



О. А. Вільцанюк<sup>1</sup>,  
В. М. Кравченко<sup>1</sup>,  
Т. П. Осолодченко<sup>2</sup>,  
В. Г. Резанова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Вінницький національний  
медичний університет  
ім. М. І. Пирогова

<sup>2</sup> ДУ «Інститут мікробіології  
та імунології ім. І. І. Мечнікова  
НАМН України», м. Харків

<sup>3</sup> Київський національний  
університет технологій  
та дизайну

© Колектив авторів

## АНТИМІКРОБНА АКТИВНІСТЬ СІТЧАСТИХ ІМПЛАНТАТІВ З ПОЛІПРОПІЛЕНУ МОДИФІКОВАНОГО НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА ТА ВУГЛЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

**Резюме.** Вступ Операції при грижах живота передбачають використання поліпропіленових сітчастих імплантатів. Але кількість ускладнень при їх використанні залишається доволі високою серед яких гнійно-запальні ускладнення найбільш важкі. Тому розробка сітчастих імплантатів з антимікробними властивостями залишається актуальною проблемою.

**Мета дослідження.** Вивчити антимікробну активність розробленого сітчастого імплантату з поліпропілену модифікованого наночастинками срібла та вуглецими нанотрубками

**Матеріали та методи.** Антимікробну активність, розробленої сітки вивчали в порівнянні з відомою поліпропіленовою сіткою з антимікробною активністю покритою 1% розчином антисептика полігексаметиленбігуанідину хлориду. Розроблена сітка була виготовлена з поліпропіленової мононитки до складу якої було введено нано частинки срібла та тришарові вуглецеві нанотрубки. Для оцінки антимікробної активності розроблених сіток використовували тест –штами мікроорганізмів *S.aureus* ATCC 25923 *E. coli* ATCC 25922, *Ps.aureginosae* ATCC 27853, *P. vulgaris* ATCC 4636, *B. subtilis* ATCC 6633 та гриби *Candida albicans* ATCC 885/653. Антимікробну активність імплантатів вивчали методом дифузії а агар та методом послідовних серійних розведень в сухому стані, при контакті з культурою мікроорганізмів, після перебування в тканинах в експерименті та здатність мікроорганізмів до адгезії після контакту з імплантатами. Отримані дані піддавались статистичній обробці і порівнювались.

**Результати дослідження.** Проведені дослідження показали, що антимікробна активність розробленої сітки була достовірно вища ( $p < 0,05$ ) ніж активність сітки прототипу. Через 3 доби експозиції сітки прототипу кількість мікроорганізмів в поживному середовищі не зменшувалась і була на рівні  $10^3$ – $10^4$  Куо/мл і складала: *S.aureus* ATCC 25923 до  $(4,2 \times 10^3 \pm \pm 0,1 \times 10^3)$  Куо/мл, *Ps. aureginosae* ATCC 27853 до  $(3,8 \times 10^4 \pm \pm 0,1 \times 10^4)$  Куо/мл, *Candida albicans* ATCC 885/653 до  $(6,1 \times 10^4 \pm \pm 0,2 \times 10^4)$  Куо/мл. Тоді як, в посівах з поживного середовища після контакту з розробленою сіткою, на цей термін спостереження, мікроорганізми. *S.aureus* ATCC 25923 та *Ps.aureginosae* ATCC 27853 не висівались, а гриби *Candida albicans* ATCC 885/653 висівались у вигляді поодиноких колоній. Вивчення адгезивної активності мікроорганізмів показало, що після контакту з сіткою прототипом адгезивна активність *S.aureus* ATCC 25923 знижувалась на 30%, *E.coli* ATCC 25922 на — 21,7%, *Ps.aureginosae* ATCC 27853 на — 30,7%, *Candida albicans* ATCC 885/653 на — 29,0%. Тоді як після контакту з розробленою сіткою адгезивна активність *S.aureus* ATCC 25923 зменшувалась на 60,0% *E.coli* ATCC 51,4%, *Ps.aureginosae* ATCC 27853 на 64,4%, *Candida albicans* на 50,0%. Після перебування в тканинах сітка прототип втрачала антимікробну активність до 3 доби спостереження. Тоді як антимікробна активність розробленої сітки зберігалась до 30 доби експерименту.

**Висновки** 1. Розроблений сітчастий імплантат з поліпропілену модифікованого наночастинками срібла та вуглецевими на-



нотрубками має тривалу високу антимікробну активність яка зберігається в тканинах до 30 діб.

2. Після контакту мікроорганізмів з розробленим сітчастим імплантатом адгезивна активність *S.aureus* ATCC 25923 зменшувалась на 60,0% *E.coli* ATCC — 51,4%, *Ps.aeruginosae* ATCC 27853 на 64,4%, *Candida albicans* на 50,0%, що свідчить про можливість впливати на колонізаційну здатність мікроорганізмів та утворення біоплівки на імплантаті.

**Ключові слова:** грижепластика, поліпропіленові сітчасті імплантати з антимікробними властивостями, наночастинки срібла, вуглецеві нанотрубки

### Вступ

Проблеми лікування гриж живота залишаються однією з найбільш актуальних проблем сучасної хірургії [1]. На сьогодні при проведенні грижепластики широко використовуються поліпропіленові (ПП) сітчасті імплантати [2, 3].

Але не зовсім задовільні результати лікування цієї патології та ускладнення у післяопераційному періоді, серед яких найбільш важкими залишаються гнійно-запальні, приводять до рецидивів гриж, потребують проведення повторних оперативних втручань та значно погіршують якість життя хворих [4, 5].

Тому розробка нових видів сітчастих імплантатів високої міцності з антимікробними та іншими властивостями залишається актуальною проблемою. Вирішення якої можливе тільки шляхом розробки імплантатів з використанням матеріалів яким притаманні нові властивості.

Розвиток сучасної науки, а саме нанотехнологій дозволяє отримувати нові матеріали з заданими або новими властивостями за рахунок введення в відомі матеріали наночастинок металів або вуглецевих нанотрубок (ВНТ) [6-8].

На сучасному етапі стану в зв'язку з проблемою антибіотикорезистентності збудників гнійно-запальних захворювань з'являються роботи, що для подолання резистентності до антибіотиків та профілактики ускладнень після операцій в якості антимікробного агента використовуються наночастинки срібла (НЧС), які мають високу антимікробну активність, діють на антибіотикорезистентні штами мікроорганізмів, здатні профілакувати утворення біоплівки та мають значно меншу токсичність в порівнянні з препаратами срібла [9, 10].

На теперішній час створено нитки з поліпропілену, які містять у своєму складі ВНТ та НЧС. Розроблені нитки мають високу міцність, антимікробну активність та високу біосумісність з тканинами і можуть використовуватись в якості хірургічного шовного матеріалу [11, 12]. На основі отриманих ниток нами розроблено новий вид нанокompозитних сітчастих імплантатів з антимікробними властивостями.

### Мета дослідження

Вивчити антимікробну активність розробленого сітчастого імплантату з поліпропілену модифікованого наночастинами срібла та вуглецевими нанотрубками

### Матеріали та методи досліджень

Оцінку антимікробної активності розробленої сітки проводили в порівнянні з поліпропіленовою сіткою з покриттям 1% розчином полімерного антисептика полігексаметилен бігуанідину хлориду. Для виготовлення розробленої сітки була використана поліпропіленова мононитка нитка до складу якої в процесі формування було введено антимікробну речовину, а саме 1,5 % НЧС іммобілізованих на нанокремнеземі та як добавку 1 % тришарових ВНТ.

Відповідно до рекомендацій ВООЗ для оцінки антимікробної активності препаратів та виробів з антимікробною активністю використовували тест-штами мікроорганізмів *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853, *Proteus vulgaris* ATCC 4636, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 та гриби *Candida albicans* ATCC 885/653. Приготування мікробної суспензії мікроорганізмів проводили з використанням приладу Densi-La-Meter (виробництво PLIVA-Lachema, Чехія; довжина хвилі 540 нм). Суспензію готували згідно з інструкцією, що додається до приладу і інформаційного листа про нововведення в системі охорони здоров'я № 163-2006 «Стандартизація приготування мікробних суспензій», м. Київ.

Синхронізацію культур проводили з використанням низької температури (4 °С). Мікробне навантаження становило  $10^7$  мікробних клітин на 1 мл середовища і встановлювалася за стандартом McFarland. У роботу брали 18-24 годинну культуру мікроорганізмів. Для визначення антимікробної активності сухих сіток шматочки сітки розміром 0,5×0,5 см поміщали на засіяні тим чи іншим мікроорганізмом чашки Петрі і інкубували в термостаті при температурі 37 °С на протязі 48 годин після чого визначали зони затримки росту.



Для проведення порівняльної оцінки впливу сіток на здатність росту мікроорганізмів при контакті з сітчастими імплантатами шматочки сітки розміром 0,5×0,5 см поміщали в живильний бульйон в якому знаходились культури мікроорганізмів *S. aureus* ATCC 25923, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 і гриби *Candida albicans* ATCC 885/653 в концентрації 10<sup>6</sup> Куо/мл та інкубували в термостаті при температурі 37 °С протягом доби. Після чого забирали по 1,0 мл живильного середовища та готували послідовні серійні розведення від 10<sup>-1</sup> до 10<sup>-7</sup> та проводили висів на відповідні тверді поживні середовища і підраховували кількість колоній мікроорганізмів та грибів які вирости з того чи іншого розведення після контакту з сітками. Критерієм оцінки ефективності антимікробної активності сіток було зменшення числа життєздатних колоній клітин мікроорганізмів за певний період контамінації. Здатність мікроорганізмів до адгезії після контакту з сітчастими імплантатами вивчали за методикою V. I. Brilis (1986) [13].

Експериментальні дослідження були виконані з дотриманням вимог міжнародного права (Гельсінської декларації прав людини 1975 р. та Ванкуверської конвенції 1974, 1994 рр. про біомедичні експерименти), а також згідно законів та документів про біоетику України (протокол Комітету з біоетики Вінницького національного університету ім. М. І. Пирогова № 9 від 19 листопада 2019 р.). Експериментальна частина роботи виконана на 70 статевозрілих лабораторних щурах масою тіла від 200 до 250 гр. у віварії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова, які утримувались відповідно загальноприйнятих норм.

Щурі були розподілені на дві серії дослідів (по 35 тварин в кожній серії). У першій серії дослідів було проведено імплантацію поліпропіленових сітчастих імплантатів з покриттям антисептиком полігексаметиленгуанідину хлорид. У другій серії – розроблених поліпропіленових сітчастих імплантатів виготовлених з поліпропіленових ниток до складу яких було введено ВНТ та НЧС. Оперативні втручання проводили після премедикації димедролом з розрахунку 1.5 мг/кг маси тіла та аміназину (0.02 мг/кг), під кетаміновим наркозом (шляхом внутрішньом'язового введення кетаміну з розрахунку 10 мг/кг маси тіла щура).

Після введення тварин в наркоз їх фіксували на столику, обробляли операційне поле Бетадином та спиртом тричі, після чого здійснювали середину лапаротомію. Зашивали очереувину, м'язи та апоневроз передньої черевної стінки і на лінію з'єднання накладали сітчасті імплантати розміром 1.0×0.5 см та фіксували їх окремими вузловими швами до передньої черевної стінки по лінії з'єднання. Після чого

зашивали шкіру і підшкірну клітковину вузловими швами відповідним шовним матеріалом і обробляли післяопераційну рану Бетадином.

Тварин виводили з досліду шляхом декапітації після попереднього знеболення тіопенталом-натрію з розрахунку 50 мг/кг маси тіла через 3, 5, 7, 14, 21, 30 та 90 днів після проведення оперативного втручання. У виведених з досліду тварин вимірювали масу тіла, давали оцінку видимих шкірних покривів та місць імплантації сіток і висікали тканини передньої черевної стінки разом з імплантатами для подальших мікробіологічних та морфологічних досліджень.

Для вивчення антимікробної активності досліджуваних сіток після перебування в тканинах, після виведення тварин з досліду, в стерильних умовах забирали сітчастий імплантат, відокремлювали від тканин ділянку імплантату розміром 0,5×0,5см, промивали стерильним фізіологічним розчином, і зразу ж поміщали на поживне середовище попередньо засіяне ти чи іншим видом мікроорганізмів.

Для дослідження були використані еталонні штами мікроорганізмів *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25923-*Ps. aeruginosae* ATCC 27853 та гриби *Candida albicans* ATCC 885/65.

Статистичний аналіз отриманих даних і їх порівняльну оцінку проводили за допомогою інтегральної системи STATISTICA® 5.5 (STAT+SOFT® Inc, USA), ліцензія за номером А ХХ 910А374605FA. Враховуючи оцінку нормальності розподілу даних кількісних параметрів порівняння груп проводили за t-критерієм. Граничний рівень похибки першого роду прийнято на рівні не більше 5 % [14].

### Результати досліджень та їх обговорення

Дані результатів дослідження антибактеріальної активності досліджуваних сіток представлені в табл. 1.

Проведені дослідження показали, що антимікробна активність розробленої сітки була достовірно вища ( $p < 0,05$ ) ніж активність сітки прототипу.

Як показали проведені дослідження через добу після контакту з сіткою прототипом кількість мікроорганізмів *S. aureus* ATCC 25923 у поживному середовищі зменшувалась на один порядок і складала ( $4,8 \times 10^5 \pm 0,1 \times 10^5$ ) Куо/мл, тоді як при контакті з розробленою сіткою кількість мікроорганізмів *S. aureus* ATCC 25923 зменшилась до ( $3,2 \times 10^3 \pm 0,4 \times 10^3$ ) Куо/мл.

Така ж картина спостерігалась і при контакті з *Ps. aeruginosae* ATCC 27853, кількість мікроорганізмів в поживному середовищі також достовірно зменшувалась і складала ( $3,7 \times 10^5 \pm 0,2 \times 10^4$ ) Куо/мл проти ( $2,7 \times 10^4 \pm 0,4 \times 10^4$ ) Куо/мл після контакту з розробленою сіткою. При кон-

Таблиця 1

Порівняльна оцінка антимікробної активності сітки прототипу та розробленої сітки

Досліджувані імплантати	Діаметри зон затримки росту в мм					
	<i>S. aureus</i> ATCC 25923	<i>E. coli</i> ATCC 225922	<i>Ps. aeruginosae</i> ATCC 27853	<i>Pr. vulgaris</i> ATCC 4636	<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	<i>C. albicans</i> ATCC 885/653
Сітка прототип	22,0±0,2	21,6±0,3	18,2±0,1	13,0±0,2	21,6±0,3	11,2±0,1
Розроблена сітка	25,1±0,4*	24,2±0,1*	21,6±0,1*	19,1±0,2*	23,3±0,1*	17,0±0,4*

Примітка: \*-антимікробна активність розробленої сітки достовірно вища (p<0,05) в порівнянні з антимікробною активністю сітки прототипу

такті з культурою грибів роду *Candida albicans* ATCC 885/653 кількість клітин в поживному середовищі зменшувалась до 10<sup>5</sup> Куо/мл і складала як при контакті з прототипом (2,3×10<sup>5</sup> ± ± 0,5×10<sup>5</sup>) Куо/мл так і при контакті з розробленою сіткою — (2,9×10<sup>4</sup> ± 0,7×10<sup>4</sup>) Куо/мл.

Після 2 діб культивування спостерігалась інша картина, так кількість мікроорганізмів у поживному середовищі після контакту з сіткою прототипом зменшувалась *S. aureus* ATCC 25923 до (3,2×10<sup>4</sup>±0,3×10<sup>4</sup>) Куо/мл *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 (4,2×10<sup>4</sup> ± 0,3×10<sup>4</sup>) Куо/мл, а по відношенню до грибів роду *Candida albicans* ATCC 885/653 залишалась на попередньому рівні і складала (3,5×10<sup>5</sup> ± 0,3×10<sup>5</sup>) Куо/мл. Тоді як при контакті з розробленою сіткою кількість мікроорганізмів в поживному середовищі зменшувалась і складала *S. aureus* ATCC 25923 до (4,2×10<sup>2</sup> ± 0,5×10<sup>2</sup>), *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 до (6,2×10<sup>3</sup> ± ± 0,2×10<sup>3</sup>) *Candida albicans* ATCC 885/653 до (4,7×10<sup>3</sup> ± 0,9×10<sup>3</sup>) Куо/мл.

Через 3 доби експозиції сітки прототипу кількість мікроорганізмів в поживному середовищі не зменшувалась і була на рівні 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> Куо/мл і складала: *S. aureus* ATCC 25923 до (4,2×10<sup>3</sup> ± ± 0,1×10<sup>3</sup>) Куо/мл, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 до (3,8×10<sup>4</sup> ± 0,1×10<sup>4</sup>) Куо/мл, *Candida albicans* ATCC 885/653 до (6,1×10<sup>4</sup> ± 0,2×10<sup>4</sup>) Куо/мл.

Тоді як в посівах з поживного середовища після контакту з розробленою сіткою, на цей термін спостереження мікроорганізми. *S. aureus* ATCC 25923 та *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 не висівались, а гриби *Candida albicans* ATCC 885/653 висівались у вигляді поодиноких колоній.

При вивченні впливу сітчастих імплантатів на адгезивні властивості мікроорганізмів було встановлено, що вплив розробленої сітки на адгезивні властивості мікроорганізмів був достовірно вищим (p< 0,05) ніж сітки прототипу (табл. 2).

Так, по відношенню до *S. aureus* ATCC 25923 після контакту з сіткою прототипом адгезивна активність знижувалась на 30%, по відношенню до *E. coli* ATCC 25922 — 21,7% *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 30,7%, *Candida albicans* ATCC 885/653 29,0%. Тоді як після контакту з розробленою сіткою адгезивна актив-

ність *S. aureus* ATCC 25923 зменшувалась на 60,0% *E. coli* ATCC — 51,4%, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 на 64,4%, *Candida albicans* на 50,0%.

Таблиця 2

Порівняльна оцінка впливу на адгезивні властивості мікроорганізмів сітки прототипу та розробленої сітки

Вид мікроорганізмів	K **	Індекс адгезивності мікроорганізмів (абс.число)		
		Контроль	Сітка прототип	Розроблена сітка
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	95	4,0±0,3	2,8±0,2	1,6±0,2*
<i>E. coli</i> ATCC 25922	95	3,7±0,5	2,9±0,1	1,8±0,1*
<i>P. aerug.</i> ATCC 27853	95	6,0±0,4	4,1±0,5	2,2±0,4*
<i>C. albicans</i> 855/653	98	3,8±0,2	2,7±0,3	1,9±0,3*

Примітка: \* індекс адгезії достовірно нижче (p<0,05) в порівнянні з контролем та індексом адгезії після контакту з сіткою прототипом; K \*\* — коефіцієнт участі еритроцитів в адгезивному процесі

При вивченні антимікробної активності сіток після перебування в тканинах встановлено, що сітка з поліпропілену не мала антимікробної активності (зони затримки росту навколо поліпропіленової сітки складали 2–4 мм на поживному середовищі незалежно від виду мікроорганізму).

Тоді як сітка прототип через добу після імплантації мала доволі високу антимікробну активність (зони затримки росту *S. aureus* ATCC 25923 (23,3±1,2) мм до *E. coli* ATCC 25922 (21,9±0,7) мм *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 (19,1±0,4) мм *C. albicans* ATCC 885/65 (18,7±0,4) мм. Через три доби після перебування в тканинах антимікробна активність була достовірно нижче (p < 0,05) (зони затримки росту *S. aureus* ATCC 25923 — (12,4±0,7) мм, *E. coli* ATCC 25922 — (11,9 ± 0,7) мм, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 — (10,2± 0,4) мм, *C. albicans* ATCC 885/65 — (10,2±0,4) мм. Через 5 діб після перебування в тканинах трансплантат повністю втрачав антимікробну активність.

Результати вивчення антимікробної активності розробленої сітки після перебування в тканинах наведені в табл. 3.

Отримані дані показали, що сітка з покриттям антисептиком через добу після імплантації мала доволі високу антимікробну активність (23,3 ± 1,2) мм, але до третьої доби спостереження вона частково втрачала антимікробну



Таблиця 3

Порівняльна оцінка динаміки змін антимікробної активності сітки прототипу та розробленої сітки після перебування в тканинах

Терміни спостереження	Зони затримки росту мікроорганізмів (мм)							
	<i>S. aureus</i> ATCC 25923		<i>E.coli</i> ATCC 25922		<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27853		<i>Candida albicans</i> ATCC885/653	
	Розроблена сітка	Сітка прототип	Розроблена сітка	Сітка прототип	Розроблена сітка	Сітка прототип	Розроблена сітка	Сітка прототип
1 доба	25,1±0,4	23,3 ±1,2*	23,9±0,7	21,9 ± 0,7*	21,4±0,5	19,1± 0,4*	20,3±0,7	18,7±0,4*
3 доба	24,9±0,2	12,4±0,7 *	22,8±0,3	11,9 ± 0,7*	20,6±0,1	10,2± 0,4 *	19,8±0,7	10,2±0,4 *
5 доба	24,1±0,8	3,8±0,3	22,4±0,6	2,1±0,1	19,6±0,5	ріст	19,3±0,2	ріст
7 доба	24,0±0,6	ріст	21,9±0,08	ріст	18,8±0,4	ріст	18,2±0,5	ріст
14 доба	23,7±0,3	ріст	21,0±0,2	ріст	18,2±0,7	ріст	18,0±0,3	ріст
21 доба	22,8±0,1*	ріст	19,7±0,5*	ріст	18,0±0,3	ріст	17,8±0,2*	ріст
30 доба	19,4±0,2	ріст	18,5±0,4	ріст	17,7±0,2	ріст	17,0±0,3	ріст

Примітка: \*- антимікробна активність розробленої сітки достовірно вища ( $p < 0,05$ ) в порівнянні з антимікробною активністю сітки прототипу.

активність, а на п'яту добу повністю втрачала антимікробну активність. Тоді як, після перебування в тканинах антимікробна активність розробленої сітки зберігалась тривалий час і була високою протягом всього терміну спостереження.

На 30 добу після перебування в тканинах антимікробна активність розробленого сітчастого імплантату залишалась на доволі високому рівні, про що свідчили зони затримки росту які коливались в межах 19–17 мм.

За даними літератури важливим моментом при оперативному лікуванні гриж живота є профілактика гнійно-запальних ускладнень у післяопераційному періоді особливо при лікуванні післяопераційних гриж у хворих після оперативних втручань з приводу гострих захворювань органів черевної порожнини у яких в післяопераційному періоді було нагноєння післяопераційної рани.

Загальноприйнятою методикою профілактики гнійно-запальних ускладнень у таких хворих є призначення парентерального введення антибіотиків, але створити терапевтичні концентрації в ділянці післяопераційної рани важко внаслідок порушень мікроциркуляції в ділянці післяопераційної рани, наявності запального процесу та інших факторів. Тому місцеве підведення антимікробних засобів є більш перспективним напрямком профілактики ускладнень.

Розроблений сітчастий імплантат у складі матеріалу з якого він виготовлений містить наночастинки срібла, які виконують роль антимікробної речовини в поєднанні з вуглецевими нанотрубками і забезпечує високу антимікробну активність матеріалу по відношенню до широкого спектру мікроорганізмів при цьому не викликає стійкості мікроорганізмів до цього

антисептика і забезпечує тривале збереження імплантатом антимікробної активності

Проведені дослідження показали, що на відміну від відомого імплантату, розроблена сітка має високу антимікробну активність до основних збудників гнійно-запальних захворювань, здатна зменшувати кількість мікроорганізмів в поживному середовищі та має високу здатність зменшувати такий фактор вірулентності мікроорганізмів як здатність до адгезії.

Отримані дані показали, що розроблений імплантат за рахунок своїх властивостей буде профілакувати утворення біоплівки на імплантаті і тим самим попереджувати виникнення ускладнень

Важливою властивістю імплантату залишається тривале збереження антимікробної активності при перебуванні в тканинах. На 30 добу експерименту антимікробна активність розробленого сітчастого імплантату залишалась на доволі високому рівні, про що свідчили зони затримки росту які коливались в межах 19–17 мм.

### Висновки

1. Розроблений сітчастий імплантат з поліпропілену модифікованого наночастинками срібла та вуглецевими нанотрубками має високу антимікробну активність яка зберігається в тканинах до 30 діб.

2. Після контакту мікроорганізмів з сітчастим імплантатом з поліпропілену модифікованого наночастинками срібла та вуглецевими нанотрубками адгезивна активність *S. aureus* ATCC 25923 зменшувалась на 60,0% *E. coli* ATCC - 51,4%, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 на 64,4%, *Candida albicans* на 50,0%, що свідчить про можливість впливати на здатність мікроорганізмів до утворення біоплівки на імплантаті



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. The Hernia Surge Group. International guidelines for groin hernia management. *Hernia* [Internet]. 2018 Jan 12;22(1):1–165. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5809582/>.
2. Lockhart K, Dunn D, Teo S, Ng JY, Dhillon M, Teo E, et al. Mesh versus non-mesh for inguinal and femoral hernia repair. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. 2018 Sep 13;2018(9). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6513260/>.
3. Tanasescu C, Moisin A, Mihetiu A, Serban D, Costache A, Bratu DG. The use of polypropylene mesh in inguinal hernia surgery: A retrospective study. *Experimental and Therapeutic Medicine* [Internet]. 2021 Oct 1 [cited 2022 Nov 1];22(4):1193. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8406872/>.
4. Plymale MA, Davenport DL, Walsh-Blackmore S, Hess J, Griffiths WS, Plymale MC, et al. Costs and Complications Associated with Infected Mesh for Ventral Hernia Repair. *Surgical Infections*. 2020 May 1;21(4):344–9.
5. Wilson RB, Farooque Y. Risks and Prevention of Surgical Site Infection After Hernia Mesh Repair and the Predictive Utility of ACS-NSQIP. *Journal of Gastrointestinal Surgery*. 2022 Jan 21;26(4):950–64.
6. Hassan T, Salam A, Khan A, Khan SU, Khanzada H, Wasim M, et al. Functional nanocomposites and their potential applications: A review. *Journal of Polymer Research*. 2021 Jan 8;28(2).
7. New functional substances end materials for chemical engineering. PH “Akademperiodyka” eBooks. 2021. URL: <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.444.332>
8. Mohd Nurazzi N, Asyraf MRM, Khalina A, Abdullah N, Sabaruddin FA, Kamarudin SH, et al. Fabrication, Functionalization, and Application of Carbon Nanotube-Reinforced Polymer Composite: An Overview. *Polymers*. 2021 Mar 26;13(7):1047.
9. Huh AJ, Kwon YJ. “Nanoantibiotics”: a new paradigm for treating infectious diseases using nanomaterials in the antibiotics resistant era. *Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society* [Internet]. 2011;156(2):128–45. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21763369>
10. Vimbela GV, Ngo SM, Frazee C, Yang L, Stout DA. Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials. *Int J Nanomedicine*. 2017;12:3941–65 URL:<https://doi.org/10.2147/IJN.S134526>
11. Резанова НМ, Плаван ВП, Коршун АВ, Картель МТ, Сименцов ЮІ, Вільцанюк ОА, Беляев ПВ, Вільцанюк ОО, Дзюбенко ЛС, Сапьяненко ОО, Горбик ПП винахідники; Київський університет технології дизайн, патентовласник. Композиція для отримання ниток з антимікробними властивостями. Патент України №1008552. 2016 Лип 25.
12. Беляев ПВ Резанова НМ Вільцанюк ОА. Порівняльна оцінка біосумісності нового хірургічного шовного матеріалу з поліпропілену модифікованого вуглецевими нанотрубками та наночастинками срібла. *Scientific heritage*. 2020;2(49):17-22. URL: <https://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/VOL-2-No-49-49-2020.pdf>
13. Brylvs VY, Brylene TA, Lentsner KhP, Lentsner AA. *Metodyka yzuchenyia adhezyvnoho protsessa mykroorhanyzmov. Laboratornoe delo*, 1986, 4:210-212.
14. Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research*. Chapman and Hall/CRC. 1990; 624 p. ISBN 978-0-412-27630-9. URL: <https://doi.org/10.1201/9780429258589>

## REFERENCES

1. The Hernia Surge Group. International guidelines for groin hernia management. *Hernia* [Internet]. 2018 Jan 12;22(1):1–165. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5809582/>.
2. Lockhart K, Dunn D, Teo S, Ng JY, Dhillon M, Teo E, et al. Mesh versus non mesh for inguinal and femoral hernia repair. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. 2018 Sep 13;2018(9). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6513260/>.
3. Tanasescu C, Moisin A, Mihetiu A, Serban D, Costache A, Bratu DG. The use of polypropylene mesh in inguinal hernia surgery: A retrospective study. *Experimental and Therapeutic Medicine* [Internet]. 2021 Oct 1 [cited 2022 Nov 1];22(4):1193. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8406872/>.
4. Plymale MA, Davenport DL, Walsh-Blackmore S, Hess J, Griffiths WS, Plymale MC, et al. Costs and Complications Associated with Infected Mesh for Ventral Hernia Repair. *Surgical Infections*. 2020 May 1;21(4):344–9.
5. Wilson RB, Farooque Y. Risks and Prevention of Surgical Site Infection After Hernia Mesh Repair and the Predictive Utility of ACS-NSQIP. *Journal of Gastrointestinal Surgery*. 2022 Jan 21;26(4):950–64.
6. Hassan T, Salam A, Khan A, Khan SU, Khanzada H, Wasim M, et al. Functional nanocomposites and their potential applications: A review. *Journal of Polymer Research*. 2021 Jan 8;28(2).
7. New functional substances end materials for chemical engineering. PH “Akademperiodyka” eBooks. 2021. URL: <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.444.332>
8. Mohd Nurazzi N, Asyraf MRM, Khalina A, Abdullah N, Sabaruddin FA, Kamarudin SH, et al. Fabrication, Functionalization, and Application of Carbon Nanotube-Reinforced Polymer Composite: An Overview. *Polymers*. 2021 Mar 26;13(7):1047.
9. Huh AJ, Kwon YJ. “Nanoantibiotics”: a new paradigm for treating infectious diseases using nanomaterials in the antibiotics resistant era. *Journal of controlled release: official journal of the Controlled Release Society* [Internet]. 2011;156(2):128–45. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21763369>
10. Vimbela GV, Ngo SM, Frazee C, Yang L, Stout DA. Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials. *Int J Nanomedicine*. 2017;12:3941–65 <https://doi.org/10.2147/IJN.S134526>
11. Rezanova NM, Plavan VP, Korshun AV, Kartel MT, Symentsov YuI, Viltzaniuk OA, Bieliaiev PV, Viltzaniuk OO, Dziubenko LS, Sapianenko OO, Horbyk PP vynakhidnyky; Kyivskiy universytet tekhnolohii dyzain, patentovlasnyk. Kompozytsiia dlia otrymannia nytok z antymikrobnymy vlastyvostiamy. Patent Ukrainy №1008552. 2016 Lyp 25.
12. Bieliaiev PV, Rezanova NM, Viltzaniuk OA Porivnialna otsinka biosumisnosti novoho khirurhichnoho shovnoho materialu z polipropilenu modyfikovanoho vuhletsevymy nanotrubbkamy ta nanochastynkamy sribla. *Scientific heritage*. 2020;2(49):17-22. <https://www.scientific-heritage.com/wp-content/uploads/2020/09/VOL-2-No-49-49-2020.pdf>
13. Brylvs V.Y., Brylene T.A., Lentsner Kh.P., Lentsner A.A. *Metodyka yzuchenyia adhezyvnoho protsessa mykroorhanyzmov. Laboratornoe delo*, 1986, 4:210-212.
14. Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research*. Chapman and Hall/CRC. 1990; 624 p. ISBN 978-0-412-27630-9. URL :<https://doi.org/10.1201/9780429258589>



ANTIMICROBIAL  
ACTIVITY OF MESH  
IMPLANTS MADE  
OF POLYPROPYLENE  
MODIFIED WITH SILVER  
NANOPARTICLES AND  
CARBON NANOTUBES

O. A. Viltsanyuk,  
V. M. Kravchenko,  
T. P. Osolodchenko,  
V. G. Rezanova

**Introduction.** Surgery for abdominal hernias involves the use of polypropylene mesh implants. However, the number of complications associated with their use remains quite high, with purulent and inflammatory complications being the most severe. Therefore, the development of mesh implants with antimicrobial properties remains an urgent problem.

The aim of the study. To study the antimicrobial activity of the developed mesh implant made of polypropylene modified with silver nanoparticles and carbon nanotubes.

**Materials and methods.** The antimicrobial activity of the developed mesh was studied in comparison with the known polypropylene mesh with antimicrobial activity coated with a 1% solution of the antiseptic polyhexamethylene biguanidine chloride. The developed mesh was made of polypropylene monofilament with silver nanoparticles and three-layer carbon nanotubes. To evaluate the antimicrobial activity of the developed nets, the test strains of microorganisms *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853, *P. vulgaris* ATCC 4636, *B. subtilis* ATCC 6633 and fungi *Candida albicans* ATCC 885/653 were used. The antimicrobial activity of the implants was studied by the agar diffusion method and the method of serial dilutions in dry conditions, in contact with the culture of microorganisms, after being in the tissues in the experiment, and the ability of microorganisms to adhere after contact with the implants. The data obtained were statistically processed and compared.

**Results.** The study showed that the antimicrobial activity of the developed mesh was significantly higher ( $p < 0.05$ ) than that of the prototype mesh. After 3 days of exposure to the prototype mesh, the number of microorganisms in the culture medium did not decrease and was at the level of  $10^3$ – $10^4$  CFU/ml and was as follows: *S. aureus* ATCC 25923 to  $(4.2 \times 10^3 \pm 0.1 \times 10^3)$  CFU/ml, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 to  $(3.8 \times 10^4 \pm 0.1 \times 10^4)$  CFU/ml, *Candida albicans* ATCC 885/653 to  $(6.1 \times 10^4 \pm 0.2 \times 10^4)$  CFU/ml. Whereas, in the cultures from the culture medium after contact with the developed grid, for this observation period, the microorganisms *S. aureus* ATCC 25923 and *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 were not inoculated, and *Candida albicans* ATCC 885/653 were inoculated as single colonies. The study of the adhesive activity of microorganisms showed that after contact with the prototype grid, the adhesive activity of *S. aureus* ATCC 25923 decreased by 30%, *E. coli* ATCC 25922 by 21.7%, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 by 30.7%, *Candida albicans* ATCC 885/653 by 29.0%. Whereas, after contact with the developed mesh, the adhesive activity of *S. aureus* ATCC 25923 decreased by 60.0%, *E. coli* ATCC 51.4%, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 by 64.4%, *Candida albicans* by 50.0%. After staying in the tissues, the prototype mesh lost its antimicrobial activity by 3 days of observation. Whereas the antimicrobial activity of the developed mesh was preserved for up to 30 days during the experiment.

**Conclusions** 1. The developed mesh implant made of polypropylene modified with silver nanoparticles and carbon nanotubes has a long-term high antimicrobial activity that persisted in tissues for up to 30 days.

2. After the contact of microorganisms with the developed mesh implant, the adhesive activity of *S. aureus* ATCC 25923 decreased by 60.0%, *E. coli* ATCC — 51.4%, *Ps. aeruginosae* ATCC 27853 by 64.4%, *Candida albicans* by 50.0%, which indicates the possibility of influencing the colonization ability of microorganisms and the formation of biofilms on the implant.

**Keywords:** *the hernia plastic surgery, polypropylene mesh implants with antimicrobial properties, silver nanoparticles, carbon nanotubes.*