

## Исследование антимикробной активности новых образцов полимерных хирургических мембран

В.А. Лазаренко<sup>1</sup>, В.А. Липатов<sup>1</sup>, Д.А. Северинов<sup>1</sup>✉, Т.Н. Кудрявцева<sup>2</sup>, Л.В. Жилиева<sup>1</sup>, А.В. Шевченко<sup>1</sup>, О.В. Падалкина<sup>1</sup>, О.В. Нухова<sup>3</sup>

Кафедра пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» МЗ РФ  
305041, Российская Федерация, Курск, ул. К. Маркса, д. 3

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Курский государственный университет»  
305000, Российская Федерация, Курск, ул. Радищева, д. 33

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»  
308015, Российская Федерация, Белгород, ул. Победы, д. 85

✉ Контактная информация: Северинов Дмитрий Андреевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры детской хирургии и педиатрии Института непрерывного образования ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ. Email: dmitriy.severinov.93@mail.ru

### АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время возрастающая устойчивость микроорганизмов к противомикробным препаратам снижает эффективность лечения гнойно-воспалительных процессов. В связи с этим требуются инновационные стратегии и изделия на основе полимерных материалов для локального применения с целью предотвращения или снижения риска инфицирования зоны оперативного вмешательства.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительная оценка антимикробной активности разработанных авторами новых образцов полимерных хирургических мембран в эксперименте *in vitro*.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве материалов исследования были использованы новые образцы многокомпонентных полимерных мембран, разработанных на базе лаборатории экспериментальной хирургии и онкологии ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России (5 групп, отличающихся добавлением/отсутствием антибактериальных средств), и мембрана имплантируемая биополимерная ЭластоПОБ (производство АО «БИОМИР сервис», Россия). Производилась оценка угнетения зон роста тест-штаммов аэробных и факультативно-аэробных микроорганизмов. Полученные в ходе исследования данные подвергались статистической обработке с применением методик описательной и вариационной статистики (*Me* [25; 75]). Достоверность отличия определяли с помощью критерия Крускала–Уоллиса ( $p \leq 0,05$ ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее выраженную антимикробную активность с задержкой роста всех пяти культур микроорганизмов наблюдали при исследовании полимерной мембраны № 4 (Левифлоксацин в 3-м слое) и № 2 (Левифлоксацин в 1-м слое). Статистически значимые отличия выявлены при сравнении зон задержки роста микроорганизмов среди следующих групп исследований: № 1 и № 2 ( $p=0,009$ ), № 1 и № 4 ( $p=0,0001$ ), № 2 и № 5 ( $p=0,043$ ), № 2 и № 6 ( $p=0,0001$ ), № 3 и № 6 ( $p=0,002$ ).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполненного исследования установлено, что новые образцы полимерных мембран бесспорно обладают антимикробным действием. Это объясняется тем, что натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-KMЦ), которая составляет основу хирургических полимерных мембран, сама в определённой степени обладает противомикробной активностью. В то же время добавление антибиотика широкого спектра действия на этапе изготовления полимерной мембраны в базовый (третий) или поверхностный (первый) слой будет определять выраженность локального антимикробного действия (замедление роста культуры).

### Ключевые слова:

хирургические мембраны, полимеры, антимикробная активность, антибактериальные средства, перитонит, эксперимент

### Ссылка для цитирования

Лазаренко В.А., Липатов В.А., Северинов Д.А., Кудрявцева Т.Н., Жилиева Л.В., Шевченко А.В. и др. Исследование антимикробной активности новых образцов полимерных хирургических мембран. Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь. 2026;15(1):75–82. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2026-15-1-75-82>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Благодарность, финансирование

Работа выполнена в соответствии с планом научных исследований ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» МЗ РФ. Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и изделий медицинского назначения авторы не получали

КМЦ — карбоксиметилцеллюлоза  
 МПА — мясопептонный агар  
 ПВП — поливинилпирролидон

ПМ — полимерная мембрана  
 Na КМЦ — натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время септические осложнения в послеоперационном периоде составляют около 67% случаев [1, 2]. Рост числа пациентов с подобными осложнениями напрямую связан с увеличением количества сложных высокотехнологичных реконструктивных оперативных вмешательств в абдоминальной хирургии на разных отделах желудочно-кишечного тракта с наложением межкишечных анастомозов, как на интактной кишечной стенке, так и в условиях перитонита или на фоне нарушения кровоснабжения (странгуляции спайкой и пр.) [3, 4]. Наравне с этим неоднозначным является и решение вопроса о профилактике несостоятельности кишечных швов или межкишечных анастомозов, а также спайкообразования в зоне оперативного вмешательства. Для решения данной проблемы разработан ряд противоспаечных средств, таких как плёнки, спреи, гели и т.д. [5]. При этом актуальным на сегодняшний день продолжает оставаться поиск инновационных решений для создания противоспаечного средства, обладающего собственной антибактериальной активностью для повышения его терапевтического эффекта, особенно в условиях инфицированной брюшной полости [6, 7].

В настоящее время в отечественной практике известен «Мезогель» (ООО «Линтекс»), основой которого является карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). КМЦ отличается высокой биосовместимостью и низкой иммуногенностью. Соли КМЦ в то же время обладают известной способностью связывать фармацевтические препараты и другие вещества, а также характеризуются противомикробной активностью в отношении различных патогенов. Так, в многочисленных исследованиях *in vitro* определена чувствительность коагулазоположительных стафилококков, *Pseudomonas aeruginosa* и *Acinetobacter calcoaceticus* [8, 9]. Всё вышеперечисленное позволяет рекомендовать КМЦ в качестве перспективного сырья для разработки современных медицинских изделий, таких как полимерные хирургические мембраны, разработанные для профилактики несостоятельности межкишечных анастомозов.

По нашему мнению, целесообразно рассмотреть возможность разработки полимерных биодегра-

дируемых мембран, обладающих противоспаечными и одновременно противомикробными свойствами за счёт модификации их состава антибактериальными средствами широкого спектра действия [10, 11]. При этом возможным будет достижение сразу нескольких задач: пролонгированное высвобождение препарата, местный антибактериальный эффект, деградация мембраны по истечении определённого времени и, что немаловажно, противоспаечный эффект [12, 13].

**Цель исследования** — сравнительная оценка антимикробной активности разработанных авторами новых образцов полимерных хирургических мембран в эксперименте *in vitro*.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материалов исследования использовали образцы многослойных полимерных мембран (ПМ), разработанных коллективом авторов (группы № 1–5) (патент РФ № 2813120 «Хирургическая полимерная мембрана» от 06.02.2024 г.), а в качестве группы сравнения были взяты используемые в клинической практике изделия — мембрана имплантируемая биополимерная ЭластоПОБ (табл. 1).

Исследование проводили на базе лаборатории бактериологии ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России (лицензия 46.01.02.001.Л000035.10.07 от 19.10.2007 г.). Каждый образец был исследован с целью определения антимикробной активности в десятикратной повторяемости с использованием тест-штаммов аэробных, факультативно-аэробных бактерий из коллекции ФБУН ГНЦ ПМБ ГИСК Государственная коллекция патогенных микроорганизмов и клеточных культур «ГКПМ — Оболенск» (п. Оболенск): *Staphylococcus aureus* ATCC 6538; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027; *Escherichia coli* ATCC 8739; *Bacillus subtilis* ATCC 6633; *Bacillus cereus* ATCC 10702.

Определение антимикробной активности в отношении аэробных, факультативно-анаэробных микроорганизмов проводилось методом диффузии в агар на плотной питательной среде путём анализа угнетения роста тест-микроорганизмов, используемых для определения антимикробного действия лекарственных

Таблица 1

### Состав исследуемых полимерных мембран, мг/см<sup>2</sup>

Table 1

### Composition of tested polymer membranes, mg/cm<sup>2</sup>

Группа	Производитель	1-й слой	2-й слой	3-й слой
1	Лаборатория экспериментальной хирургии и онкологии,	Na-КМЦ 9,4±0,2	Альгинат натрия 9,3±0,3	ПВП 5,0±0,1
2	испытательная лаборатория	Na-КМЦ + Левофлоксацин 9,4±0,2/1,05±0,05	Альгинат натрия 9,3±0,3	ПВП 5,0±0,1
3	медицинских изделий НИИ ЭМ КГМУ, НИЛ органического синтеза КГУ	Na-КМЦ 9,4±0,2	Альгинат натрия + Йогексол 9,3±0,3/4,8±0,2	ПВП 5,0±0,1
4		Na-КМЦ 9,4±0,2	Альгинат натрия + Йогексол 9,2±0,3/4,8±0,2	ПВП + Левофлоксацин 5,0±0,1/0,73±0,07
5		Na-КМЦ + гиалуроновая кислота (смесь) 9,7±0,2	Альгинат натрия 10,2±0,3	ПВП + Метронидазол 4,2±0,2/1,8±0,2
6	АО «БИОМИР сервис», Россия	Мембрана имплантируемая биополимерная ЭластоПОБ (бактериальный сополимер полиоксибутирата с валератом, полиэтиленгликоль)		

Примечания: КМЦ — карбоксиметилцеллюлоза; ПВП — поливинилпирролидон; Na — натрий  
 Notes: КМЦ — carboxymethyl cellulose; ПВП — polyvinylpyrrolidone; Na — sodium

веществ (Государственная фармакопея XIV, 2018 год). Культуры тест-штаммов микроорганизмов выращивали на плотной среде (мясопептонный агар — МПА) при температуре  $37\pm 2^\circ\text{C}$  в течение 18–20 часов.

Для эксперимента по определению антимикробной активности была выбрана микробная нагрузка — 500 000 микроорганизмов в 1 мл. Для этого 0,2 мл 1 000 000 000 взвеси микроорганизмов вносили в 400 мл МПА, нагретого до  $49\pm 1^\circ\text{C}$ , разливали по 25 мл в стерильные чашки Петри. Чашки Петри с застывшей засеянной средой термостатировали для удаления конденсата, после чего исследуемые образцы были помещены на поверхность застывшего МПА. Для контрольных образцов (субстанции Левофлоксацина, Метронидазола, Na-КМЦ) вырезали лунки диаметром по 7 мм, в каждую лунку вносили по 0,1 мл контрольного образца. Для уменьшения влияния колебаний во времени между внесением раствора исследуемого вещества, чашки выдерживали при комнатной температуре в течение 1 часа, затем инкубировали при температуре  $36\pm 1^\circ\text{C}$  в течение 16–18 часов. По истечении указанного срока измеряли зоны задержки роста тест-микробов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением методик описательной и вариационной статистики — расчёт медианы 25 и 75 процентилей (*Me* [25; 75]). В качестве программной среды использовали программу *Statistica 13.0*. В связи с малой выборкой ( $n < 30$ ) в экспериментальных группах и отличным от нормального распределением по Шапиро–Уилку для определения достоверности отличий применяли непараметрический критерий Крускаллы–Уолиса, после чего осуществляли попарное сравнение всех групп между собой по критерию Манна–Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05 — допустимое для медико-биологических исследований значений *p*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования были получены данные, характеризующие угнетение роста тест-микроорганизмов образцами полимерных мембран (табл. 2).

Диаметры зон задержки роста грамположительных неспорообразующих микроорганизмов *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 при внесении образцов группы № 2

в 1,8 и в 1,76 раза больше, чем при использовании образцов групп № 1 ( $p=0,009$ ) и № 5 ( $p=0,043$ ) соответственно. Зоны задержки роста лабораторного штамма золотистого стафилококка в присутствии образцов группы № 4 в 2 раза больше, чем образцов групп № 1 ( $p=0,00004$ ) и № 5 ( $p=0,00003$ ) (статистически значимо во всех случаях). В отношении указанных микроорганизмов наиболее выраженной антимикробной активностью обладают образцы полимерных мембран № 2 и № 4.

В присутствии образца мембраны № 4 выявлено, что зона отсутствия роста грамотрицательных микроорганизмов *Escherichia coli* ATCC 8739 в 1,8 и в 2,8 раза больше, чем в исследованиях с мембранами групп № 1 ( $p=0,0021$ ) и № 5 ( $p=0,000006$ ). При этом зона отсутствия роста микроорганизмов с использованием образцов группы № 2 в 2,6 раза больше, чем в группе № 5 ( $p=0,0016$ ) (статистически значимо во всех случаях). В группе № 6 зоны задержки роста также, как и в случае с *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, не выявлены, что говорит об отсутствии антимикробной активности.

Зоны задержки роста грамотрицательных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 на питательной среде в группе № 4 в 1,8 раза больше, чем в группе № 1 ( $p=0,0026$ ), и в 1,7 раза больше, чем в группе № 5 ( $p=0,0097$ ). Диаметры зоны задержки роста микроорганизмов в присутствии образцов группы № 2 в 2 раза больше, чем с использованием образцов № 1 ( $p=0,0003$ ), и на 1 мм меньше, чем в группе № 5 ( $p=0,0013$ ) (статистически значимо во всех случаях). В среде с полимерной мембраной группы № 6 подавления роста культуры *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 не выявлено.

В группе № 4 диаметры зон задержки роста грамположительных спорообразующих микроорганизмов *Bacillus subtilis* ATCC 6633 практически в 2 раза больше, чем в группах № 1 ( $p=0,0002$ ) и № 5 ( $p=0,00006$ ). Образцы группы № 2 вызывали задержку роста культуры, превышающую таковую в присутствии образца № 1 ( $p=0,0318$ ) и № 5 ( $p=0,0131$ ) в 1,7 раза. Также образцы группы № 4 и № 2 оказывали антимикробное действие в отношении грамположительных спорообразующих *Bacillus cereus* ATCC 10702, о чём свидетельствуют зоны задержки роста в 1,8 раза и в 2,0 раза больше, чем при внесении образцов групп № 1 ( $p=0,0002$ ) и № 5

Таблица 2

### Зоны задержки роста при внесении исследуемых образцов полимерных мембран, мм, *Me* [25; 75]

Table 2

### Zones of growth retardation when adding test samples of polymer membranes, mm, *Me* [25; 75]

№ группы	Культура микроорганизмов				
	<i>St. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Ps. aeruginosa</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>B. cereus</i>
1	24 [23; 25]	29,5 [27,25; 29]	28 [26,5; 30]	34,5 [33,25; 35]	24,5 [23,25; 25]
2	44 [42; 45]	51 [48,5; 52,75]	54 [48,75; 54,75]	58 [58; 59,5]	45 [45; 47,25]
3	33 [32; 33]	43 [40,25; 45]	36 [36; 39,5]	47 [44,25; 47,75]	38 [36; 40]
4	53 [52,25; 54,75]	56 [55; 59,5]	50 [48; 53]	67 [65; 68,5]	45 [45; 48]
5	25 [24; 26,75]	19,5 [18; 20]	29 [28,25; 30]	33,5 [32; 35]	22 [21,25; 23]
6	0 [0; 0]	0 [0; 0]	0 [0; 0]	0 [0; 0]	0 [0; 0]
<i>p</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Левофлоксацин	60	62	52	70	65
Метронидазол	12	0	0	0	0
Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы	0	0	0	0	0

( $p=0,013$ ) соответственно (статистически значимо во всех случаях).

Учитывая выявленное отсутствие антимикробной активности образца № 6 в отношении пяти культур микроорганизмов, стоит отметить, что выявлено замедление их роста на питательных средах при наличии полимерной мембраны № 3.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что наибольшие значения зон задержки роста выявлены в эксперименте с образцами полимерных мембран групп № 2 и № 4. Следовательно, указанные образцы новых полимерных мембран обладают наиболее выраженной антимикробной активностью в отношении культур тест-микроорганизмов. Отсутствие антимикробной активности установлено в эксперименте с образцами группы № 6, при использовании которых зон задержки роста не выявлено.

Описанные же выше результаты собственного исследования свидетельствуют об антибактериальной активности полимерных мембран нового образца.

С целью наглядного представления полученных результатов выполнено ранжирование групп исследования по размерам зоны задержки роста микроорганизмов от 1 до 6 (согласно числу групп исследования), где 1 — наибольшее значение показателя, а 6 — наименьшее (табл. 3).

Основываясь на полученных результатах ранжирования, группы исследования расположены по увеличению количества рангов (от меньшего к большему) в следующем порядке: № 4 → № 2 → № 3 → № 1 → № 5 → № 6. Представленная последовательность позволяет предположить, что наиболее широким спектром антимикробной активности обладают образцы группы № 4, в состав которых входит Левофлоксацин, включённый в третий (внутренний) слой ПВП. Образцы группы № 2 по сумме рангов отличаются от образцов № 4 на две единицы, что указывает на незначительное уменьшение антимикробной активности при добавлении антибактериального препарата в поверхностный (первый) слой. При сравнении суммы рангов у образцов группы № 3 и № 1 (не имеющих в составе антибактериальных средств) отмечено меньшее значение суммы рангов в группе № 3 (в составе третьего слоя внесено контрастное вещество Йогексол), следовательно, предполагаемые антимикробные свойства у образцов данной группы более выражены и определяются в основном противомикробным действием Na-КМЦ. Помимо этого, обращает на себя внимание значение суммы рангов образцов группы № 6, которые не вызвали задержки роста культур применяемых для исследования микроорганизмов. Таким образом, экспериментально подтверждено, что мембрана имплантируемая ЭластоПОБ не обладает антимикробным действием в отношении аэробных и факультативно-аэробных бактерий.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Тестирование новых изделий медицинского назначения, в частности хирургических материалов (мембран, пленок, имплантов и пр.) является одной из актуальных задач современной биоинженерии и включает в себя различные варианты исследований. В связи с нарастающей антибактериальной резистентностью микроорганизмов и необходимостью выполнения сложных реконструктивных оперативных вмешательств в первично-инфицированных услови-

Таблица 3

**Результаты ранжирования образцов полимерных мембран при оценке их антимикробной активности, Ме [25; 75]**

Table 3

**The results of the ranking of samples of polymer membranes when evaluating their antimicrobial activity, ME [25; 75]**

Зона задержки роста в культуре	Группы исследования					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
<i>St. aureus</i>	5	2	3	1	4	6
<i>E. coli</i>	4	2	3	1	5	6
<i>Ps. aeruginosa</i>	5	1	3	2	4	6
<i>B. subtilis</i>	4	2	3	1	5	6
<i>B. cereus</i>	4	1	2	1	5	6
Сумма рангов	22	8	14	6	23	30

ях (например, при перитоните) разработка хирургических полимерных мембран, обладающих антимикробной активностью, является одним из вариантов решения проблемы, стоящей перед хирургами, а именно — помощь такой тяжёлой категории пациентов [1, 3, 4].

Опираясь на представленные выше данные, полученные в условиях эксперимента *in vitro* доказана эффективность исследуемых ПМ в отношении патогенных микроорганизмов, что можно объяснить их многокомпонентным составом, а также слоистым строением (внутренний слой — поливинилпирролидон, обеспечивающий адгезию к раневой поверхности, промежуточный (основной) слой — альгинат натрия/кальция, наружный слой — Na-КМЦ (обладающий противоспаечной и антимикробной активностью) с добавлением антибактериальных препаратов (Левофлоксацин, Метронидазол) широкого спектра действия [14, 15]. По мнению авторов, описанная выше и апробированная в эксперименте многослойная комбинация полимеров играет важную роль в поддержании постоянного высвобождения антибактериального препарата, обеспечивая длительное локальное воздействие в зоне интереса. При этом антимикробная активность по отношению к лабораторным штаммам микроорганизмов ПМ складывается из непосредственного влияния Na-КМЦ (описанного ранее в литературе и обусловленного её высокой концентрацией в ПМ) [5] и собственно антибактериальными препаратами, внесёнными в конкретный слой ПМ. Современные авторы предлагают различные варианты оценки антимикробной активности, как в эксперименте *in vitro*, так и *in vivo* (в условиях загрязнённой кожной раны) [2, 6, 9]. По нашему мнению, первичную оценку антимикробного действия следует проводить согласно действующим нормативным актам (например, XV издание Государственной фармакопеи Российской Федерации), используя как скрининг, описанный метод дисков. А уже после получения результатов оценки проводить исследование на лабораторных животных. Это позволит избежать ненужного увеличения оперативных вмешательств с использованием последних и позволит отобрать наиболее эффективные комбинации уже на этапе эксперимента *in vitro*. Разработанные коллективом авторов ПМ [5] обладают доказанной в эксперименте *in vitro* антимикробной активностью (табл. 3), но в разной степени, что определяется наличием или отсутствием антибактериальных препаратов

в их составе, а также — слоем (уровнем расположения антибактериальных препаратов относительно контакта с инфицированной средой) в самой ПМ. Известны работы отечественных и зарубежных коллег, которые описывают различные изделия, полученные с использованием ультрасовременных методик электроспиннинга и очистки полимеров, но они в отличие от ПМ, представленных в данной работе, имеют монослойное строение, и, соответственно, обладают ограниченным функционалом и менее выраженной антибактериальной активностью к конкретным микроорганизмам. Тогда как представленные ПМ разрабатывались именно как многослойные изделия, у которых каждый слой решает конкретную задачу, в том числе и длительное высвобождение антибактериальных препаратов за счёт постепенной биодеградации.

Всё вышесказанное позволяет считать новые образцы ПМ, обладающие противоспаечной активностью и антибактериальным эффектом, перспективным изделием для дальнейшего тестирования в эксперименте на лабораторных животных при наложении кишечного анастомоза или шва в условиях инфицирования брюшной полости и компрометированной кишечной стенки. Это может стать одним из первых шагов к получению первого отечественного изделия, обладающего широким функционалом с позитивными свойствами, направленными на получение клинического эффекта — снижение смертности и повышения качества жизни пациентов, требующих длительного, иногда многоэтапного лечения на базе хирургического стационара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанные коллективом авторов полимерные мембраны представляют собой многофункциональный материал с важным для абдоминальной хирургии сочетанием барьерных (противоспаечных) и антимикробных (в отношении *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*) свойств. При этом стоит отметить, что комбинированный эффект полимерной мембраны основан на собственных антибактериальных свойствах натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и целенаправленного (локального) высвобождения антибактериального препарата (Левифлоксацин и Метронидазол). Внесение указанных препаратов на этапе изготовления полимерной мембраны в противоспаечный (третий) или адгезивный (первый) слой, определяет выраженность локального антимикробного действия (замедление роста культуры микроорганизма). Помимо этого, новые образцы полимерной мембраны обладают

антимикробной активностью, в сравнении с уже представленными на рынке отечественными аналогами. Этот аспект подчеркивает, что полимерные мембраны могут быть использованы как средства профилактики и лечения местных процессов гнойно-воспалительного характера (в том числе и в брюшной полости при перитоните и необходимости наложения кишечных швов или анастомозов, полимерная мембрана может быть использована как средство механического укрепления анастомоза с антимикробной активностью). По мнению авторов, многослойная структура новых полимерных мембран, как показывает исследование, позволяет достичь желаемого эффекта — пролонгированного антимикробного действия на различные микроорганизмы. При этом наиболее перспективными являются образцы группы № 4 (Левифлоксацин в адгезивном слое), которые имеют наибольшие показатели задержки роста культур микроорганизмов среди групп исследования. Следующим этапом тестирования полимерных мембран является оценка их физико-механических свойств (адгезивной способности в зависимости от состава), а также — экспериментальные исследования реакции тканей макроорганизма. Это позволит отобрать образцы полимерных мембран для непосредственного применения в моделируемой клинической ситуации в рамках хронического эксперимента *in vivo* для апробации нового отечественного средства, разработанного для профилактики несостоятельности кишечных анастомозов в условиях перитонита.

## ВЫВОДЫ

1. Выраженную антимикробную активность (наибольшие зоны задержки роста) в отношении лабораторного штамма *Staphylococcus aureus* проявляют образцы полимерных мембран групп № 2 ( $Me=44$ ) и № 4 ( $Me=53$ ).

2. Также зоны задержки роста *Escherichia coli* при использовании образцов полимерных мембран группы № 4 в 1,8 и в 2,8 раза больше, чем у полимерных мембран групп № 1 ( $p=0,0021$ , статистически значимо) и № 5 ( $p=0,000006$ , статистически значимо), а в случае с использованием полимерных мембран группы № 2 значение оцениваемого показателя в 2,6 раза больше, чем в группе № 5 ( $p=0,0016$ , статистически значимо).

3. При оценке зоны задержки роста *Pseudomonas aeruginosa* значения в группе № 4 в 1,8 раза больше, чем в группе № 1 ( $p=0,0026$ ), и в 1,7 раза больше, чем в группе № 5 ( $p=0,0097$ ), а образцов группы № 2 в 2 раза больше, чем образцов группы № 1 ( $p=0,000$ , статистически значимо).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Nazir A, Abbas M, Iqbal DN, Ameen F, Al-Mijalli SH, Ahmad N, et al. Fabrication of CMC/PVA/Dextrin-Based Polymeric Membrane for Controlled Release of Cefixime With Enhanced Antibacterial Activity. *Dose Response*. 2024;22(2):15593258241264951. PMID: 38912332 <https://doi.org/10.1177/15593258241264951>
- Кудрявцева Ю.А., Канонькина А.Ю., Ефремова Н.А. Антибактериальная эффективность биодеградируемых мембран, содержащих тигециклин, в эксперименте *in vivo*. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2024;13(35):110–119. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-35-110-119>
- Андреев А.А., Глухов А.А., Остроушко А.П., Боев С.Н., Аралова М.В., Лаптиёва А.Ю., и др. Моделирование острого перитонита. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2023;175(5):532–539. <https://doi.org/10.47056/0365-9615-2023-175-5-532-539>
- Маркосьян С.А., Лысяков Н.М. Этиология, патогенез и профилактика спайкообразования в абдоминальной хирургии. *Ново-*

*сти хирургии*. 2018;26(6):735–744. <https://doi.org/10.18484/2505-0047.2018.6.735>

- Липатов В.А., Гаврилюк В.П., Северинов Д.А., Кудрявцева Т.Н., Грехнева Е.В., Похожай В.В. Несостоятельность межкишечных анастомозов: новое решение старой проблемы. *Инновационная медицина Кубани*. 2024;(3):117–124. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-117-124>
- Кудрявцева Ю.А., Канонькина А.Ю., Ефремова Н.А., Кошелев В.А. Биосовместимость и особенности деградации полимерных противоспаечных мембран с антибактериальной активностью. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2023;8(4):54–64. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-4-54-64>
- Siebert T, Moersdorf G, Colberg T. Laparoscopic application of sodium hyaluronate-carboxymethylcellulose barrier in abdominal pelvic surgery: A Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses for Systematic Review Protocols-compliant systematic review

- and meta-analysis. *Surgery*. 2024;175(5):1358–1367. PMID: 38429164 <https://doi.org/10.1016/j.surg.2024.01.014>
8. Shin Y, Kim D, Hu Y, Kim Y, Hong IK, Kim MS, et al. pH-Responsive Succinoglycan-Carboxymethyl Cellulose Hydrogels with Highly Improved Mechanical Strength for Controlled Drug Delivery Systems. *Polymers (Basel)*. 2021;13(18):3197. PMID: 34578098 <https://doi.org/10.3390/polym13183197>
  9. Назарчук А.А., Вернигородский С.В., Палий В.Г., Назарчук Г.Г. Экспериментальное исследование эффективности антимикробных хирургических материалов, содержащих декаметоксин. *Новости хирургии*. 2018;26(1):16–23. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2018.1.16>
  10. Kunjalukkal Padmanabhan S, Lamanna L, Friuli M, Sannino A, Demitri C, Licciulli A. Carboxymethylcellulose-Based Hydrogel Obtained from Bacterial Cellulose. *Molecules*. 2023;28(2):829. PMID: 36677887 <https://doi.org/10.3390/molecules28020829>
  11. Рыбаков К.Д., Седнев Г.С., Морозов А.М., Рыжова Т.С., Минакова Ю.Е. Профилактика формирования спаечного процесса брюшной полости (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(1):22–28. <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2022-1-22-28>
  12. Wang F, Zhang Q, Huang K, Li J, Wang K, Zhang K, et al. Preparation and characterization of carboxymethyl cellulose containing quaternized chitosan for potential drug carrier. *Int J Biol Macromol*. 2020;154:1392–1399. PMID: 31730962 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.019>
  13. Motková P, Brožková I, Vytřasová J, Kukla R. Antimicrobial effect of OKCEL® H-D prepared from oxidized cellulose. *Folia Microbiol (Praha)*. 2018;63(1):57–62. PMID: 28597345 <https://doi.org/10.1007/s12223-017-0534-7>
  14. Uppal A, Pigazzi A. New Technologies to Prevent Anastomotic Leak. *Clin Colon Rectal Surg*. 2021;34(6):379–384. PMID: 34853558 <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735268>
  15. Kanikireddy V, Varaprasad K, Jayaramudu T, Karthikeyan C, Sadiku R. Carboxymethyl cellulose-based materials for infection control and wound healing: A review. *Int J Biol Macromol*. 2020;164:963–975. PMID: 32707282 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.160>

## REFERENCES

1. Nazir A, Abbas M, Iqbal DN, Ameen F, Al-Mijalli SH, Ahmad N, et al. Fabrication of CMC/PVA/Dextrin-Based Polymeric Membrane for Controlled Release of Cefixime With Enhanced Antibacterial Activity. *Dose Response*. 2024;22(2):15593258241264951. PMID: 38912332 <https://doi.org/10.1177/15593258241264951>
2. Kudryavtseva YuA, Kanonykina AYU, Efremova NA. Antibacterial Effectiveness of Biodegradable Membranes Containing Tigecycline in an In Vivo Experiment. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2024;13(3S):110–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-3S-110-119>
3. Andreev AA, Glukhov AA, Ostroushko AP, Boev SN, Aralova MV, Laptieva AYU, et al. A Model of Acute Peritonitis. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2023;175(5):601–607.
4. Markosyan SA, Lysyakov NM. Etiology, Pathogenesis and Prophylaxis of Adhesions in Abdominal Surgery. *Novosti Khirurgii*. 2018;26(6):735–744. (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2018.6.735>
5. Lipatov VA, Gavrilouk VP, Severinov DA, Kudryavtseva TN, Grekheva EV, Pohozhay VV. Leakage of Intestinal Anastomoses: A New Solution to the Old Problem. *Innovative Medicine of Kuban*. 2024;(3):117–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-117-124>
6. Kudryavtseva YuA, Kanonykina AYU, Efremova NA, Koshelev VA. Biocompatibility and features of degradation of polymer anti-adhesion membranes with antibacterial activity. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2023;8(4):54–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-4-54-64>
7. Siebert T, Moersdorf G, Colberg T. Laparoscopic application of sodium hyaluronate-carboxymethylcellulose barrier in abdominopelvic surgery: A Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses for Systematic Review Protocols-compliant systematic review and meta-analysis. *Surgery*. 2024;175(5):1358–1367. PMID: 38429164 <https://doi.org/10.1016/j.surg.2024.01.014>
8. Shin Y, Kim D, Hu Y, Kim Y, Hong IK, Kim MS, et al. pH-Responsive Succinoglycan-Carboxymethyl Cellulose Hydrogels with Highly Improved Mechanical Strength for Controlled Drug Delivery Systems. *Polymers (Basel)*. 2021;13(18):3197. PMID: 34578098 <https://doi.org/10.3390/polym13183197>
9. Nazarchuk AA, Vernygorodskiy SV, Palii VG, Nazarchuk GG. Experimental Research of Effectiveness of Antimicrobial Surgical Materials Containing Decamethoxinum. *Novosti Khirurgii*. 2018;26(1):16–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2018.1.16>
10. Kunjalukkal Padmanabhan S, Lamanna L, Friuli M, Sannino A, Demitri C, Licciulli A. Carboxymethylcellulose-Based Hydrogel Obtained from Bacterial Cellulose. *Molecules*. 2023;28(2):829. PMID: 36677887 <https://doi.org/10.3390/molecules28020829>
11. Rybakov KD, Sednev GS, Morozov AM, Ryzhova TS, Minkova YuYe. Prevention of the Formation of Adhesions in the Abdominal Cavity (Literature Review). *Journal of New Medical Technologies*. 2022;29(1):22–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2022-1-22-28>
12. Wang F, Zhang Q, Huang K, Li J, Wang K, Zhang K, et al. Preparation and characterization of carboxymethyl cellulose containing quaternized chitosan for potential drug carrier. *Int J Biol Macromol*. 2020;154:1392–1399. PMID: 31730962 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.019>
13. Motková P, Brožková I, Vytřasová J, Kukla R. Antimicrobial effect of OKCEL® H-D prepared from oxidized cellulose. *Folia Microbiol (Praha)*. 2018;63(1):57–62. PMID: 28597345 <https://doi.org/10.1007/s12223-017-0534-7>
14. Uppal A, Pigazzi A. New Technologies to Prevent Anastomotic Leak. *Clin Colon Rectal Surg*. 2021;34(6):379–384. PMID: 34853558 <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735268>
15. Kanikireddy V, Varaprasad K, Jayaramudu T, Karthikeyan C, Sadiku R. Carboxymethyl cellulose-based materials for infection control and wound healing: A review. *Int J Biol Macromol*. 2020;164:963–975. PMID: 32707282 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.160>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Лазаренко Виктор Анатольевич

профессор, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой хирургических болезней Института непрерывного образования, ректор ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0002-2069-7701>, [lazarenkomed@mail.ru](mailto:lazarenkomed@mail.ru);

20%: концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи

### Липатов Вячеслав Александрович

профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, заведующий лабораторией экспериментальной хирургии и онкологии Научно-исследовательского института экспериментальной медицины ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0001-6121-7412>, [drli@yandex.ru](mailto:drli@yandex.ru);

15%: концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи

### Северин Дмитрий Андреевич

кандидат медицинских наук, доцент кафедры детской хирургии и педиатрии Института непрерывного образования ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ;

<https://orcid.org/0000-0003-4460-1353>, [dmitriy.severinov.93@mail.ru](mailto:dmitriy.severinov.93@mail.ru);

15%: экспериментальная часть, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи

- Кудрявцева Татьяна Николаевна** кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории органического синтеза ФГБОУ ВО КГУ; <https://orcid.org/0000-0003-1009-3004>, [kudr15@yandex.ru](mailto:kudr15@yandex.ru); 12%: экспериментальная часть, написание текста, статистическая обработка данных, редактирование
- Жиляева Людмила Владимировна** кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0000-0003-0390-4155>, [wolna76@yandex.ru](mailto:wolna76@yandex.ru); 11%: экспериментальная часть, написание текста, редактирование
- Шевченко Алина Владимировна** кандидат медицинских наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0000-0003-2261-1577>, [alina7227@mail.ru](mailto:alina7227@mail.ru); 10%: экспериментальная часть, написание текста, редактирование
- Падалкина Ольга Владиславовна** клинический ординатор первого года обучения по специальности «Детская хирургия» кафедры детской хирургии и педиатрии Института непрерывного образования ФГБОУ ВО КГМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0009-0004-1959-2306>, [olga\\_padalkina2000@mail.ru](mailto:olga_padalkina2000@mail.ru); 9%: экспериментальная часть, написание текста, анализ данных литературы
- Нухова Ольга Владимировна** кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»; <https://orcid.org/0009-0008-1897-9559>, [kobceva05@rambler.ru](mailto:kobceva05@rambler.ru); 8%: экспериментальная часть, написание текста, анализ данных литературы

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов**

## Antimicrobial Activity Study of New Samples of Polymeric Surgical Membranes

V.A. Lazarenko<sup>1</sup>, V.A. Lipatov<sup>1</sup>, D.A. Severinov<sup>✉ 1</sup>, T.N. Kudryavtseva<sup>2</sup>, L.V. Zhilyaeva<sup>1</sup>, A.V. Shevchenko<sup>1</sup>, O.V. Padalkina<sup>1</sup>, O.V. Nukhova<sup>3</sup>

Department of Internal Medicine Propaedeutics and Clinical Information Technology

<sup>1</sup> Kursk State Medical University

K. Marx Str. 3, Kursk, Russian Federation 305041

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University

Pobedy Str. 85, Belgorod, Russian Federation 308015

<sup>3</sup> Kursk State University

Radisheva Str. 33, Kursk, Russian Federation 305000

✉ **Contacts:** Dmitry A. Severinov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Pediatric Surgery and Pediatrics, Institute of Continuing Education, Kursk State Medical University. Email: [dmitriy.severinov.93@mail.ru](mailto:dmitriy.severinov.93@mail.ru)

**BACKGROUND** Currently, the increasing resistance of microorganisms to antimicrobial drugs reduces the effectiveness of the treatment for purulent-inflammatory processes. In this regard, innovative strategies and products based on polymer materials for local application are required in order to prevent or reduce the risk of surgical site infections.

**THE AIM OF THE STUDY** was to compare the antimicrobial activity of new samples of polymer surgical membranes developed by the authors in an in vitro experiment.

**MATERIAL AND METHODS** The study materials used were new samples of multicomponent polymer membranes developed on the basis of the laboratory of experimental surgery and oncology of the Kursk State Medical University (5 groups differing in the addition/absence of antibacterial agents), and the ElastoPOB® implantable biopolymer membrane (manufactured by BIOMIR Servis JSC, Russia). Inhibition of growth zones of test strains of aerobic and facultative-aerobic microorganisms was evaluated. The data obtained during the study were statistically processed using descriptive and variational statistics (Me [25; 75]). Significance was determined by the Kruskal-Wallis test ( $p \leq 0.05$ ).

**RESULTS** The most pronounced antimicrobial activity, inhibiting the growth of all five microbial cultures, was observed in the study of polymer membranes No. 4 (Levofloxacin in the 3rd layer) and No. 2 (Levofloxacin in the 1st layer). Statistically significant differences were found when comparing microbial growth inhibition zones among the following study groups: No. 1 and No. 2 ( $p=0.009$ ), No. 1 and No. 4 ( $p=0.0001$ ), No. 2 and No. 5 ( $p=0.043$ ), No. 2 and No. 6 ( $p=0.0001$ ), No. 3 and No. 6 ( $p=0.002$ ).

**CONCLUSION** The study demonstrated that the new polymer membrane samples clearly exhibit antimicrobial activity. This is explained by the fact that sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC), which forms the basis of surgical polymer membranes, itself possesses some antimicrobial activity. At the same time, the addition of a broad-spectrum antibiotic during the polymer membrane manufacturing process to the base (third) or surface (first) layer will determine the intensity of local antimicrobial action (slowing down culture growth).

**Keywords:** surgical membranes, polymers, antimicrobial activity, antibacterial agents, peritonitis, experiment

**For citation** Lazarenko VA, Lipatov VA, Severinov DA, Kudryavtseva TN, Zhilyaeva LV, Shevchenko AV, et al. Antimicrobial Activity Study of New Samples of Polymeric Surgical Membranes. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2026;15(1):75–82. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2026-15-1-75-82> (in Russ.)

**Conflict of interest** Authors declare lack of the conflicts of interests

**Acknowledgments, sponsorship** The work was carried out in accordance with the research plan of the Kursk State Medical University. The authors did not receive financial support from pharmaceutical or medical device manufacturers

## Affiliations

Viktor A. Lazarenko	Professor, Doctor of Medical Sciences, Head, Department of Surgical Diseases, Institute of Continuing Education, Rector, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0002-2069-7701">https://orcid.org/0000-0002-2069-7701</a> , <a href="mailto:lazarenkomed@mail.ru">lazarenkomed@mail.ru</a> ; 20%, study concept and design, text writing and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article
Vyacheslav A. Lipatov	Professor, Doctor of Medical Sciences, Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Head, Laboratory of Experimental Surgery and Oncology, Research Institute of Experimental Medicine, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0001-6121-7412">https://orcid.org/0000-0001-6121-7412</a> , <a href="mailto:drli@yandex.ru">drli@yandex.ru</a> ; 15%, study concept and design, text writing and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article
Dmitry A. Severinov	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Pediatric Surgery and Pediatrics, Institute of Continuing Education, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-4460-1353">https://orcid.org/0000-0003-4460-1353</a> , <a href="mailto:dmitriy.severinov.93@mail.ru">dmitriy.severinov.93@mail.ru</a> ; 15%, experimental part, editing, approval of the final version of the article
Tatyana N. Kudryavtseva	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Organic Synthesis Research Laboratory, Kursk State University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-1009-3004">https://orcid.org/0000-0003-1009-3004</a> , <a href="mailto:kudr15@yandex.ru">kudr15@yandex.ru</a> ; 12%, experimental part, text writing and editing, statistical data processing
Lyudmila V. Zhilyaeva	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Microbiology, Virology, and Immunology, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0390-4155">https://orcid.org/0000-0003-0390-4155</a> , <a href="mailto:wolna76@yandex.ru">wolna76@yandex.ru</a> ; 11%, experimental part, text writing and editing
Alina V. Shevchenko	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Microbiology, Virology, and Immunology, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-2261-1577">https://orcid.org/0000-0003-2261-1577</a> , <a href="mailto:alina7227@mail.ru">alina7227@mail.ru</a> ; 10%, experimental part, text writing and editing
Olga V. Padalkina	First-year clinical Resident in Pediatric Surgery, Department of Pediatric Surgery and Pediatrics, Institute of Continuing Education, Kursk State Medical University; <a href="https://orcid.org/0009-0004-1959-2306">https://orcid.org/0009-0004-1959-2306</a> , <a href="mailto:olga_padalkina2000@mail.ru">olga_padalkina2000@mail.ru</a> ; 9%, experimental part, text writing, literature review
Olga V. Nukhova	Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer, Department of Internal Medicine Propaedeutics and Clinical Information Technology, Belgorod State National Research University; <a href="https://orcid.org/0009-0008-1897-9559">https://orcid.org/0009-0008-1897-9559</a> , <a href="mailto:kobceva05@rambler.ru">kobceva05@rambler.ru</a> ; 8%, experimental part, text writing, literature data analysis

**Received on 14.02.2025****Review completed on 09.10.2025****Accepted on 23.12.2025****Поступила в редакцию 14.02.2025****Рецензирование завершено 09.10.2025****Принята к печати 23.12.2025**