

## ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ В ПРАКТИКУ

Научная статья

УДК 615.468.6:577.1

<https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-88-100>

3.1.9. Хирургия (медицинские науки)

1.5.11. Микробиология (медицинские науки)

### **СОВРЕМЕННЫЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЙ ШОВНЫЙ МАТЕРИАЛ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Артём Михайлович Морозов, Алексей Николаевич Сергеев,  
Эльшад Магомедович Аскеров, Владислав Сергеевич Богочанов,  
Елизавета Игоревна Нилова, Дарья Андреевна Дмитриева**  
Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия

**Аннотация.** Целью настоящего исследования было выявление ключевых проблем и перспектив развития биологически активных шовных материалов. Проведён анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников по данной теме. Одной из основных трудностей остаётся создание универсального шовного материала, который сочетал бы преимущества существующих решений при отсутствии их недостатков. Текущие разработки, такие как «Тверан» («Волоть», Россия) или сочетание полипропилена и полигликолевой кислоты с фторхинолонами, показывают высокую эффективность, однако их использование сопряжено с риском развития антибиотикорезистентности. Данная проблема становится всё более актуальной вследствие появления устойчивых штаммов микроорганизмов. Дополнительные ограничения включают гидрофобность нитей, а также отсутствие функциональных групп для иммобилизации активных соединений на поверхности шовного материала. Решение данных вопросов может значительно повысить эффективность и безопасность шовных материалов.

**Ключевые слова:** шовный материал, хирургия, «Капрогент», «Никант», «Тверан», биологически активный шовный материал, антибиотикорезистентность, полипропилен, фторхинолоны

**Для цитирования:** Морозов А. М., Сергеев А. Н., Аскеров Э. М., Богочанов В. С., Нилова Е. И., Дмитриева Д. А. Современный биологически активный шовный материал: проблемы и перспективы // Астраханский медицинский журнал. 2025. Т. 20, № 3. С. 88–100. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-88-100>.

## SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS INTO PRACTICE

Review article

### **MODERN BIOLOGICALLY ACTIVE SUTURE MATERIAL: PROBLEMS AND PROSPECTS**

**Artem M. Morozov, Alexey N. Sergeev, Elshad M. Askerov,  
Vladislav S. Bogochanov, Elizaveta I. Nilova, Darya A. Dmitrieva**  
Tver State Medical University, Tver, Russia

**Abstract.** The aim of this study was to identify the key problems and prospects for the development of biologically active suture materials. Modern domestic and foreign literature sources on this topic were analyzed. One of the main difficulties remains the creation of a universal suture material that would combine the advantages of existing solutions without their disadvantages. Current developments, such as “Tveran” (“Volot”, Russia) or combination of polypropylene and polyglycolic acid with fluoroquinolones, show high efficiency, but their use is associated with the risk of antibiotic resistance development. This problem is becoming increasingly important due to the emergence of resistant strains of microorganisms. Additional limitations include the hydrophobicity of filaments, as well as the lack of functional groups for immobilization of active compounds on the surface of the suture material. Addressing these issues can significantly improve the efficiency and safety of suture materials.

**Key words:** suture material, surgery, “Caprogent”, “Nikant”, “Tveran”, biologically active suture material, antibiotic resistance, polypropylene, fluoroquinolones

**For citation:** Morozov A. M., Sergeev A. N., Askerov E. M., Bogochanov V. S., Nilova E. I., Dmitrieva D. A. Modern biologically active suture material: problems and prospects. Astrakhan Medical Journal. 2025. 20 (3): 88–100. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-3-88-100> (In Rus.).

**Введение.** Проблема соединения тканей в хирургической практике не теряет актуальности. С этой целью используются самые разные способы соединения (хирургический клей, костный цемент, металлические скобки и т. д.), однако в настоящее время основным методом остаётся использование хирургических швов, которые накладываются при помощи специальных рассасывающихся и нерассасывающихся нитей [1]. Вместе с тем шовный материал, применяемый в хирургической практике, имеет определенный ряд недостатков, среди которых можно выделить удлинение продолжительности времени, затрачиваемого на лечение больного, повышение финансовых расходов, отрицательный косметический результат. Помимо этого, стоит отметить достаточно высокий процент развития послеоперационных осложнений, включающих в себя инфекции области хирургического вмешательства (ИОХВ), в особенности у пациентов с сопутствующими инфекциями или хроническими заболеваниями, а также пациентов пожилого возраста, поскольку регенераторные способности их организма значительно снижены. ИОХВ занимает значительное место среди послеоперационных осложнений у пациентов хирургического профиля, что говорит об актуальности проблемы профилактики ИОХВ в современной хирургии. Сегодня все более значимой становится потребность в разработке совершенного шовного материала, благодаря которому возможно повлиять на снижение риска возникновения послеоперационных гнойно-воспалительных осложнений [2, 3].

Биологически активный шовный материал (БАШМ) – это комплексные нити, имеющие в составе различные вещества, способные при имплантации в ткани организма оказывать определенное как местное, так и общее воздействие на организм пациента (чаще всего антимикробное). Достижения современной химической и фармацевтической промышленности дают возможность разработать БАШМ, которые могут противостоять развитию послеоперационных инфекционных гнойно-воспалительных осложнений области раневой поверхности, улучшать процессы репарации в тканях, при этом не оказывая отрицательного влияния на организм [4, 5].

Наиболее важным направлением хирургии в области профилактики послеоперационных осложнений инфекционно-воспалительного характера является постоянное совершенствование способов и методов соединения тканей, а также поиск и создание абсолютно нового шовного материала, в особенности содержащего антисептические и антибактериальные препараты. На данный момент доказана эффективность таких БАШМ, как:

- Vicryl plus (“Ethicon”, США), включающий в себя антисептическое покрытие из триклозана;
- «Капрогент» («Линтекс», Россия), содержащий на поверхности нитей антибиотик аминогликозидного ряда гентамицин;
- «Никант» («Волоть», Россия), на поверхности которого помимо гентамицина имеется тетрациклиновый антибиотик доксициклин;
- «Тверан» («Волоть», Россия), включающий в себя ципрофлоксацин (антибиотик из группы фторхинолонов) и германийорганическое соединение Астрагерм.

В ходе отдельных экспериментальных работ была доказана высокая противомикробная и репаративная активность шовных материалов «Даклон» («Футберг», Беларусь) и «ПГА полигликвид» («Футберг», Беларусь), модифицированных в ходе эксперимента левофлоксацином и ципрофлоксацином, а также нитей с наночастицами серебра и дополнительными компонентами (например, гиперразветвленного полилизина и прополиса). В опытах, проведенных *in vivo* и *in vitro*, были изучены антибактериальные свойства шовных материалов по отношению к таким микроорганизмам, как *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans* [6].

Исследования регенераторных и репаративных процессов в послеоперационных ранах и межкишечных анастомозах показали явное превосходство БАШМ комплексного действия по сравнению с классическими [7].

Таким образом, выявлена необходимость активной разработки БАШМ в сфере фармацевтической промышленности с последующим тестированием новых видов нитей, которые соответствовали бы определённым требованиям для их дальнейшего широкого внедрения в хирургическую практику.

**Цель:** выявить основные проблемы и перспективы применения и развития современного биологически активного шовного материала.

**Материалы и методы исследования.** Проведен анализ актуальных отечественных и зарубежных источников литературы, расположенных на платформах ELibrary, PubMed и Medscape и раскрывающих проблему разработки и применения БАШМ.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования в области БАШМ ведутся с 1980-х гг. Описаны попытки разработки шовных материалов, модифицированных различными биологически активными агентами, среди которых были дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) [8], лекарственные препараты [9], антитела [10], белки [11–13], факторы роста [14], а также молекулы различных металлов и их соединений (в основном молекул серебра) [15–18].

Первый крупный прорыв в данной области осуществлен в 2002 г., когда был разработан антибактериальный шовный материал полиглактин 910 (“Vicryl Plus”, “Ethicon”, США) с антисептическим покрытием, в роли которого выступал триклозан. Исследования показали, что при его применении отмечалось подавление роста исследуемых бактерий (*Staphylococcus epidermidis* и *St. aureus*) в диапазоне диаметра шва [19]. Проведённые исследования этого шовного материала на лабораторных животных показали его преимущества в аспекте снижения обсемененности раны бактериями и угнетения широкого спектра возбудителей ИОХВ, при этом не изменялись физические свойства шовного материала и не оказывалось влияние на процесс заживления раны [20, 21]. Последние работы показывают, что данный шовный материал можно смело применять в таких областях хирургии, как герниопластика [22], челюстно-лицевая хирургия [23], кардиохирургия [24], колоректальная хирургия [25], стоматология [26] и других. Стоит отметить, что в некоторых исследованиях стоматологического профиля наблюдалось отсутствие значимой эффективности “Vicryl Plus” (“Ethicon”, США) по сравнению с традиционными немикробным шовными материалами [27, 28].

Еще одним перспективным направлением является использование наночастиц серебра в качестве покрытия для шовного материала, поскольку они обладают достаточно выраженным антимикробным эффектом и способствуют ускорению регенерации, стимулируют раннее наступление пролиферативной стадии воспаления [29–31]. В работах отмечена эффективность разработанного длительного покрытия для хирургического шва, состоящего из наночастиц серебра и гиперразветвлённого полилизина. Исследования показали, что адгезия *E. coli* и *St. aureus* при применении швов с таким покрытием снижалась более чем на 99,5 %, что свидетельствует о достаточно выраженном антимикробном эффекте. При этом отсутствовал цитотоксический эффект покрытия на фибробласты, что не препятствовало регенераторным способностям организма [32, 33]. В другой работе изучалась комбинация биогенных наночастиц серебра и прополиса, обладающего противовоспалительными и ранозаживляющими свойствами, а также антимикробной активностью в отношении некоторых штаммов микроорганизмов [34–36]. Сочетание прополиса с наночастицами серебра показало выраженную антибактериальную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также обладало хорошим регенераторным эффектом за счёт биосовместимости с культурой клеток фибробластов [37].

В настоящее время проводятся исследования в отношении создания полимерных покрытий с гексагональными доменами, легированными наночастицами серебра с помощью эксимерного лазера на поверхности полиэфирэфиркетона. Антибактериальные тесты таких покрытий показали эффективность в отношении *E. coli* и *St. aureus*, однако выявили умеренное цитотоксическое воздействие в отношении фибробластов лёгких, что указывает на необходимость дальнейшего модифицирования покрытия. В будущем такое комбинированное покрытие можно будет использовать не только в отношении шовного материала, но и в качестве покрытия для мочевых и сосудистых катетеров, медицинского пластика и других объектов, которые помещаются в организм пациента на относительно долгий срок [38–40]. Из исследований последних лет также стоит отметить шовный материал с модификацией цинк-замещённым гидроксипатитом кальция с арговитом (препаратом, содержащим серебро). Этот шовный материал показал высокую антибактериальную активность против *E. coli* и *St. aureus*; дальнейшие исследования на данный момент отсутствуют [41].

Активно ведутся исследования в области шовных материалов с лекарственным покрытием, которое способно постепенно высвобождаться по мере пребывания в ране. Данное покрытие обычно используют для плетёных швов, так как они способны к высокой адгезии бактерий и дальнейшей их концентрации на поверхности материала, что значительно повышает риск инфицирования раневой поверхности, в том числе риск развития ИОХВ [42]. К таким шовным материалам относятся:

- «Капрогент» («Линтекс», Россия) – нерассасывающийся плетёный материал из капроновых (полиамидных) нитей, покрытых гентамицином;

- «Никант» («Волоть», Россия) – нерассасывающийся материал, покрытый антибиотиками доксициклином и гентамицином, которые ингибируют 30S-субъединицы рибосом бактерии [43–45];
- «Тверан» («Волоть», Россия) – комплексный материал, основа которого – поликапроамидное волокно с полимерным покрытием из 2 % высокомолекулярного хитозана, содержащий 4 % ципрофлоксацин и 1 % препарат из группы германийорганических соединений «Астрагерм».

Ципрофлоксацин подавляет бактериальную ДНК-гиразу, нарушая синтез ДНК, рост и деление бактерий, а также вызывает значительные морфологические изменения и быструю гибель бактериальной клетки. Также отмечено, что ускорению данного процесса способствуют хитозан и астрагерм, которые обладают противовоспалительным и ранозаживляющим эффектом [46, 47].

В литературных источниках описаны исследования в области комбинирования шовных материалов «Даклон» («Футберг», Беларусь) и «ПГА полигликолид» («Футберг», Беларусь) с акриловой кислотой путём радиационной прививочной полимеризации и последующим добавлением на их поверхность антибактериальных препаратов, относящихся к группе фторхинолонов (левофлоксацин и ципрофлоксацин). В работе А. С. Князюк и соавт. проводилось сравнение выраженности и продолжительности антибактериального действия монофиламентных полипропиленовых нитей и полифиламентных нитей из полигликолевой кислоты, модифицированных антибиотик-содержащим покрытием. В исследование вошли такие модифицированные шовные материалы, как материалы “Vicryl Plus” (“Ethicon”, США), «Капрогент» («Линтекс», Россия), «Никант» («Волоть», Россия), «Тверан» («Волоть», Россия), а также традиционные нити, широко использующиеся в практической хирургической деятельности. Исследование проводили на экспериментальных микроорганизмах: *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*. Результаты продемонстрировали высокую антимикробную активность у экспериментальных швов по сравнению с немодифицированными волокнами [48]. Такой шовный материал может применяться при операциях на органах и тканях в условиях повышенной бактериальной обсеменённости, особенно при повышении риска вторичного инфицирования раны, а также при различного рода политравмах и в хирургии экстренного профиля с целью профилактики и борьбы с ИОХВ [49, 50]. Также из относительно недавних исследований стоит отметить шовный материал, покрытый 20 % антисептиком мирамистином (бензилдиметил [3-(миристоиламино) пропил] аммоний хлорида моногидрат), показавшим эффективность как в доклинических, так и в клинических исследованиях [51–53].

Перспективным направлением в разработке шовных материалов являются электроспиннинговые волокна с фотодинамической активностью. Данные материалы содержат встроенные фотосенсibilизаторы, которые под воздействием света выделяют активные формы кислорода, обладая направленным антибактериальным эффектом, что подтверждено экспериментальными данными. При этом риск воздействия на клетки и ткани организма остаётся минимальным [54].

Основной проблемой современного БАШМ до сих пор является создание «идеального» шовного материала, который сочетал бы преимущества всех вышеописанных шовных материалов, исключая при этом их недостатки. Существующий в настоящее время «Тверан» («Волоть», Россия), а также сочетания полипропилена и полигликолевой кислоты с фторхинолонами показывают высокую эффективность, однако она может иметь тенденцию к снижению, поскольку частое использование антибактериальных препаратов в качестве биологически активного вещества может приводить к развитию антибиотикорезистентности бактерий. Данный вопрос уже сейчас стоит достаточно остро [55, 56], поскольку как в некоторых регионах, так и в целом по России и миру появляются микробные агенты, устойчивые к фторхинолонам [57, 58] и другим антибиотикам, используемым в составе различных БАШМ [59–61]. На данный момент существует несколько путей преодоления антибиотикорезистентности: комбинирование антибактериальных препаратов, ингибирование мутаций, химиосенсибилизация, иммунизация, бактериофагия, использование антимикробных пептидов, воздействие на плазмиды, влияние на механизмы патогенности, использование нанотехнологий (наночастицы оксида азота (II), серебра, селена) [62–64]. Из недавних исследований стоит отметить шовный материал из производного пиримидина – 2-метил-3-(2-фенил-2-оксоэтил) хиназолин-4(3H)-она, поскольку он продемонстрировал противомикробную активность, сопоставимую с цефтриаксоном, в отношении *Klebsiella pneumoniae* в условиях экспериментальной генерализованной клебсиеллёзной инфекции [65].

Стоит отметить факт наличия способности к гидрофобности некоторых шовных материалов, а также отсутствие у них таких химических функциональных групп, которые необходимы для образования связей с определёнными веществами. Таким образом, существуют затруднения, связанные с ограничением возможности прививания большинства биологически активных веществ на поверх-

ность современных синтетических шовных материалов. Решением данной проблемы могут стать особые гидрогели, которые обладают подходящими свойствами и представляют собой специфические полимеры, а также сополимерные соединения на основе акриламида, акриловой и метакриловой кислот и других производных акрила, способных увеличиваться в объеме при контакте с водой [66]. Из последних разработок можно отметить группу композитных гидрогелей «целлюлоза-полиакриламид» на основе матриц бактериальной и регенерированной растительной целлюлозы, в которые были интегрированы наночастицы оксида церия, продемонстрировавшие высокую антибактериальную активность в отношении различных инфекционных патогенов [67].

Также перспективным подходом является модификация поверхности нити при помощи прививочной полимеризации радиационно-индуцированным методом акриловой кислоты с последующей возможностью фиксации на поверхности шовного материала различных биомолекул (такой способ был применён в описанном ранее эксперименте с шовными материалами «Даклон» («Футберг», Беларусь) и «ПГА полигликолид» («Футберг», Беларусь)) [68].

Немаловажной проблемой является реакция самого организма человека на внедрение шовного материала, что может приводить к развитию асептического воспаления с дальнейшим присоединением бактериальной флоры, а также к ухудшению самочувствия пациента. В данном случае хорошую эффективность демонстрирует шовный материал на основе никелида титана, обладающий противовоспалительными свойствами [69–72].

**Заключение.** В настоящее время основными проблемами применения современного биологически активного шовного материала являются: возможная антибиотикорезистентность микробных агентов к компонентам нитей, которая присутствует у различных штаммов как в отдельных регионах, так и повсеместно; гидрофобность нитей и отсутствие соответствующих функциональных групп для связывания соединений, что ограничивает возможность иммобилизовать другие компоненты на поверхности шовного материала. Следовательно, актуальным направлением является создание «идеального» шовного материала, который сочетал бы в себе преимущества всех созданных ранее биологически активных шовных материалов, а также оказывал минимальное отрицательное влияние как на раневую поверхность, так и на организм в целом. Помимо этого, он должен быть экономически выгодным в производстве и как можно более доступным в экономическом аспекте для практического здравоохранения, что будет способствовать снижению количества случаев развития инфекции области хирургического вмешательства и тяжёлых послеоперационных осложнений, которые непосредственно связаны с инфицированием хирургической раны или развитием чрезмерной воспалительной реакции и острым ответом организма на повреждение тканей.

**Раскрытие информации.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Disclosure of information.** The authors declare that they have no competing interests.

**Вклад авторов.** Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMUE. А. М. Морозов, А. Н. Сергеев: руководство, управление проектом, подготовка первоначального проекта. Э. М. Аскеров: рецензирование и редактирование. А. М. Морозов, В. С. Богочанов: дизайн. Е. И. Нилова, Д. А. Дмитриева: сбор, анализ и интерпретация результатов работы.

**Authors contribution.** The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMUE criteria. A. M. Morozov, A. N. Sergeev: leadership, project management, preparation of the initial project. E. M. Askerov: reviewing and editing. A. M. Morozov, V. S. Bogochanov: design. E. I. Nilova, D. A. Dmitrieva: collection, analysis and interpretation of work results.

**Источник финансирования.** Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

#### Список источников

1. Khil M. S., Cha D. I., Kim H. Y., Kim I. S., Bhattarai N. Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing // *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2003. Vol. 67 (2). P. 675–679. doi: 10.1002/jbm.b.10058.
2. Морозов А. М., Сергеев А. Н., Сергеев Н. А., Рыжова Т. С., Пахомов М. А. Диагностика и профилактика инфекционных осложнений области хирургического вмешательства // *Вестник Ивановской медицинской академии*. 2021 Т. 1. С. 54–58. doi: 10.52246/1606-8157\_2021\_26\_1\_54.
3. Kurtz S. M., Lau E., Watson H., Schmier J. K., Parvizi J. Economic burden of periprosthetic joint infection in the United States // *The Journal of arthroplasty*. 2012. Vol. 27 (8). P. 61–65. e1. doi: 10.1016/j.arth.2012.02.022.

4. Сергеев А. Н., Морозов А. М., Аскеров Э. М., Сергеев Н. А., Армасов А. Р., Исаев Ю. А. Методы локальной антимикробной профилактики инфекции области хирургического вмешательства // Казанский медицинский журнал. 2020. Т. 2. С. 243–248. doi: 10.17816/KMJ2020-243.
5. Edmiston C. E. J., Spencer M., Lewis B. D., Brown K. R., Rossi P. J., Henen C. R., Smith H. D., Seabrook G. R. Reducing the risk of surgical site infections: did we really think that SCIP was going to lead us to the promised land? // *Surgical Infections*. 2011. Vol. 12 (3). P. 169–177. doi: 10.1089/sur.2011.036.
6. Фёдоров П. Г., Аршакян В. А., Гюнтер В. Э., Штофин С. Г., Самарцев В. А. Современные шовные материалы (обзор литературы) // *Acta Biomedica Scientifica*. 2017. Vol. 6. P. 157–162. doi: 10.12737/article\_5a0a8e626adf33.46655939.
7. Ford H. R., Jones P., Gaines B., Reblock K., Simpkins D. L. Intraoperative handling and wound healing: controlled clinical trial comparing coated VICRYL® Plus antibacterial suture (coated polyglactin 910 suture with triclosan) with coated VICRYL® suture (coated polyglactin 910 suture) // *Surgical Infections*. 2005. Vol. 6 (3). P. 313–321. doi: 10.1089/sur.2005.6.313.
8. Labhassetwar V., Bonadio J., Goldstein S., Chen W., Levy R. J. A DNA controlled-release coating for gene transfer: Transfection in skeletal and cardiac muscle // *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 1998. Vol. 87. P. 1347–1350. doi: 10.1021/js980077+.
9. Loh A. Controlled Release of Drugs from Surgical Suture // Massachusetts: Institute of Technology. 1987. P. 9–39. doi: 1721.1/14960.
10. Shibuya T. Y., Wei W.-Z., Zormeier M., Ensley J., Sakr W., Mathog R. H., Meleca R. J., Yoo G., June C. H., Levine B., Lum L. G. Anti-CD3/anti-CD28 monoclonal antibody – coated suture enhances the immune response of patients with head and neck squamous cell carcinoma // *Archives of Otolaryngology – Head and Neck Surgery*. 1999. Vol. 125. P. 1229–1234. doi:10.1001/archotol.125.11.1229.
11. Shibuya T. Y., Kim S., Nguyen K., Parikh P., Wadhwa A., Brockardt C., Do J. Covalent linking of proteins and cytokines to suture: Enhancing the immune response of head and neck cancer patients // *Laryngoscope*. 2003. Vol. 113. P. 1870–1884. doi: 10.1097/00005537-200311000-00004.
12. Lee J. S., Lu Y., Baer G. S., Markel M. D., Murphy W. L. Controllable protein delivery from coated surgical sutures // *Journal of Materials Chemistry*. 2010. Vol. 20. P. 8894–8903. doi: 10.1039/C0JM01389G.
13. Horvathy D. B., Vacz G., Cseleny ak A., Weszl M., Kiss L., Lacza Z. Albumin-coated bioactive suture for cell transplantation // *Surgical Innovation*. 2013. Vol. 20. P. 249–255. doi: 10.1177/1553350612451353.
14. Cummings S. H., Grande D. A., Hee C. K., Kestler H. K., Roden C. M., Shah N. V., Razzano P., Dines D. M., Chahine N. O., Dines J. S. Effect of recombinant human platelet-derived growth factor-BB-coated sutures on Achilles tendon healing in a rat model: A histological and biomechanical study // *Journal of Tissue Engineering*. 2012. Vol. 3. P. 1–9. doi: 10.1177/2041731412453577.
15. Blaker J., Nazhat S., Boccaccini A. Development and characterisation of silver-doped bioactive glass-coated sutures for tissue engineering and wound healing applications // *Biomaterials*. 2004. Vol. 25. P. 1319–1329. doi: 10.1016/j.biomaterials.2003.08.007.
16. Мелешко А. А., Афиногенова А. Г., Афиногенов Г. Е., Спиридонова А. А., Толстой В. П. Антибактериальные неорганические агенты: эффективность использования многокомпонентных систем // *Инфекция и иммунитет*. 2020. Т. 10 (4). С. 639–654. doi: 10.15789/2220-7619-AIA-1512.
17. Довнар Р. И., Васильков А. Ю., Соколова Т. Н., Бутенко И. Е., Смотрин С. М., Иоскевич Н. Н. Антибактериальное действие наночастиц серебра // *Новости хирургии*. 2022. Т. 30 (1)ю С. 38–45. doi: 10.18484/2305-0047.2022.1.38.
18. Кабешев Б. О. Серебро и нанотехнологии при профилактике развития инфекции области хирургического вмешательства // *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности*. 2021. Т. 2 (26). С. 13–21.
19. Rothenburger S., Spangler D., Bhende S., Burkley D. In vitro antimicrobial evaluation of Coated VICRYL\* Plus Antibacterial Suture (coated polyglactin 910 with triclosan) using zone of inhibition assays // *Surgical Infections*. 2002. Vol. 3. P. 79–87. doi: 10.1089/sur.2002.3.s1-79.
20. Шарков С. М., Исханова С. Р. Использование шовного материала с триклозановым покрытием как профилактика инфекций области хирургического вмешательства (обзор литературы). Раны и раневые инфекции // *Журнал имени профессора Б. М. Костюченко*. 2021. Т. 2. С. 28–32. doi: 10.25199/2408-9613-2021-8-2-28-32.
21. Edmiston C. E., Seabrook G. R., Goheen M. P., Krepel C. J., Johnson C. P., Lewis B. D., Brown K. R., Towne J. B. Bacterial adherence to surgical sutures: can antibacterial-coated sutures reduce the risk of microbial contamination // *Journal of The American College of Surgeons*. 2006. Vol. 203 (4). P. 481–489. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2006.06.026.
22. Grau J. M. S., Crespo M. T., Durántez F. D., Chaves C. R., Cartes J. A. M., Pérez F. D. Prevention of surgical infection using reabsorbable antibacterial suture (Vicryl Plus) versus reabsorbable conventional suture in hernioplasty. An experimental study in animals // *Cirugia Espan*. 2007. Vol. 86 (6). P. 324–329. doi: 10.1016/s0009-739x(07)71331-3.
23. Indhumathi M., Kumar S. Application of antibacterial suture materials in oral and maxillofacial surgery // *Drug Invention Today*. 2019. Vol. 12 (1). P. 108–113.

24. Sh M. E., Rahgozar S., Tajmiri G., Alizargar J., Mirsafari S. A. Microbiological Evaluation of the Antibacterial Vicryl Suture in the Mandibular Third Molar Extraction Surgery // *Journal Orofacial Science*. 2022. Vol. 14. P. 120–127. doi: 10.4103/jofs.jofs\_131\_22.
25. Nadafpour N., Montazeri M., Moradi M., Ahmadzadeh S., Etemadi A. Bacterial Colonization on Different Suture Materials Used in Oral Implantology: A Randomized Clinical Trial // *Frontiers in Dental Medicine*. 2021. Vol. 18 (25). P. 1–7. doi: 10.18502/fid.v18i25.6935.
26. Isik I., Selimen D., Senay S., Alhan C. Efficiency of antibacterial suture material in cardiac surgery: A double-blind randomized prospective study // *Heart Surgery Forum*. 2012. Vol. 15. P. 40–45. doi: 10.1532/HSF98.201111106.
27. Nakamura T., Kashimura N., Noji T., Suzuki O., Ambo Y., Nakamura F., Kishida A. Triclosan-coated sutures reduce the incidence of wound infections and the costs after colorectal surgery: A randomized controlled trial // *Surgery*. 2013. Vol. 153. P. 576–583. doi: 10.1016/j.surg.2012.11.018.
28. Zhang Q., Zhang C., Fang X., Luo X., Guo J. Biomaterial suture Vicryl Plus reduces wound-related complications // *Therapeutics and Clinical Risk Management*. 2018. Vol. 14. P. 1417–1421. doi: 10.2147/TCRM.S164658.
29. Кабешев Б. О., Бонцевич Д. Н., Васильков А. Ю., Шевченко Н. И. Антибактериальная активность шовного материала на основе капрона, модифицированного наночастицами серебра // *Здравоохранение (Минск)*. 2012. Т. 5. С. 13–15.
30. Кабешев Б. О., Зиновкин, Д. А., Бонцевич, Д. Н., Надыров, Э. А. Влияние хирургического шовного материала, модифицированного наночастицами серебра, на течение воспалительного раневого процесса in vivo в условиях микробной контаминации // *Проблемы здоровья и экологии*. 2014. Т. 2 (40). С. 109–115. doi: 10.51523/2708-6011.2014-11-2-23.
31. Кабешев Б. О., Бонцевич Д. Н., Васильков А. Ю. Исследование токсического воздействия шовного материала, модифицированного наночастицами серебра // *Проблемы здоровья и экологии*. 2011. Т. 4 (30). С. 151–154. doi: 10.51523/2708-6011.2011-8-4-29.
32. Ho C. H., Odermatt E. K., Berndt I., Tiller J. C. Long-term active antimicrobial coatings for surgical sutures based on silver nanoparticles and hyperbranched polylysine // *Journal of Biomaterial Science, Polymer Edition*. 2013. Vol. 24. P. 1589–1600. doi: 10.1080/09205063.2013.782803.
33. De Simone S., Gallo A., Paladini F., Sannino A., Pollini M. Development of silver nano-coatings on silk sutures as a novel approach against surgical infections // *Journal of Material Science: Materials in Medicine*. 2014. Vol. 25. P. 2205–2214. doi: 10.1007/s10856-014-5262-9.
34. Ramos A. F. N., Miranda J. D. Propolis: a review of its anti-inflammatory and healing actions // *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*. 2007. Vol. 13 (4). P. 697–710. doi: 10.1590/S1678-91992007000400002.
35. do Nascimento T. G., Silva A. D. S., Lessa Constant P. B., da Silva S. A. S., Fidelis de Moura M. A. B., de Almeida C. P., Silva V. D. C., Wanderley A. B., Basílio Júnior I. D., Escodro P. B. Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activities of some commercial extract of propolis // *Journal of Apicultural Research*. 2018. Vol. 57 (2). P. 246–254. doi: 10.1080/00218839.2017.1412563.
36. Airen B., Sarkar P. A., Tomar U., Bishen K. A. Antibacterial effect of propolis derived from tribal region on *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus*: An in vitro study // *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 2018. Vol. 36 (1). P. 48–52. doi: 10.4103/JISPPD.JISPPD\_1128\_17.
37. Baygar T. Characterization of silk sutures coated with propolis and biogenic silver nanoparticles (AgNPs); an eco-friendly solution with wound healing potential against surgical site infections (SSIs) // *Turkish Journal of Medical Sciences*. 2020. Vol. 50 (1). P. 258–266. doi: 10.3906/sag-1906-48.
38. Pryjmaková J., Vokatá B., Šlouf M., Hubáček T., Martínez-García P., Rebollar E., Slepíčka P., Siegel J. Silver-enriched microdomain patterns as advanced bactericidal coatings for polymer-based medical devices // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2024. Vol. 242. P. 114067. doi: 10.1016/j.colsurfb.2024.114067.
39. Sheiko N., Kékicheff P., Marie P., Schmutz M., Jacomine L., Perrin-Schmitt F. PEEK (polyether-etherketone)-coated nitinol wire: Film stability for biocompatibility applications // *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 389. P. 651–665. doi: 10.1016/j.apsusc.2016.07.159.
40. Ma R., Tang T. Current strategies to improve the bioactivity of PEEK // *International Journal of Molecular Sciences*. 2014. Vol. 15 (4). P. 5426–5445. doi: 10.3390/ijms15045426.
41. Злобина О. В., Бугаева И. О., Глухова И. В., Глухова А. В., Пичхидзе С. Я. Экспериментальная модификация и исследование антибактериального хирургического шовного материала // *Сибирское медицинское обозрение*. 2023. Т. 1. С. 51–56. doi: 10.20333/25000136-2023-1-51-56.
42. Chen X., Hou D., Wang L., Zhang Q., Zou J., Sun G. Antibacterial surgical silk sutures using a high-performance slow-release carrier coating system // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2015. Vol. 7. P. 22394–22403. doi: 10.1021/acsami.5b06239.
43. Зырянов С. К., Голуб А. В., Козлов Р. С. Доксисицилин в современной клинической практике // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2020. Т. 2. С. 21–28. doi: 10.36488/смач.2020.1.21-28.

44. Тер-Аветисянц И. А., Мирошниченко П. В., Хатхакумов С. С., Панфилкина Е. В. Влияние гентамицина на факторы резистентности иммунного организма // Евразийский союз ученых. 2016. Т. 3–5 (24). С. 143–146.
45. Скальская Н. Т., Дарвин В. В. Применение шовного материала с антибактериальным покрытием при резекции тонкой и толстой кишки // Вестник СурГУ. Медицина. 2024. Т. 17 (2). С. 8–16. doi: 10.35266/2949-3447-2024-2-1.
46. Антропова Г. А., Оконенко Т.И. Фармацевтическое информирование: фокус на фторхинолоны // Вестник Новгородского государственного университета. 2021. Т. 3 (124). С. 65–72. doi: 10.34680/2076-8052.2021.3(124).65-72.
47. Мохов Е. М., Сергеев А. Н., Кадыков В. А., Аскеров Э. М., Армасов А. Р., Любский И. В., Серов Е. В., Сахаров А. А., Сухов А. Д. Использование нового биологически активного хирургического шовного материала в клинической практике // Современные проблемы науки и образования. 2016. Т. 5. С. 159.
48. Князюк А. С., Бонцевич Д. Н., Шевченко Н. И. Сравнительная характеристика антибактериальной активности нового биологически активного шовного материала // Проблемы здоровья и экологии. 2017. Т. 4. С. 106–110.
49. Князюк А. С., Лызииков А. Н., Зиновкин Д. А., Надыров Э. А., Бонцевич Д. Н. Влияние нового антибактериального шовного материала на течение раневого процесса в эксперименте // Проблемы здоровья и экологии. 2015. Т. 1. С. 48–53. doi: 10.51523/2708-6011.2015-12-1-9.
50. Чубовский А. И. Обзор современных шовных материалов в абдоминальной хирургии // Colloquium-journal. 2020. Vol. 2 (54). P. 109–111. doi: 10.24411/2520-6990-2019-11239.
51. Мосолова А. В., Климова Л. Г., Суковатых Б. С., Затолокина М. А., Семейкин Д. А., Затолокина Е. С. Оценка биоцидной активности нового шовного материала, импрегнированного мирамистином // Вестник ВолГМУ. 2021. Т. 1 (77). С. 31–35. doi: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-31-35.
52. Суковатых Б. С., Назаренко П. М., Мосолова А. В., Пашков В. М. Влияние антисептического покрытия мирамистином на прочность и растяжимость шовного материала // Вестник Национального медико-хирургического центра имени Н. И. Пирогова. 2023. Т. 18 (4). С. 103–105. doi: 10.25881/20728255\_2023\_18\_4\_103.
53. Суковатых Б. С., Мосолова А. В., Затолокина М. А., Дубонос А. А., Жуковский В. А., Анущенко Т. Ю. Экспериментально-клиническое обоснование применения шовного материала, импрегнированного мирамистином, в условиях распространенного перитонита // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2021. Т. 14 (4). С. 252–259. doi: 10.18499/2070-478X-2021-14-4-252-259.
54. Contreras A., Rahworthy M. J., Wood S., Tronci G. Hydrolytic degradability, cell tolerance and on-demand antibacterial effect of electrospun photodynamically active fibres // *Pharmaceutics*. 2020. Vol. 12 (8)/ P. 711. doi: 10.3390/pharmaceutics12080711.
55. Маянский Н. А., Алябьева Н. М., Пономаренко О. А., Куличенко Т. В., Артемова И. В., Лазарева А. В., Бржозовская Е. А., Шамина О. В., Катосова Л. К. Динамика распространенности серотипов и антибиотикорезистентности носоглоточных пневмококков, выделенных у детей в 2010–2016 гг.: результаты ретроспективного когортного исследования // Вопросы современной педиатрии. 2017. Т. 5. С. 413–423. doi: 10.15690/vsp.v16i5.1806.
56. Намазова-Баранова Л. С., Баранов А. А. Антибиотикорезистентность в современном мире // Педиатрическая фармакология. 2017. Т. 5. С. 341–354. doi: 10.15690/pf.v14i5.1782.
57. Subedi D., Vijay A. K., Kohli G. S., Rice S. A., Willcox M. Association between possession of ExoU and antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa* // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13 (9). e0204936. doi: 10.1371/journal.pone.0204936.
58. Ефименко Т. А., Терехова Л. П., Ефременкова О. В. Современное состояние проблемы антибиотикорезистентности патогенных бактерий // Антибиотики и химиотерапия. 2019. Т. 64. С. 5–6. doi: 10.24411/0235-2990-2019-10033.
59. Бочанова Е. Н., Бучко Е. О., Головина Н. И., Копытко Л. Н., Курц Е. М., Орлова К. Э., Сарматова Н. И., Торгунакова М. С. Антибиотикорезистентность *Pseudomonas aeruginosa* в ожоговом и гнойно-септическом центрах Красноярска // Современные проблемы науки и образования. 2019. Т. 2. С. 128.
60. Степин А. В. Структура возбудителей и основные проблемы антибиотикорезистентности при инфекции области хирургического вмешательства в кардиохирургии // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2021. Т. 4. С. 359–366. doi: 10.36488/cmasc.2021.4.359-366.
61. Сергеев В. И., Кудрявцева Л. Г., Пегушина О. Г. Частота выявления и антибиотикорезистентность возбудителей гнойно-септических инфекций у пациентов кардиохирургического стационара // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2022. Т. 1. С. 74–80. doi: 10.31631/2073-3046-2022-21-1-74-80.
62. Маркелова Н. Н., Семёнова Е. Ф. Возможные пути преодоления антибиотикорезистентности нозокомиальных патогенов *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* // Антибиотики и химиотерапия. 2018. Т. 63. С. 11–13.
63. Schairer D. O., Chouake J. S., Nosanchuk J. D., Friedman A. J. The potential of nitric oxide releasing therapies as antimicrobial agents // *Virulence*. 2012. Vol. 3 (3). P. 271–279. doi: doi.org/10.4161/viru.20328.
64. Chaudhary S., Mehta S. K. Selenium nanomaterials: applications in electronics, catalysis and sensors // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2014. Vol. 14 (2). P. 1658–1674. doi: 10.1166/jnn.2014.9128.

65. Цибизова А. А., Ясенявская А. Л., Тюренок И. Н., Озеров А. А., Самотруева М. А. Оценка противомикробной активности пиримидинового соединения 2-метил-3-(2-фенил-2-оксоэтил) хиназолин-4(3H)-он в отношении *Klebsiella pneumoniae* в условиях *in vivo* // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2023. Т. 38 (1). С. 175–180. doi: 10.29001/2073-8552-2023-38-1-175-180.
66. Григорьева М. В. Полимерные системы с контролируемым высвобождением биологически активных соединений // Биотехнология. 2011. Т. 2. С. 9–23.
67. Gofman I. V., Buyanov A. L., Bozhkova S. A., Gordina E. M., Khripunov A. K., Ivan'kova E. M., Vlasova E. N., Yakimansky A. V., Baranchikov A. E., Ivanov V. K. New cellulose-polyacrylamide hydrogels containing nano-cerium oxide as new promising nanocomposite materials for biomedical applications // *Cellulose*. 2024. Vol. 31 (12). P. 7661–7683. doi: 10.1007/s10570-024-06088-0.
68. Князюк А. С., Бонцевич Д. Н., Поликарпов А. П., Пригожаева Л. М., Шевченко Н. И. Физические свойства нового антибактериального хирургического шовного материала // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2015. Т. 1. С. 94–97.
69. Стеблюк А. Н., Колесникова Н. В., Гюнтер В. Э., Церковная А. А., Гюнтер С. В., Кокорев О. В., Анিকেев С. Г. Уровень локальной продукции цитокинов в условиях использования шовного материала из никелида титана при гипотензивных операциях в эксперименте // Кубанский научный медицинский вестник. 2016. Т. 3. С. 121–125.
70. Аршакян В. А., Гюнтер В. Э., Штофин С. Г., Фёдоров П. Г., Самарцев В. А., Морозов Д. В. Пути совершенствования шовного материала в хирургии // *Acta Biomedica Scientifica*. 2017. Vol. 2, no. 6 (118). P. 193–197. doi: 10.12737/article\_5a0a910977eca1.04637486.
71. Бондарев А. Б. Нитинол-никелид титана-сплавы с памятью формы: свойства, производство, применение // Научный аспект. 2019. Т. 3 (3). С. 351–361.
72. Медведев Ю. А., Шестакова Л. А., Усатов Д. А. Применение волокнистого никелида титана для заполнения остаточных костных полостей // Голова и шея. 2018. Т. 1. С. 15–17. doi: 10.25792/HN.2018.6.1.15–17.

### References

1. Khil M. S., Cha D. I., Kim H. Y., Kim I. S., Bhattarai N. Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2003; 67 (2): 675–679. doi: 10.1002/jbm.b.10058.
2. Morozov A.M., Sergeev A. N., Sergeev N. A., Ryzhova T. S., Pakhomov M. A. Diagnosis and prevention of infectious complications of surgical intervention. *Vestnik Ivanovskoy meditsinskoy akademii = Bulletin of the Ivanovo Medical Academy*. 2021; 1: 54–58. doi: 10.52246/1606-8157\_2021\_26\_1\_54 (in Russ.).
3. Kurtz S. M., Lau E., Watson H., Schmier J. K., Parvizi J. Economic burden of periprosthetic joint infection in the United States. *The Journal of arthroplasty*. 2012; 27 (8): 61–65.e1. doi: 10.1016/j.arth.2012.02.022.
4. Sergeev A. N., Morozov A. M., Askerov E. M., Sergeev N. A., Armasov A. R., Isaev Yu. A. Methods of local antimicrobial prevention of infection in the surgical intervention area. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal = Kazan Medical Journal*. 2020; 2: 243–248. doi: 10.17816/KMJ2020-243 (in Russ.).
5. Edmiston C. E. J., Spencer M., Lewis B. D., Brown K. R., Rossi P. J., Henen C. R., Smith H. D., Seabrook G. R.. Reducing the risk of surgical site infections: did we really think that SCIP was going to lead us to the promised land? *Surgical Infections*. 2011; 12 (3): 169–177. doi: 10.1089/sur.2011.036.
6. Fedorov P. G., Arshakyan V. A., Gunter V. E., Shtofin S. G., Samartsev V. A. Modern suture materials (literature review). *Acta biomedica scientifica*. 2017; 6: 157–162. doi: 10.12737/article\_5a0a8e626adf33.46655939 (in Russ.).
7. Ford H. R., Jones P., Gaines B., Reblock K., Simpkins D. L. Intraoperative handling and wound healing: controlled clinical trial comparing coated VICRYL® Plus antibacterial suture (coated polyglactin 910 suture with triclosan) with coated VICRYL® suture (coated polyglactin 910 suture). *Surgical infections*. 2005; 6 (3): 313–321. doi: 10.1089/sur.2005.6.313.
8. Labhasetwar V., Bonadio J., Goldstein S., Chen W., Levy R. J. A DNA controlled-release coating for gene transfer: Transfection in skeletal and cardiac muscle. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 1998; 87: 1347–1350. doi: 10.1021/js980077+.
9. Loh A. Controlled Release of Drugs from Surgical Suture. Massachusetts: Institute of Technology. 1987; 9–39. doi: 1721.1/14960.
10. Shibuya T. Y., Wei W.-Z., Zormeier M., Ensley J., Sakr W., Mathog R. H., Meleca R. J., Yoo G., June C. H., Levine B., Lum L. G. Anti-CD3/anti-CD28 monoclonal antibody-coated suture enhances the immune response of patients with head and neck squamous cell carcinoma. *Archives of Otolaryngology – Head and Neck Surgery*. 1999; 125: 1229–1234. doi:10.1001/archotol.125.11.1229.
11. Shibuya T. Y., Kim S., Nguyen K., Parikh P., Wadhwa A., Brockardt C., Do J. Covalent linking of proteins and cytokines to suture: Enhancing the immune response of head and neck cancer patients. *Laryngoscope*. 2003; 113: 1870–1884. doi: 10.1097/00005537-200311000-00004.
12. Lee J. S., Lu Y., Baer G. S., Markel M. D., Murphy W. L. Controllable protein delivery from coated surgical sutures. *Journal of Materials Chemistry*. 2010; 20: 8894–8903. doi: 10.1039/C0JM01389G.

13. Horvathy D. B., Vacz G., Cseleny ak A., Weszl M., Kiss L., Lacza Z. Albumin-coated bioactive suture for cell transplantation. *Surgical Innovation*. 2013; 20: 249–255. doi: 10.1177/1553350612451353.
14. Cummings S. H., Grande D. A., Hee C. K., Kestler H. K., Roden C. M., Shah N. V., Razzano P., Dines D. M., Chahine N. O., Dines J. S. Effect of recombinant human platelet-derived growth factor-BB-coated sutures on Achilles tendon healing in a rat model: A histological and biomechanical study. *Journal of Tissue Engineering*. 2012; 3: 1–9. doi: 10.1177/2041731412453577.
15. Blaker J., Nazhat S., Boccaccini A. Development and characterisation of silver-doped bioactive glass-coated sutures for tissue engineering and wound healing applications. *Biomaterials*. 2004; 25: 1319–1329. doi: 10.1016/j.biomaterials.2003.08.007.
16. Meleshko A. A., Afinogenova A. G., Afinogenov G. E., Spiridonova A. A., Tolstoy V. P. Antibacterial inorganic agents: efficiency of using multicomponent systems. *Infektsiya i immunitet = Russian Journal of Infection and Immunity*. 2020; 10 (4): 639–654. doi: 10.15789/2220-7619-AIA-1512 (in Russ.).
17. Dovnar R. I., Vasilkov A. Yu., Sakalova T. M., Butenko I. E., Smotryn S. M., Iaskevich N. N. Antibacterial Action of Silver Nanoparticles. *Novosti khirurgii = Surgery News*. 2022; 30 (1): 38–45. doi: 10.18484/2305-0047.2022.1.38 (in Russ.).
18. Kabeshev B. O. Silver and nanotechnologies in modification of suture material for prevention of surgical site infection. *Mediko-biologicheskiye problemy zhiznedejatelnosti = Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2021; 2 (26): 13–21 (in Russ.).
19. Rothenburger S., Spangler D., Bhende S., Burkley D. In vitro antimicrobial evaluation of Coated VICRYL\* Plus Antibacterial Suture (coated polyglactin 910 with triclosan) using zone of inhibition assays. *Surgical Infections*. 2002; 3: 79–87. doi: 10.1089/sur.2002.3.s1-79.
20. Sharkov S. M., Iskhanova S. R. The use of suture material with triclosan coating as prevention of infections in the surgical intervention area (literature review). *Rany i ranevye infektsii. Zhurnal imeni professora B. M. Kostyuchenka = Wounds and wound infections. Journal named after prof. B. M. Kostyuchenka*. 2021; 2: 28–32. doi: 10.25199/2408-9613-2021-8-2-28-32 (in Russ.).
21. Edmiston C. E., Seabrook G. R., Goheen M. P., Krepel C. J., Johnson C. P., Lewis B. D., Brown K. R., Towne J. B. Bacterial adherence to surgical sutures: can antibacterial-coated sutures reduce the risk of microbial contamination. *Journal of The American College of Surgeons*. 2006; 203 (4): 481–489. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2006.06.026.
22. Grau J. M. S., Crespo M. T., Durántez F. D., Chaves C. R., Cartes J. A. M., Pérez F. D. Prevention of surgical infection using reabsorbable antibacterial suture (Vicryl Plus) versus reabsorbable conventional suture in hernioplasty. An experimental study in animals. *Cirugia Espan*. 2007; 86 (6): 324–329. doi: 10.1016/s0009-739x(07)71331-3.
23. Indhumathi M., Kumar S. Application of antibacterial suture materials in oral and maxillofacial surgery. *Drug Invention Today*. 2019; 12 (1): 108–113.
24. Sh M. E., Rahgozar S., Tajmiri G., Alizargar J., Mirsatari S. A. Microbiological Evaluation of the Antibacterial Vicryl Suture in the Mandibular Third Molar Extraction Surgery. *Journal Orofacial Science*. 2022; 14: 120–127. doi: 10.4103/jofs.jofs\_131\_22.
25. Nadafpour N., Montazeri M., Moradi M., Ahmadzadeh S., Etemadi A. Bacterial Colonization on Different Suture Materials Used in Oral Implantology: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Dental Medicine*. 2021; 18 (25): 1–7. doi: 10.18502/fid.v18i25.6935.
26. Isik I., Selimen D., Senay S., Alhan C. Efficiency of antibacterial suture material in cardiac surgery: A double-blind randomized prospective study. *Heart Surgery Forum*. 2012; 15: 40–45. doi: 10.1532/HSF98.20111106.
27. Nakamura T., Kashimura N., Noji T., Suzuki O., Ambo Y., Nakamura F., Kishida A. Triclosan-coated sutures reduce the incidence of wound infections and the costs after colorectal surgery: A randomized controlled trial. *Surgery*. 2013; 153: 576–583. doi: 10.1016/j.surg.2012.11.018.
28. Zhang Q., Zhang C., Fang X., Luo X., Guo J. Biomaterial suture Vicryl Plus reduces wound-related complications. *Therapeutics and Clinical Risk Management*. 2018; 14: 1417–1421. doi: 10.2147/TCRM.S164658.
29. Kabeshev B. O., Bontsevich D. N., Vasilkov A. Yu., Shevchenko N. I. Antimicrobial activity of polyamide based suture material modified by silver nanoparticles. *Zdravoozhanenie (Minsk) = Healthcare (Minsk)*. 2012; 5: 13–15 (In Russ.).
30. Kabeshev B. O., Zinovkin D. A., Bontsevich D. N., Nadyrov E. A. The effect of surgical suture material modified with silver nano-particles on the course of inflammatory wound process in vivo in microbial contamination. *Problemy zdorovya i ekologii = Health and Ecology Issues*. 2014; 2 (40): 109–115. doi: 10.51523/2708-6011.2014-11-2-23 (in Russ.).
31. Kabeshev B. O., Bontsevich D. N., Vasilkov A. Yu. Study of toxic effect on suture material modified by silver nanoparticles. *Problemy zdorovya i ekologii = Health and Ecology Issues*. 2011; 4 (30): 151–154. doi: 10.51523/2708-6011.2011-8-4-29 (in Russ.).
32. Ho C. H., Odermatt E. K., Berndt I., Tiller J. C. Long-term active antimicrobial coatings for surgical sutures based on silver nanoparticles and hyperbranched polylysine. *Journal of Biomaterial Science, Polymer Edition*. 2013; 24: 1589–1600. doi: 10.1080/09205063.2013.782803.
33. De Simone S., Gallo A., Paladini F., Sannino A., Pollini M. Development of silver nano-coatings on silk sutures as a novel approach against surgical infections. *Journal of Material Science: Materials in Medicine*. 2014; 25: 2205–2214. doi: 10.1007/s10856-014-5262-9.

34. Ramos A. F. N., Miranda J. D. Propolis: a review of its anti-inflammatory and healing actions. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*. 2007; 13 (4): 697–710. doi: 10.1590/S1678-91992007000400002.
35. do Nascimento T. G., Silva A. D. S., Lessa Constant P. B., da Silva S. A. S., Fidelis de Moura M. A. B., Almeida C. P. de, Silva V. D. C., Wanderley A. B., Basílio Júnior I. D., Escodro P. B. Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activities of some commercial extract of propolis. *Journal of Apicultural Research*. 2018; 57 (2): 246–254. doi: 10.1080/00218839.2017.1412563.
36. Airen B., Sarkar P. A., Tomar U., Bishen K. A. Antibacterial effect of propolis derived from tribal region on *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus acidophilus*: An in vitro study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 2018; 36 (1): 48–52. doi: 10.4103/JISPPD.JISPPD\_1128\_17.
37. Baygar T. Characterization of silk sutures coated with propolis and biogenic silver nanoparticles (AgNPs); an eco-friendly solution with wound healing potential against surgical site infections (SSIs). *Turkish Journal of Medical Sciences*. 2020; 50 (1): 258–266. doi: 10.3906/sag-1906-48.
38. Pryjmaková J., Vokatá B., Šlouf M., Hubáček T., Martínez-García P., Rebollar E., Slepíčka P., Siegel J. Silver-enriched microdomain patterns as advanced bactericidal coatings for polymer-based medical devices. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2024; 242: 114067. doi: 10.1016/j.colsurfb.2024.114067.
39. Sheiko N., Kékicheff P., Marie P., Schmutz M., Jacomine L., Perrin-Schmitt F. PEEK (polyether-ether-ketone)-coated nitinol wire: Film stability for biocompatibility applications. *Applied Surface Science*. 2016; 389: 651–665. doi: 10.1016/j.apsusc.2016.07.159.
40. Ma R., Tang T. Current strategies to improve the bioactivity of PEEK. *International Journal of Molecular Sciences*. 2014; 15 (4): 5426–5445. doi: 10.3390/ijms15045426.
41. Zlobina O. V., Bugaeva I. O., Glukhova I. V., Glukhova A. V., Pichkhidze S. Ya. Experimental modification and investigation of antibacterial surgical suture material. *Sibirskoe medicinskoe obozrenie = Siberian Medical Review*. 2023; 1: 51–56. doi: 10.20333/25000136-2023-1-51-56 (in Russ.).
42. Chen X., Hou D., Wang L., Zhang Q., Zou J., Sun G. Antibacterial surgical silk sutures using a high-performance slow-release carrier coating system. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2015; 7: 22394–22403. doi: 10.1021/acsami.5b06239.
43. Zyryanov S. K., Golub A.V., Kozlov R. S. Doxycycline in modern clinical practice. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya = Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy*. 2020; 2: 21–28. doi: 10.36488/cmacc.2020.1.21-28 (in Russ.).
44. Ter-Avetisyants I. A., Miroshnichenko P. V., Khathakumov S. S., Panfilkina E. V. The effect of gentamicin on immune body resistance factors. *Evraziyskiy soyuz uchenykh = Eurasian Union of Scientists*. 2016; 3–5 (24): 143–146 (In Russ.).
45. Skalskaya N. T., Darvin V. V. Suture material with antibacterial coating in small and large intestine resection. *Vestnik SurGU. Meditsina = Bulletin of Surgut University. Medicine*. 2024; 17 (2): 8–16. doi: 10.35266/2949-3447-2024-2-1 (in Russ.).
46. Antropova G. A., Okonenko T.I. Pharmaceutical information: focus on fluoroquinolones. *Vestnik novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Novgorod State University*. 2021; 3 (124): 65–72. doi: 10.34680/2076-8052.2021.3(124).65-72 (in Russ.).
47. Mokhov E.M., Sergeev A.N., Kadykov V.A., Askerov E.M., Armasov A.R., Lyubsky I.V., Serov E. V., Saharov A. A., Suhov A. D. The use of a new biologically active surgical suture material in clinical practice. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2016; 5: 159 (in Russ.).
48. Knyazyuk A. S., Bontsevich D. N., Shevchenko N. I. Comparative characteristics of antibacterial activity of a new biologically active suture material. *Problemy zdorovya i ekologii = Problems of health and ecology*. 2017; 4: 106–110 (in Russ.).
49. Kniazuk A.S., Lyzikov A.N., Zinovkin D.A., Nadyrov E.A., Bontsevich D.N. The influence of new antibacterial sutural material on the traumatic process in experiment. *Problemy zdorovya i ekologii = Health and Ecology Issues*. 2015; 1: 48–53. doi: 10.51523/2708-6011.2015-12-1-9 (in Russ.).
50. Chubovskiy A. I. Review of modern suture materials in abdominal surgery. *Colloquium-journal*. 2020; 2 (54): 109–111. doi: 10.24411/2520-6990-2019-11239 (in Russ.).
51. Mosolova A. V., Klimova L. G., Sukovatykh B. S., Zatulokina M. A., Semykin D. A., Zatulokina E. S. Evaluation of the biocidal activity of a new suture material impregnated with miramistin. *Vestnik VolIGMU = Journal of Volgograd State Medical University*. 2021; 1 (77): 31–35. doi: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-31-35 (in Russ.).
52. Sukovatykh B. S., Nazarenko P. M., Mosolova A. V., Pashkov V. M. The effect of the antiseptic coating with miramistin on the strength and extensibility of the suture material. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra imeni N. I. Pirogova = Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2023; 18 (4): 103–105. doi: 10.25881/20728255\_2023\_18\_4\_103 (in Russ.).
53. Sukovatykh B. S., Mosolova A. V., Zatulokina M. A., Dubonos A. A., Zhukovsky V. A., Anushchenko T. Yu. Application of Suture Material Impregnated with Miramistin in Diffuse Peritonitis: Experimental-Clinical Justification. *Vestnik eksperimentalnoy i klinicheskoy khirurgii = Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2021; 14 (4): 252–259. doi: 10.18499/2070-478X-2021-14-4-252-259 (in Russ.).

54. Contreras A., Raxworthy M. J., Wood S., Tronci G. Hydrolytic degradability, cell tolerance and on-demand antibacterial effect of electrospun photodynamically active fibres. *Pharmaceutics*. 2020; 12 (8): 711. doi: 10.3390/pharmaceutics12080711.
55. Mayansky N. A., Alyabyeva N. M., Ponomarenko O. A., Kulichenko T. V., Artemova I. V., Lazareva A.V., Brzhozovskaja E. A., Shamina O. V., Katosova L. K. Dynamics of the prevalence of serotypes and antibiotic resistance of nasopharyngeal pneumococci isolated in children in 2010-2016: results of a retrospective cohort study. *Voprosy sovremennoy pediatrii = Issues of Modern Pediatrics*. 2017; 5: 413–423. doi: 10.15690/vsp.v16i5.1806 (in Russ.).
56. Namazova-Baranova L. S., Baranov A. A. Antibiotic resistance in the modern world. *Pediatricheskaya farmakologiya = Pediatric Pharmacology*. 2017; 5: 341–354. doi: 10.15690/pf.v14i5.1782 (in Russ.).
57. Subedi D., Vijay A. K., Kohli G. S., Rice S. A., Willcox M. Association between possession of ExoU and antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *PLoS ONE*. 2018; 13 (9): e0204936. doi: 10.1371/journal.pone.0204936.
58. Efimenko T. A., Terekhova L. P., Efremenkova O. V. The current state of the problem of antibiotic resistance of pathogenic bacteria. *Antibiotiki i khimioterapiya = Antibiotics and Chemotherapy*. 2019; 64: 5–6. doi: 10.24411/0235-2990-2019-10033 (in Russ.).
59. Bochanova E. N., Buchko E. O., Golovina N. I., Kopytko L.N., Kurts E.M., Orlova K.E., Sarmatova N. I., Torgunakova M. S. Antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* in burn and purulent-septic centers of Krasnoyarsk. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2019; 2: 128 (in Russ.).
60. Stepin A. V. The structure of pathogens and the main problems of antibiotic resistance in infection of the surgical intervention area in cardiac surgery. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya = Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*. 2021; 4: 359–366. doi: 10.36488/cmacc.2021.4.359-366 (in Russ.).
61. Sergevnin V. I., Kudryavtseva L. G., Pegushina O. G. The frequency of detection and antibiotic resistance of pathogens of purulent-septic infections in patients of a cardiac hospital. *Epidemiologiya i vaksinoprofilaktika = Epidemiology and Vaccination Prevention*. 2022; 1: 74–80. doi: 10.31631/2073-3046-2022-21-1-74-80 (in Russ.).
62. Markelova N. N., Semenova E. F. Possible ways to overcome antibiotic resistance of nosocomial pathogens *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*. *Antibiotiki i khimioterapiya = Antibiotics and Chemotherapy*. 2018; 63: 11–13 (in Russ.).
63. Schairer D. O., Chouake J. S., Nosanchuk J. D., Friedman A. J. The potential of nitric oxide releasing therapies as antimicrobial agents. *Virulence*. 2012; 3 (3): 271–279. doi: doi.org/10.4161/viru.20328.
64. Chaudhary S., Mehta S. K. Selenium nanomaterials: applications in electronics, catalysis and sensors. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2014; 14 (2): 1658–1674. doi: 10.1166/jnn.2014.9128.
65. Tsibizova A. A., Yasenyavskaya A. L., Tyurenkov I. N., Ozerov A. A., Samotrujeva M. A. Evaluation of the antimicrobial activity of a pyrimidine compound 2-methyl-3-(2-phenyl-2-oxoethyl)-quinazolin-4(3H)-on against *Klebsiella pneumoniae* under in vivo conditions. *Sibirskiy zhurnal klinicheskoy i eksperimentalnoy meditsiny = The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2023; 38 (1): 175–180. doi: 10.29001/2073-8552-2023-38-1-175-180 (in Russ.).
66. Grigorieva M. V. Polymer systems with controlled release of biologically active compounds. *Biotekhnologiya = Biotechnology*. 2011; 2: 9–23 (in Russ.).
67. Gofman I. V., Buyanov A. L., Bozhkova S. A., Gordina E. M., Khripunov A. K., Ivan'kova E. M., Vlasova E. N., Yakimansky A. V., Baranchikov A. E., Ivanov V. K. New cellulose-polyacrylamide hydrogels containing nano-cerium oxide as new promising nanocomposite materials for biomedical applications. *Cellulose*. 2024; 31 (12): 7661–7683. doi: 10.1007/s10570-024-06088-0.
68. Knyazyuk A. S., Bontsevich D. N., Polikarpov A. P., Prigozhaeva L. M., Shevchenko N. I. Physical properties of a new antibacterial surgical suture material. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta = Journal of Grodno State Medical University*. 2015; 1: 94–97 (in Russ.).
69. Steblyuk A. N., Kolesnikova N. V., Gunter V. E., Tserkovnaya A. A., Gunter S. V., Kokorev O. V., Anikeev S. G. Level of local cytokine production in the event of nickelid titanium suture material use in experimental surgical hypotension eye operation. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik = Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2016; 3: 121–125 (in Russ.).
70. Arshakyan V.A., Gyunter V.E., Shtofin S.G., Fedorov P.G., Samartsev V.A., Morozov D.V. Ways of improvement of surgical sutural material. *Acta Biomedica Scientifica*. 2017; 2, 6 (118): 193–197. doi: 10.12737/article\_5a0a910977eca1.04637486 (in Russ.).
71. Bondarev A. B. Nitinol – titanium nickelide – shape memory alloys: properties, production, application. *Nauchnyy aspekt = The Scientific Aspect*. 2019; 3 (3): 351–361 (in Russ.).
72. Medvedev Yu. A., Shestakova L. A., Usatov D. A. Application of fiber titanium nickelide for residual bone cavities filling. *Golova i sheya = Head and Neck*. 2018; 1: 15–17. doi: 10.25792/HN.2018.6.1.15–17 (in Russ.).

#### Информация об авторах

**А. М. Морозов**, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общей хирургии, Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0003-4213-5379, e-mail: ammorozovv@gmail.com;

**А. Н. Сергеев**, доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой общей хирургии, Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0002-9657-8063, e-mail: ammorozovv@gmail.com;

**Э. М. Аскеров**, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общей хирургии, Тверской государственной медицинской университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0002-2567-6088, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**В. С. Богочанов**, студент, Тверской государственной медицинской университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0002-2989-8753, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**Е. И. Нилова**, студент, Тверской государственной медицинской университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0002-6056-5033, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**Д. А. Дмитриева**, студент, Тверской государственной медицинской университет, Тверь, Россия, ORCID: 0000-0003-3176-7389, e-mail: ammorofov@gmail.com.

#### **Information about the authors**

**A. M. Morozov**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0003-4213-5379, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**A. N. Sergeev**, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0002-9657-8063, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**E. M. Askerov**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0002-2567-6088, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**V. S. Bogochanov**, student, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0002-2989-8753, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**E. I. Nilova**, student, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0002-6056-5033, e-mail: ammorofov@gmail.com;

**D. A. Dmitrieva**, student, Tver State Medical University, Tver, Russia, ORCID: 0000-0003-3176-7389, e-mail: ammorofov@gmail.com.

---

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; одобрена после рецензирования 18.08.2025; принята к публикации 06.10.2025.

The article was submitted 29.01.2025; approved after reviewing 18.08.2025; accepted for publication 06.10.2025.