58. <https://doi.org/10.3390/ph18010058>
9. Alessio, Dominic & Kumar, Nishant & Nolan, Ryan & Klein, Justin & Ridelman, Elika & Shanti, Christina. (2023). 772 Bismuth Tribromophenate Gauze is Superior to Silver Sulfadiazine Cream for Mixed-depth Scald Burns in Children. *Journal of Burn Care & Research*. 44. S172-S172. 10.1093/jbcr/irad045.247.
10. Rosário JDS, Moreira FH, Rosa LHF, Guerra W, Silva-Caldeira PP. Biological Activities of Bismuth Compounds: An Overview of the New Findings and the Old Challenges Not Yet Overcome. *Molecules*. 2023 Aug 7;28(15):5921. doi: 10.3390/molecules28155921.
11. Barillo DJ, Barillo AR, Korn S, Lam K, Attar PS. The antimicrobial spectrum of Xeroform®. *Burns*. 2017;43:1189–94. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.10.023>.
12. Wang, R., Lai, TP., Gao, P. et al. Bismuth antimicrobial drugs serve as broad-spectrum metallo- β -lactamase inhibitors. *Nat Commun* 9, 439 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02828-6>
13. Методичні вказівки «Визначення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів». Розроблені відповідно до Постанови Головного державного санітарного лікаря України від 27.05.98 № 11 «Про порядок розробки, побудови, викладення, оформлення, затвердження державних санітарних правил і норм, гігієнічних нормативів та методичних документів».

References

1. Orfali, Raha & Ghaffar, Safina & Orfali, Razan & AlAjlan, Lateefa & Alsahli, Ruzan & Alaqeel, Shaden & Ameen, Fuad & Perveen, Shagufta. (2025). Anti-Bacterial Activity of an Ancient Remedy Against Pathogenic Skin Infections. *Natural Product Communications*. 20. 10.1177/1934578X241303282.
2. Delavari and Stiharu (2022) Preparation and Characterization of Eco-Friendly Transparent Antibacterial Starch/Polyvinyl Alcohol Materials for Use as Wound-Dressing. *Micromachines*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35744574/>
3. Delavari et al. (2022) Optimizing Biodegradable Starch-Based Composite Films Formulation for Wound-Dressing Applications. *Micromachines*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36557445/>
4. Kaur et al. (2011) Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of food science and technology*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23572771/>
5. Martins et al. (2018) Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International journal of biological macromolecules*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30171961/>
6. Johnson et al. (2023) Xeroform Gauze Bolster: A Cost-Effective Alternative to Synthetic Skin Grafts. *Cureus*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37846243/>
7. Chattopadhyay et al. (2016) An Inexpensive Bismuth-Petrolatum Dressing for Treatment of Burns. *Plastic and reconstructive surgery*. *Global open*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27482485/>
8. Nizam, A. A. K., Masri, S., Fadilah, N. I. M., Maarof, M., & Fauzi, M. B. (2025). Current Insight of Peptide-Based Hydrogels for Chronic Wound Healing Applications: A Concise Review. *Pharmaceuticals*, 18(1), 58. <https://doi.org/10.3390/ph18010058>
9. Alessio, Dominic & Kumar, Nishant & Nolan, Ryan & Klein, Justin & Ridelman, Elika & Shanti, Christina. (2023). 772 Bismuth Tribromophenate Gauze is Superior to Silver Sulfadiazine Cream for Mixed-depth Scald Burns in Children. *Journal of Burn Care & Research*. 44. S172-S172. 10.1093/jbcr/irad045.247.
10. Rosário JDS, Moreira FH, Rosa LHF, Guerra W, Silva-Caldeira PP. Biological Activities of Bismuth Compounds: An Overview of the New Findings and the Old Challenges Not Yet Overcome. *Molecules*. 2023 Aug 7;28(15):5921. doi: 10.3390/molecules28155921.
11. Barillo DJ, Barillo AR, Korn S, Lam K, Attar PS. The antimicrobial spectrum of Xeroform®. *Burns*. 2017;43:1189–94. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2016.10.023>.
12. Wang, R., Lai, TP., Gao, P. et al. Bismuth antimicrobial drugs serve as broad-spectrum metallo- β -lactamase inhibitors. *Nat Commun* 9, 439 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02828-6>
13. Методичні вказівки «Визначення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів». Розроблені відповідно до Постанови Головного державного санітарного лікаря України від 27.05.98 № 11 «Про порядок розробки, побудови, викладення, оформлення, затвердження державних санітарних правил і норм, гігієнічних нормативів та методичних документів».