



Антибактериальная устойчивость модифицированных тканых сосудистых протезов при моделировании инфицированной раны в эксперименте

А. А. Лызиков¹, Д. В. Тапальский¹, Е. Ю. Дорошко¹,
Е. А. Цветкова², А. А. Зятыков¹, М. Л. Каплан¹, С. В. Зотов²,
Н. С. Винидиктова², В. С. Седельник³

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси,
г. Гомель, Беларусь

³ООО «Белсоно», г. Гомель, Беларусь

Резюме

Цель исследования. Оптимизировать состав полимерных покрытий исходя из оценки продолжительности антибактериальной устойчивости в инфицированной ране лабораторных животных.

Материалы и методы. В исследовании использовались тканые сосудистые протезы, состоящие из волокнисто-пористого полипропилена и одного из трех типов покрытий на основе поливинил-хитозанового комплекса с добавлением биологически активных веществ. Все образцы были пропитаны ванкомицином (1 %) на протяжении 30 мин. Методы исследования: бактериологический и молекулярно-генетический. Качественный результат антибактериальной устойчивости покрытий за исследуемый период в группах подтверждался при трех и более повторениях результатов.

Результаты. При качественной оценке продолжительности антибактериальной устойчивости протезов по данным ПЦР и бактериологического исследований, тканые сосудистые протезы с покрытиями, содержащими поливиниловый спирт, поливинилпирролидон, хитозан, антибиотик ванкомицин и гиалуроновую кислоту, не инфицируются *S. aureus* до четырех суток, а тканые сосудистые протезы с покрытиями, состоящими из поливинилового спирта, поливинилпирролидона, хитозана, антибиотика ванкомицин и L-аспарагиновой кислоты, и тканые протезы с покрытиями из поливинилового спирта, хитозана, антибиотика ванкомицин и L-аспарагиновой кислоты — до пяти суток.

Заключение. Наличие L-аспарагиновой кислоты в составе полимерных покрытий увеличивает продолжительность антибактериальной устойчивости тканых сосудистых протезов в сравнении с гиалуроновой кислотой. Наличие в составе полимерных покрытий поливинилпирролидона статистически значимо ($p = 0,012$) снижает обсемененность *S. aureus*, увеличивая антибактериальную устойчивость тканых сосудистых протезов, тогда как поливиниловый спирт таким эффектом не обладает.

Ключевые слова: сосудистый протез (кондуит), инфицирование, антибактериальная устойчивость.

Вклад авторов: Лызиков А.А., Тапальский Д.В., Дорошко Е.Ю., Цветкова Е.А., Зятыков А.А., Каплан М.Л., Зотов С.В., Винидиктова Н.С., Седельник В.С.: концепция и дизайн исследования, сбор материала и создание базы данных, обработка данных, редактирование, обсуждение данных, утверждение рукописи для публикации.

Источники финансирования. Работу выполняли в рамках финансируемой из средств Гомельского областного исполнительного комитета темы НИР.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лызиков АА, Тапальский ДВ, Дорошко ЕЮ, Цветкова ЕА, Зятыков АА, Каплан МЛ, Зотов СВ, Винидиктова НС, Седельник ВС. Антибактериальная устойчивость модифицированных тканых сосудистых протезов при моделировании инфицированной раны в эксперименте. *Проблемы здоровья и экологии*. 2022;19(1):83–92. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2022-19-1-11>

Antibacterial resistance of modified woven vascular prostheses in experimental infected wound modeling

Alexei A. Lyzиков¹, Dzmitry V. Tapalski¹, Yauheni Y. Doroshko¹,
Elena A. Tsvetkova², Aliaksei A. Ziatskov¹, Mark L. Kaplan¹,
Sergey V. Zotov², Natalia S. Vinidiktova², Vladimir S. Sedelnik³

¹Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

²Metal-Polymer Research Institute named after V.A. Belyi of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

³Belsono LLC, Gomel, Belarus

Abstract

Objective. To optimize the composition of polymer coatings based on the assessment of the duration of the antibacterial resistance in infected wounds of laboratory animals.

Materials and methods. Woven vascular prostheses consisting of fibrous-porous polypropylene and one of the three types of coatings based on a polyvinyl-chitosan complex with the addition of biologically active substances were used in the study. All the samples were impregnated with 1% vancomycin for 30 minutes. The research methods were: bacteriological, molecular and genetic methods. Qualitative results of the antibacterial resistance of the coatings during the study period in the groups were confirmed with three or more repetitions of the results.

Results. In the qualitative assessment of the duration of the antibacterial resistance of the prostheses according to the PCR and bacteriological studies, woven vascular prostheses with coatings containing polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone, chitosan, antibiotic vancomycin, and hyaluronic acid do not get infected with *S. aureus* for up to four days, and woven vascular prostheses with coatings consisting of polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone, chitosan, antibiotic vancomycin, and L-aspartic acid and woven prostheses with coatings of polyvinyl alcohol, chitosan, antibiotic vancomycin, and L-aspartic acid - up to five days.

Conclusion. The presence of L-aspartic acid in the composition of polymer coatings increases the duration of the antibacterial resistance of woven vascular prostheses in comparison with hyaluronic acid. The presence of polyvinylpyrrolidone in polymer coatings significantly ($p = 0.012$) reduces the contamination of *S. aureus*, increasing the antibacterial resistance of woven vascular prostheses, whereas polyvinyl alcohol does not have such an effect.

Keywords: vascular prosthesis (conduit), infection, antibacterial resistance.

Author contributions: Lyzиков A.A., Tapalski D.V., Doroshko Ya.Y., Tsvetkova E.A., Ziatskov A.A., Kaplan M.L., Zotov S.V., Vinidiktova N.S., Sedelnik V.S.: research concept and design, collection of material and creation of a database, data processing, editing, discussion of data, approval of the manuscript for publication.

Funding. The work was carried out within the framework of the research topic funded by the Gomel Regional Executive Committee.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Lyzиков AA, Tapalski DV, Doroshko YaY, Tsvetkova EA, Ziatskov AA, Kaplan ML, Zotov SV, Vinidiktova NS, Sedelnik VS. Antibacterial resistance of modified woven vascular prostheses in experimental infected wound modeling. *Health and Ecology Issues*. 2022;19(1):83–92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2022-19-1-11>

Введение

Важным элементом операционных и восстановительных мероприятий в сердечно-сосудистой хирургии является сосудистый протез (конduit). Одним из наиболее сложных состояний кондуита является его инфицирование. Частота инфицирования сосудистых протезов доходит до 6 % [1]. Анализ литературных данных отечественных и зарубежных авторов подтверждает значимую роль бактерий рода *Staphylococcus*, уча-

ствующих в развитии инфекционных осложнений после хирургических вмешательств с использованием искусственных протезов, не менее чем в 50 % случаев [2, 3, 4, 5, 6].

Основным путем инфицирования сосудистых кондуитов является контактный [10]. Несмотря на сложности с дифференцировкой контактного пути, некоторые авторы придерживаются мнения, что большинство случаев инфицирования сосудистых протезов произошло во время операции

[7, 8]. Работы в области новых подходов по профилактике инфицирования сосудистых протезов продолжают по ряду направлений, основными из которых являются подбор новых и модификация используемых материалов покрытиями с антибактериальными свойствами [4, 9, 11, 12, 13]. Крайне важным для оптимизации и подбора новых составов покрытий для кондуита является оценка антибактериальной устойчивости в условиях инфицирования.

Цель исследования

Оптимизировать состав полимерных покрытий исходя из оценки продолжительности антибактериальной устойчивости в инфицированной ране лабораторных животных.

Материалы и методы

Модифицированный тканый сосудистый протез состоит из волокнисто-пористого полипропилена и одного из трех типов покрытий на основе поливинил-хитозанового комплекса с добавлением биологически активных веществ и пропитанных ванкомицином 1 % на протяжении 30 мин. Было сформировано четыре группы исследования из 160 протезов, каждая из которых включала по 40 однотипных образцов. Первую группу составили модифицированные тканые сосудистые протезы, покрытие которых включало: поливиниловый спирт, поливинилпирролидон, хитозан, гиалуроновую кислоту и антибиотик ванкомицин (покрытие № 1). Вторую группу составили образцы, которые содержали поливиниловый спирт, поливинилпирролидон, хитозан, L-аспарагиновую кислоту и антибиотик ванкомицин (покрытие № 2). Третья группа представлена ткаными сосудистыми протезами с покрытием из поливинилового спирта, хитозана, L-аспарагиновой кислоты и антибиотика ванкомицин (покрытие № 3). Четвертую группу, или контрольную, составили тканые сосудистые протезы без разработанных покрытий.

В исследование включено 80 экспериментальных животных — белых крыс породы Вистар массой тела 180–250 г в возрасте 3,5 мес. на момент начала исследования. Для двух исследуемых образцов использовалось одно лабораторное животное. Выполнялась общая анестезия. На депилированной коже спины крысы левее срединной плоскости проводилась трехкратная обработка раствором 0,2 % йода. По истечении пяти минут скальпелем рассекалась кожа — 2,5–3 см,

подкожная клетчатка. Далее формировались два кармана на расстоянии не менее 1 см друг от друга. Затем в рану вводилась взвесь микробов, содержащая в 0,5–1 мл 10^9 микробных тел *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (далее — *S. aureus*), после чего в каждый из сформированных карманов пинцетом помещалось по одному однотипному образцу размером 0,5 × 0,5 см. После этого с целью создания герметичности, предотвращения травмирования и обсеменения извне рана ушивалась шелковыми лигатурами 2,0.

Животные содержались в виварии по одному в клетке. Доступ к воде и пище был свободным. Швы снимали на шестые сутки после операции. Летальных случаев при моделировании инфицированной раны экспериментальным животным не зафиксировано. Животных выводили из эксперимента на четвертые, пятые, шестые и седьмые сутки от начала эксперимента. Работу проводили в соответствии с «Положением о порядке использования лабораторных животных в научно-исследовательских работах и педагогическом процессе Гомельского государственного медицинского института и методах по реализации требований биомедицинской этики», № 54-А от 23.05.2002 г. и постановлением МЗ Республики Беларусь об утверждении Санитарных норм и правил «Требования безопасности при осуществлении работ с условно-патогенными микроорганизмами и патогенными биологическими агентами, к организации и проведению их учета, хранения, передачи и транспортировки», № 2 от 06.01.2017 г.

После выведения животного из эксперимента два имплантированных образца по очереди извлекались из сформированных в ране карманов. Образцы из контрольной группы по одному помещались в подготовленные стерильные пробирки для последующего бактериологического исследования и в эппендорфы для молекулярно-генетического анализа, а у модифицированных образцов стерильными пинцетами снимали покрытие для исследования обсеменения тканого протеза. Дополнительно до извлечения образцов тампоном брали мазок из раны с целью подтверждения контаминации раны *S. aureus* и определяли фермент лецитовеллазу. Бактериологические исследования извлеченных образцов проводили качественным (определяли фермент лецитовеллазу) и количественным методом (при регистрации более 300 колониеобразующих

единиц на протезе считали за массивное обсеменение и подсчет прекращали), тампонов — полуколичественным методом в микробиологической лаборатории УО «Гомельский государственный медицинский университет», а ПЦР-исследования (полимеразная цепная реакция) — на базе его научно-исследовательской лаборатории.

Для экстракции ДНК, проведения ПЦР, электрофоретической детекции использовали коммерческие реагенты согласно инструкции производителя. Для ПЦР использовали амплификатор Rotor-Gene Q 5plex HRM («Qiagen», Германия). Детекцию продуктов ПЦР проводили с помощью горизонтального гель-электрофореза (агарозный гель 1,7 %), используя электрофоретическую камеру фирмы «Helicon» и видеосистему фирмы «Bio-Rad» (США) GelDocXR. Для окрашивания применяли раствор бромистого этидия (концентрация — 0,1–0,5 мкг/мл). В каче-

стве отрицательного контроля использована вода (отсутствует амплификация); в качестве положительных контрольных образцов К+ использовали чистые бактериальные культуры с установленным видовым статусом *S. aureus* ATCC 25923. Структура праймеров и ориентировочный размер ампликона представлены в таблице 1. Программа амплификации: денатурация 1 цикл — 95 °С, 3 мин; 37 циклов (94 °С — 60 с, 55 °С — 30 с, 72 °С — 90 с); финальная элонгация 1 цикл — 72 °С, 3,5 мин. Качественный результат антибактериальной устойчивости кондуитов за исследуемый период в группах подтверждался при трех и более повторениях результатов микробиологических и ПЦР-исследований. Количественные признаки представлены в виде медианы или абсолютных чисел. Анализ результатов проводился с использованием программного комплекса Excel и «Statistica», 10,0.

Таблица 1. Структура праймеров, используемых для выявления фрагмента гена термонуклеазы (*Nuc*) *Staphylococcus aureus*

Table 1. Structure of primers used to identify a fragment of the *Staphylococcus aureus* thermonuclease (*Nuc*) gene *Staphylococcus aureus*

Название праймера	Нуклеотидная последовательность	Размер фрагмента
Нис-прямой	GCGATTGATGGTGATACGGTT	267 пар нуклеотидов
Нис-обратный	AGCCAAGCCTTGACGAACTAAAGC	

Результаты и их обсуждение

При молекулярно-генетическом анализе протезов контрольной группы, извлеченных на четвертые, пятые, шестые и седьмые сутки, получены одинаковые результаты (рисунок 1). У всех протезов контрольной группы выявлена ДНК *S. aureus*. При ПЦР-исследованиях протезов экспериментальных групп, извлеченных на четвертые сутки, выявлена ДНК *S. aureus* в 40 % случаев, или двух из пяти образцов модифицированного сосудистого протеза первой группы. На остальных экспериментальных образцах ДНК *S. aureus* не выявлено (рисунок 2). На пятые сутки выявлена ДНК *S. aureus* у всех образцов модифицированного сосудистого протеза первой группы и в 40 % случаев, или двух из пяти образцов

третьей группы. На остальных экспериментальных образцах ДНК *S. aureus* не выявлено (рисунок 3). На шестые сутки выявлена ДНК *S. aureus* у всех образцов модифицированного сосудистого протеза первой и третьей группы. В 60 % случаев, или трех из пяти образцов второй группы, также выявлена ДНК *S. aureus* (рисунок 4). На седьмые сутки выявлена ДНК *S. aureus* ATCC 25923 у всех образцов модифицированного сосудистого протеза первой, второй и третьей групп (рисунок 5). Таким образом, из заданных параметров оценки качественного результата по данным ПЦР-исследований лучшей антибактериальной устойчивостью обладали кондуиты второй и третьей групп (таблица 2).

Таблица 2. Качественные результаты антибактериальной устойчивости тканых сосудистых протезов по данным ПЦР и бактериологического исследований
Table 2. Qualitative results of the antibacterial resistance of woven vascular prostheses according to the PCR and bacteriological studies

Группы исследования	Период исследования			
	4 сут	5 сут	6 сут	7 сут
Первая	роста нет	инфицированы	инфицированы	инфицированы
Вторая	роста нет	роста нет	инфицированы	инфицированы
Третья	роста нет	роста нет	инфицированы	инфицированы
Контрольная	инфицированы	инфицированы	инфицированы	инфицированы

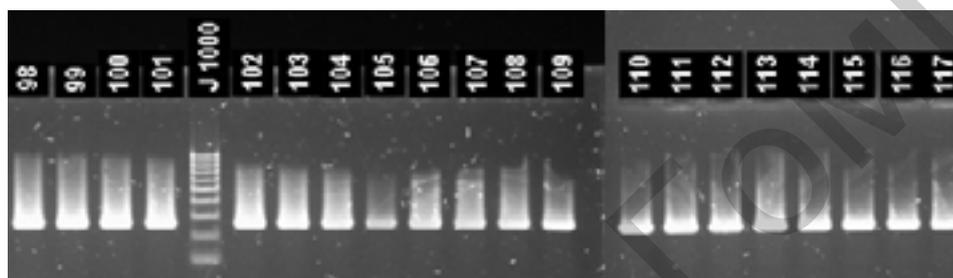


Рисунок 1. Электрофоретическая детекция продуктов ПЦР с праймерами Nuc у образцов протезов контрольной группы, извлеченных на четвертые (98–102), пятые (103–107), шестые (108–112) и седьмые сутки (113–117)
Figure 1. Electrophoretic detection of PCR products with Nuc primers in the control group prosthesis samples extracted on the fourth (98–102), fifth (103–107), sixth (108–112), and seventh days (113–117)



Рисунок 2. Электрофоретическая детекция продуктов ПЦР с праймерами Nuc у образцов протезов экспериментальных групп, извлеченных на четвертые сутки: первая группа — с 63 по 67; вторая группа — с 68 по 72; третья группа — с 73 по 77
Figure 2. Electrophoretic detection of PCR products with Nuc primers in the prosthesis samples of the experimental groups extracted on the fourth day: the first group from 63 to 67; the second group from 68 to 72; the third group from 73 to 77

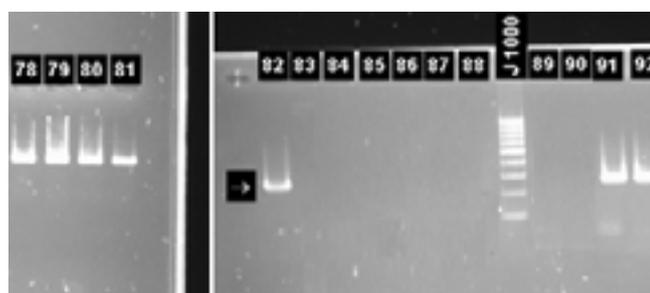


Рисунок 3. Электрофоретическая детекция продуктов ПЦР с праймерами Nuc у образцов протезов экспериментальных групп, извлеченных на пятые сутки: первая группа — с 78 по 82; вторая группа — с 83 по 87; третья группа — с 88 по 92
Figure 3. Electrophoretic detection of PCR products with Nuc primers in the prosthesis samples of the experimental groups extracted on the fifth day: the first group from 78 to 82; the second group from 83 to 87; the third group from 88 to 92

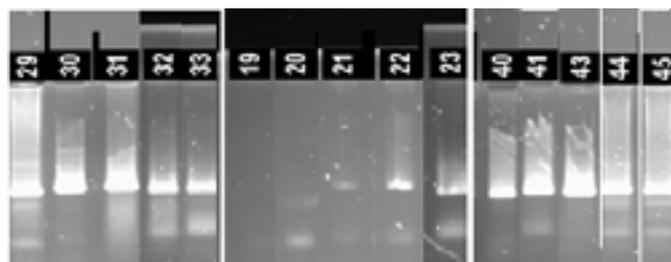


Рисунок 4. Электрофоретическая детекция продуктов ПЦР с праймерами Nuc у образцов протезов экспериментальных групп, извлеченных на шестые сутки: первая группа — с 29 по 33; вторая группа — с 19 по 23; третья группа — 40–41 и с 43 по 45

Figure 4. Electrophoretic detection of PCR products with Nuc primers in the prosthesis samples of the experimental groups extracted on the sixth day: the first group from 29 to 33; the second group from 19 to 23; the third group 40–41 and from 43 to 45

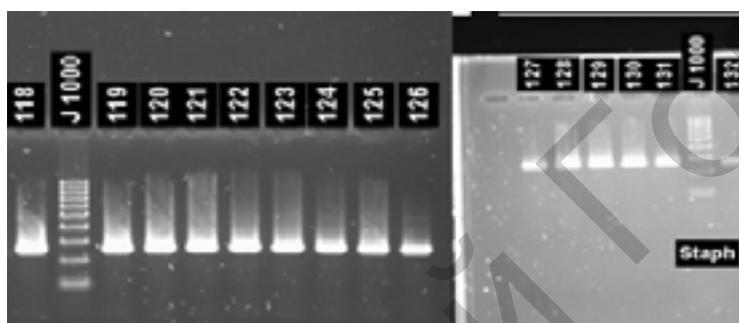


Рисунок 5. Электрофоретическая детекция продуктов ПЦР с праймерами Nuc у образцов протезов экспериментальных групп, извлеченных на седьмые сутки: первая группа — со 118 по 122; вторая группа — со 123 по 127; третья группа — со 128 по 132

Figure 5. Electrophoretic detection of PCR products with Nuc primers in the prosthesis samples of the experimental groups extracted on the seventh day: the first group from 118 to 122; the second group from 123 to 127; the third group from 128 to 132

При качественной оценке бактериологических исследований протезов экспериментальных групп, извлеченных на четвертые сутки, зафиксирован рост микробных тел *S. aureus* — в 20 % случаев, или одном из пяти образцов модифицированного сосудистого протеза первой группы с КОЕ (колониеобразующая единица) на протезе более 300. На остальных экспериментальных образцах роста *S. aureus* не выявлено (таблица 3). При бактериологических исследованиях протезов экспериментальных групп, извлеченных на пятые сутки, зафиксирован рост микробных тел *S. aureus* — в 60 % случаев, или трех образцах модифицированного сосудистого протеза первой группы с КОЕ на протезе от 2 до более 300. На остальных экспериментальных образцах роста *S. aureus* не выявлено. На шестые сутки зафиксирован рост микробных тел *S. aureus* на поверхности четырнадцати из пятнадцати образцов модифицированных сосудистых протезов с количеством КОЕ от 3 до более 300. В 20 % случаев, или на одном образце модифициро-

ванного сосудистого протеза из второй группы, роста выявлено не было. Следует отметить, что на поверхности у протезов второй группы на шестые сутки отмечалось наименьшее количество КОЕ (от 0 до 25) среди всех групп исследования. На седьмые сутки на поверхности всех образцов зафиксирован рост микробных тел *S. aureus* (таблица 3). Получены результаты бактериологического исследования протезов контрольной группы, извлеченных на четвертые, пятые, шестые и седьмые сутки. На поверхности всех контрольных протезов (по пять на каждый срок наблюдения) был выявлен рост *S. aureus* с количеством КОЕ на протезе более 300 (таблица 3). Таким образом, по качественной оценке бактериологических исследований антибактериальной устойчивостью продолжительностью до пяти суток обладали кондуиты второй и третьей групп, до четырех суток — кондуиты первой группы, а у сосудистых протезов контрольной группы отсутствует антибактериальная устойчивость.

По критериям оценки качественного результата по данным ПЦР-исследований и бактериологических исследований сосудистых кондуитов по периодам исследования наблюдается совпадение результатов. Лучшей антибактериальной устойчивостью по качественной оценке обладали кондуиты второй и третьей групп — до пяти суток. Исходя из этого, можно утверждать, что наличие L-аспарагиновой кислоты в составе

полимерных покрытий увеличивает продолжительность антибактериальной устойчивости тканых сосудистых протезов в сравнении с гиалуроновой кислотой, а наличие в составе поливинилпирролидона в составе покрытий поливинил-хитозанового комплекса с антибиотиком ванкомицин 1% и L-аспарагиновой кислотой влияния на продолжительность антибактериальной устойчивости не оказывает.

Таблица 3. Результаты бактериологического исследования синтетических сосудистых протезов

Table 3. Results of the bacteriological examination of synthetic vascular prostheses

Срок наблюдения	4 сут		5 сут		6 сут		7 сут	
	КОЕ на протезе	вид						
Первая группа	0	—	2	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	> 300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	> 300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	> 300	ЛВ (+)	0	—	> 300	ЛВ (+)	200	ЛВ (+)
	0	—	0	—	> 300	ЛВ (+)	26	ЛВ (+)
Вторая группа	0	—	0	—	0	—	80	ЛВ (+)
	0	—	0	—	3	ЛВ (+)	100	ЛВ (+)
	0	—	0	—	25	ЛВ (+)	7	ЛВ (+)
	0	—	0	—	13	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	0	—	18	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
Третья группа	0	—	0	—	250	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	0	—	40	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	0	—	300	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	0	—	60	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
	0	—	0	—	200	ЛВ (+)	> 300	ЛВ (+)
Четвертая группа (контрольная)	> 300	ЛВ (+)						
	> 300	ЛВ (+)						
	> 300	ЛВ (+)						
	> 300	ЛВ (+)						
	> 300	ЛВ (+)						

Примечание. ЛВ (+) — стафилококк с лецитовителлазой (*S. aureus*, им контаминировали раны); КОЕ — колониеобразующие единицы в абсолютных числах

Количественный анализ бактериологического исследования тканых сосудистых протезов второй и третьей групп на шестые сутки наблюдения выявил статистически значимо ($p = 0,012$) большую обсемененность *S. aureus* у протезов третьей группы (таблица 4). Таким образом, можно утвер-

ждать, что наличие в составе полимерных покрытий поливинилпирролидона снижает обсемененность *S. aureus*, увеличивая антибактериальную устойчивость тканых сосудистых протезов.

Таблица 4. Результаты количественного анализа бактериологического исследования синтетических сосудистых протезов второй и третьей групп на шестые сутки наблюдения
Table 4. Results of the quantitative analysis of the bacteriological examination of synthetic vascular prostheses of the second and third groups on the 6th day of observation

Группа исследования	Me (Q ₁ ; Q ₃), количество КОЕ на протезе	p
Вторая	13 (3; 18)	0,012
Третья	200 (60; 250)	

Примечание. Me — медиана; Q₁ — 25-й процентиль; Q₃ — 75-й процентиль

Все раны были инфицированы *S. aureus* на всех сроках наблюдения, что подтверждается результатами бактериологического исследования тампонов, которые использовали для взятия мазка из раны во время извлечения протезов (таблица 5). Количество КОЕ *S. aureus* в ране представлено в виде медианы и варьирует от 10⁴ до 10⁷.

Таблица 5. Результаты бактериологического исследования раневого отделяемого
Table 5. Results of the bacteriological examination of wound discharge

Срок наблюдения	4 сут		5 сут		6 сут		7 сут	
	Me, КОЕ/мл в ране	вид						
Первая группа	10 ⁵	ЛВ (+)	10 ⁵	ЛВ (+)	10 ⁵	ЛВ (+)	10 ⁶	ЛВ (+)
Вторая группа	10 ⁶	ЛВ (+)	10 ⁵	ЛВ (+)	10 ⁶	ЛВ (+)	10 ⁴	ЛВ (+)
Третья группа	10 ⁶	ЛВ (+)	10 ⁵	ЛВ (+)	10 ⁷	ЛВ (+)	10 ⁵	ЛВ (+)
Четвертая группа (контрольная)	10 ⁷	ЛВ (+)	10 ⁶	ЛВ (+)	10 ⁶	ЛВ (+)	10 ⁶	ЛВ (+)

Примечание. Me — медиана; ЛВ (+) — стафилококк с лецитовителлазой (*S. aureus*, им контаминировали раны); КОЕ — колониеобразующие единицы

Выводы

1. При качественной оценке продолжительности антибактериальной устойчивости выявлено, что тканые сосудистые протезы с покрытиями, содержащими поливинилловый спирт, поливинилпирролидон, хитозан, антибиотик ванкомицин 1% и гиалуроновую кислоту, не инфицируются *S. aureus* до четырех суток, а тканые сосудистые протезы с покрытиями на основе поливинил-хитозанового комплекса, антибиотика ванкомицин 1 %, L-аспарагиновой кислоты, поливинилпирролидоном и без него — до пяти суток. Исходя из этого, можно утверждать, что наличие L-аспарагиновой кислоты в составе полимерных покрытий увеличивает продолжительность антибактериальной устойчивости тканых сосудистых протезов в сравнении с гиалуроновой кислотой, а наличие в составе поливинилпирролидона в составе

покрытий на основе поливинил-хитозанового комплекса с антибиотиком ванкомицин 1 % и L-аспарагиновой кислотой существенного влияния на продолжительность антибактериальной устойчивости не оказывает.

2. На основании количественного анализа бактериологического исследования тканых сосудистых протезов с покрытиями на основе поливинил-хитозанового комплекса, антибиотика ванкомицин 1 %, L-аспарагиновой кислоты, поливинилпирролидона и без него на шестые сутки наблюдения можно утверждать, что наличие в составе полимерных покрытий поливинилпирролидона статистически значимо (p = 0,012) снижает обсемененность *S. aureus*, увеличивая антибактериальную устойчивость тканых сосудистых протезов.

Список литературы

1. Лызикив АА, Воропаев ЕВ, Осипов ВА, Печенкин АА. Моделирование условий высокого риска инфекционных осложнений в эксперименте. *Новости хирургии*. 2011;19(3):16-20.
2. Бокерия ЛА, Абдулгасанов РА, Иванов АВ, Аракелян ВС. Текстильные сосудистые протезы в ангиохирургии. *Анналы хирургии*. 2019;24(3):165-74. DOI: <https://doi.org/10.24022/1560-9502-2019-24-3-165-174>
3. Андрейчук КА. Выбор сосудистого протеза в хирургии аорты «высокого риска». *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2016;9(4):95-104.
4. Дорошко ЕЮ, Лызикив АА. Биомеханические свойства, патогенетические механизмы и пути инфицирования тканых сосудистых протезов в ангиохирургии. *Проблемы здоровья и экологии*. 2020;(4):79-86. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2020-17-4-5>
5. Schwartz JA. Culture of abdominal aortic aneurysm contents. An additional series. *Arch Surg*. 1987;122(7):777-780. DOI: <https://doi.org/10.1001/archsurg.1987.01400190043008>
6. Wilson WR, Bower TC, Creager MA, Amin-Hanjani S, O'Gara PT, Lockhart PB, et al. Vascular Graft Infections, Mycotic Aneurysms, and Endovascular Infections: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;134(20):412-460. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000457>
7. O'Brien T, Collin J. Prosthetic vascular graft infection. *Br J Surg*. 1992;79(12):1262-1267. DOI: <https://doi.org/10.1002/bjs.1800791205>
8. Kearney RA, Eisen HJ, Wolf JE. Nonvalvular infections of the cardiovascular system. *Ann Intern Med*. 1994;121(3):219-230. DOI: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-121-3-199408010-00010>
9. Штильман МИ. Полимеры медико-биологического назначения. Москва, РФ: «Академ-книга»; 2006. 400 с.
10. Дорошко ЕЮ, Лызикив АА, Тихманович ВЕ., Каплан МЛ. Анализ инфекционных осложнений искусственных сосудистых протезов после операций на аорто-подвздошно-бедренном сегменте. *Хирургия. Восточная Европа*. 2021;10(4):508-516.
11. Hasan J, Crawford RJ, Ivanova EP. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends Biotechnol*. 2013;31:295-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.017>
12. Zilberman M, Elsner JJ. Antibiotic-eluting medical devices for various applications. *J Control Release*. 2008;130(3):202-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2008.05.020>
13. Chouirfa H, Bouloussa H, Migonney V, Falentin-Daudré C. Review of titanium surface modification techniques and coatings for antibacterial applications. *Acta Biomater*. 2019 Jan 1;83:37-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.10.036>

References

1. Lyzikov AA, Voropaev EV, Osipov VA, Pechenkin AA. Modeling of conditions of high risk of infectious complications in the experiment. *Surgery news*. 2011;19(3):16-20. (In Russ.).
2. Bokeria LA, Abdulgasanov RA, Ivanov AV, Arakelyan VS. Textile vascular prostheses in angiosurgery. *Annals of Surgery*. 2019;24(3):165-174. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24022/1560-9502-2019-24-3-165-174>
3. Andreychuk KA. The choice of a vascular prosthesis in "high-risk" aortic surgery. *Cardiology and cardiovascular surgery*. 2016;9(4):95-104. (In Russ.).
4. Doroshko YY, Lyzikov AA. Biomechanical properties, pathogenetic mechanisms and pathways of infection of tissue-engineered vascular conduits in angiosurgery. *Health and Ecology Issues*. 2020;(4):79-86. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2020-17-4-5>
5. Schwartz JA. Culture of abdominal aortic aneurysm contents. An additional series. *Arch. Surg*. 1987;122(7):777-780. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1001/archsurg.1987.01400190043008>
6. Wilson WR, Bower TC, Creager MA, Amin-Hanjani S, O'Gara PT, Lockhart PB, et al. Vascular Graft Infections, Mycotic Aneurysms, and Endovascular Infections: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;134(20):412-460. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000457>
7. O'Brien T., Collin J. Prosthetic vascular graft infection. *Br J Surg*. 1992;79(12):1262-1267. DOI: <https://doi.org/10.1002/bjs.1800791205>
8. Kearney RA, Eisen HJ, Wolf JE. Nonvalvular infections of the cardiovascular system. *Ann Intern Med*. 1994;121(3):219-230. DOI: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-121-3-199408010-00010>
9. Shtilman MI. Polymers of medical and biological purpose. Moskva, RF: "Akadem-book"; 2006. 400 p. (In Russ.).
10. Doroshko YY, Lysikov AA, Tikhonovich VE, Kaplan ML. Analysis of infectious complications of artificial vascular prostheses after operations on the aorto-iliac-femoral segment. *Surgery. Eastern Europe*. 2021;10(4):508-516. (In Russ.).
11. Hasan J, Crawford RJ, Ivanova EP. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends Biotechnol*. 2013;31:295-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.017>
12. Zilberman M, Elsner JJ. Antibiotic-eluting medical devices for various applications. *J Control Release*. 2008;130(3):202-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2008.05.020>
13. Chouirfa H, Bouloussa H, Migonney V, Falentin-Daudré C. Review of titanium surface modification techniques and coatings for antibacterial applications. *Acta Biomater*. 2019;83:37-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.10.036>

Информация об авторах / Information about the authors

Лызикив Алексей Анатольевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>
e-mail: lyzikov@mail.ru

Alexei A. Lyzikov, DMedSc, Professor, Head of Department of Surgical Diseases No.1 with the course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>
e-mail: lyzikov@mail.ru

Тапальский Дмитрий Викторович, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9484-7848>

e-mail: tapalskiy@yandex.by

Дорошко Евгений Юрьевич, ассистент кафедры хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5395-5044>

e-mail: ronaldy93@mail.ru

Цветкова Елена Александровна, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник отдела «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2178-090X>

Зятков Алексей Александрович, научный сотрудник НИЛ, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-3791>

Капан Марк Львович, к.м.н., доцент, доцент кафедры хирургических болезней № 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7782-3281>

Зотов Сергей Валентинович, к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4480-6503>

Винидиктова Наталья Сергеевна, к.т.н., старший научный сотрудник отдела «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-6742>

Седелец Владимир Сергеевич, врач ультразвуковой диагностики, ООО «Белсоно», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4874-6173>

Dzmitry V. Tapalski, DMedSc, Associate Professor, Head of the Department of Microbiology, Virology and Immunology, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9484-7848>

e-mail: tapalskiy@yandex.by

Yauheni Y. Doroshko, Assistant Lecturer at Department of Surgical Diseases No.1 with the course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, The Republic of Belarus, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5395-5044>

e-mail: ronaldy93@mail.ru

Elena A. Tsvetkova, PhD (Tech), Associate Professor, senior researcher at the Department “Composite materials and polymer recycling”, Metal-Polymer Research Institute named after V.A. Belyi of the National academy of sciences of Belarus, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2178-090X>

Aliaksei A. Ziatskov, researcher at the Scientific Research Laboratory, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-3791>

Mark L. Kaplan, PhD (Med), Associate Professor, Associate Professor at Department of Surgical Diseases No.1 with the course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7782-3281>

Sergey V. Zotov, PhD (Tech), leading researcher at the Department “Composite materials and polymer recycling”, Metal-Polymer Research Institute named after V.A. Belyi of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4480-6503>

Natalia S. Vinidiktova, PhD (Tech), senior researcher at the Department “Composite materials and polymer recycling”, Metal-Polymer Research Institute named after V.A. Belyi of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2613-6742>

Vladimir S. Sedelnik, ultrasound diagnostician, Belsono LLC, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4874-6173>

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Дорошко Евгений Юрьевич

e-mail: ronaldy93@mail.ru

Yauheni Y. Doroshko

e-mail: ronaldy93@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 19.11.2021

Поступила после рецензирования / Accepted 15.02.2022

Принята к публикации / Revised 25.02.2022