

УДК 617.55-007.43-77-06:[616-022:579.262]

<https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-02>

Бактериальная биопленка как фактор риска инфекционных осложнений при применении полипропиленовых эндопротезов в хирургии грыж передней брюшной стенки

Е. Л. Артюшков¹, А. А. Лызигов², М. Л. Каплан¹, Е. Ю. Дорошко¹, Б. Б. Осипов¹

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

²Университетская клиника Джеймса Кука, г. Милдсбро, Великобритания

Резюме

Цель исследования. Проанализировать данные о синтетических протезах, применяемых в герниологии, особенности реакции организма на их имплантацию, возможные инфекционные осложнения и провести поиск путей решения выявленных проблем.

Материалы и методы. Проведен анализ публикаций в системах PubMed, Web of Science, Elibrary и КиберЛенинка, описывающих применение синтетических протезов для герниопластики и характер осложнений в послеоперационном периоде. Были использованы поисковые термины: «синтетические протезы», «ненатяжная герниопластика», «бактериальная биопленка», «инфекционные осложнения герниопластики». Всего было отобрано 38 оригинальных публикаций.

Результаты. Изучены материалы, применяемые для ненатяжной герниопластики и их физико–механические свойства. Изучено понятие о бактериальной биопленке как одной из причин поддержания инфекционных осложнений на сетчатом эндопротезе.

Заключение. В настоящее время применение синтетических протезов при операциях на грыжах передней брюшной стенки является «золотым стандартом». Материалом выбора для изготовления эндопротеза является полипропилен. Эластичность полипропиленовой сетки близка к физиологической эластичности передней брюшной стенки. Полипропиленовая сетка состоит из монофиламентных нитей, которые не обладают капиллярностью и фитильностью. В ответ на имплантацию сетка из полипропилена вызывает слабую воспалительную реакцию мягких тканей. В то же время применение полипропиленовых сеток при герниопластике у коморбидных пациентов, пациентов с ущемленными грыжами может привести к послеоперационным инфекционным осложнениям, что связано с образованием биопленки на поверхности эндопротеза. Актуальным является разработка полимерного покрытия на сетчатый полипропиленовый протез с пролонгированным выделением антибиотика для задержки колонизации бактерий и образования бактериальной биопленки в условиях бактериальной контаминации операционного поля.

Ключевые слова: *ненатяжная герниопластика, полипропиленовый сетчатый протез, бактериальная биопленка, инфекционные осложнения*

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочитали и одобрили финальную версию для публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, № гос. регистрации 20241509 от 15.07.2024.

Для цитирования: Артюшков ЕЛ, Лызигов АА, Каплан МЛ, Дорошко ЕЮ, Осипов ББ. Бактериальная биопленка как фактор риска инфекционных осложнений при применении полипропиленовых эндопротезов в хирургии грыж передней брюшной стенки. Проблемы здоровья и экологии. 2025;22(1):15–22. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-02>

Bacterial biofilm as a risk factor for infectious complications in the use of polypropylene endoprostheses in surgery of anterior wall hernias

Evgeniy L. Artyushkov¹, Aleksey A. Lyzиков², Mark L. Kaplan¹,
Yauheni Y. Doroshko¹, Boris B. Osipov¹

¹Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

²James Cook University Hospital, Middlesbrough, Great Britain

Abstract

Objective. To analyze data on synthetic prostheses used in herniology, features of the body's reaction to their implantation, possible infectious complications, and to search for ways to solve identified problems.

Materials and methods. An analysis of publications in the PubMed, Web of Science, Elibrary and CyberLeninka systems was carried out, describing the use of synthetic prostheses for hernioplasty and the nature of complications in the postoperative period. The following search terms were used: "synthetic prostheses", "tension-free hernioplasty", "bacterial biofilm", "infectious complications of hernioplasty". A total of 38 original publications were selected.

Results. The materials used for tension-free hernioplasty and their physical and mechanical properties were studied. The concept of bacterial biofilm was studied as one of the reasons for maintaining infectious complications on mesh endoprosthesis.

Conclusion. Currently, the use of synthetic prostheses in operations on hernias of the anterior abdominal wall is the "gold standard". The material of choice for the manufacture of endoprostheses is polypropylene. The elasticity of the polypropylene mesh is close to the physiological elasticity of the anterior abdominal wall. The polypropylene mesh consists of monofilament threads that do not have capillarity and wicking. In response to implantation, the polypropylene mesh causes a weak inflammatory reaction of soft tissues. At the same time, the use of polypropylene meshes in hernioplasty in comorbid patients, patients with strangulated hernias can lead to postoperative infectious complications, which is associated with the formation of a biofilm on the surface of the endoprosthesis. The development of a polymer coating for a mesh polypropylene prosthesis with prolonged release of antibiotics to delay bacterial colonization and the formation of a bacterial biofilm in conditions of bacterial contamination of the surgical field is relevant.

Keywords: *tension-free hernioplasty, polypropylene mesh prosthesis, bacterial biofilm, infectious complications*

Author contributions. All authors made significant contributions to the search and analytical work and preparation of the article, read and approved the final version for publication.

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

Funding. The work was carried out with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Basic Research, State Registration No. 20241509 dated 07.15.2024.

For citation: Artyushkov EL, Lyzиков AA, Kaplan ML, Doroshko YaY, Osipov BB. Bacterial biofilm as a risk factor for infectious complications in the use of polypropylene endoprostheses in surgery of anterior wall hernias. *Health and Ecology Issues*. 2025;22(1):15–22. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-02>

Введение

В настоящее время около 25 % от всех оперативных вмешательств в мире — это операции, которые проводятся по поводу грыж передней брюшной стенки [1]. После грыжесечения с пластикой местными тканями выявлялась высокая частота рецидивов, которая достигала 60 % [2, 3]. Далее было развитие ненатяжных пластик, которые требовали применения пластических материалов. Это привело к внедрению в практику синтетических материалов, которые в последние годы являются стандартом при герниопластике [4].

Цель исследования

Проанализировать данные о синтетических протезах, применяемых в герниологии, особенности реакции организма на их имплантацию, возможные инфекционные осложнения и прове-

сти поиск путей решения выявленных проблем.

Материалы и методы

Проведен анализ публикаций в системах PubMed, Web of Science и Elibrary, описывающих применение синтетических протезов для герниопластики и характер осложнений в послеоперационном периоде. Были использованы поисковые термины: «синтетические протезы», «ненатяжная герниопластика», «бактериальная биопленка», «инфекционные осложнения герниопластики». Всего было отобрано 38 оригинальных публикаций.

Результаты и обсуждение

История развития сетчатых полипропиленовых эндопротезов

В середине XX в. были сформулированы 8 критериев идеального материала для имплан-

тации. Протез не должен физически размягчаться тканевыми жидкостями, должен быть химически инертным, не должен вызывать воспаления или отторжения, не должен обладать канцерогенными свойствами, не должен вызывать аллергию или сенсibilизацию, должен обладать механической прочностью, должен быть пригоден для фабричного изготовления, должен быть пригоден для стерилизации. Сетчатый полипропиленовый протез отвечает всем этим критериям [5].

Первая научная публикация, в которой упоминалось применение полипропиленовой сетки при операции на передней брюшной стенке, опубликована F.C. Usher в 1958 г. Спустя 30 лет ненатяжная герниопластика при пластике паховых грыж получила название «пластика по Лихтенштейну» [5]. Первая полипропиленовая сетка была тяжелая и микропористая. В послеоперационном периоде наблюдались хронические боли и серомы области хирургического вмешательства. В связи с интенсивными фиброзными реакциями продолжались поиски «идеальной» сетки. В 1998 г. компанией ETHICON была представлена легкая сетка Vupro, которая имела более крупные поры и меньшую площадь поверхности, что способствовало менее выраженной реакции на инородное тело [6]. Использование сетчатых имплантов для лечения пациентов с грыжами передней брюшной стенки, в том числе с ущемленными грыжами, способствовало значительному уменьшению частоты рецидивов — с 60–40 % до 10 %, что обеспечивало хорошие показатели качества жизни [7, 8].

Характеристика клинически значимых физико-механических свойств

В 1997 г. P. K. Amid определил пористость сетки как решающий фактор риска инфекции [9]. Бактериальные колонии формируются преимущественно в промежутках между порами и волокнами. На основе размера пор сетчатых протезов впервые была создана и опубликована классификация протезов, которая включала 4 типа протезов:

- I тип — это макропористые сетчатые протезы с размером пор больше 75 мкм. Размер таких пор облегчает проникновение макрофагов и компонентов соединительной ткани, что предотвращает колонизацию бактерий на поверхности протеза [9, 10].

- II тип — микропористые сетки, которые имели размер пор менее 10 мкм, что не позволяет макрофагам и нейтрофилам проникать в поры, так как их размер больше 10 мкм. В то же время бактерии могут легко попасть в поры и размножиться в них, так как размер бактерий

около 1 мкм. Все это увеличивает риск инфицирования и отторжения эндопротеза [9].

- III тип — это макропористые протезы с мультифиламентными или микропористыми компонентами. Наличие таких компонентов способствует укрытию бактерий, что повышает риск инфицирования.

- IV тип — это протезы с субмикронным размером пор, которые применяют для внутрибрюшной имплантации, что способствует низкому риску образования спаек в брюшной полости [6].

Сетчатые протезы в зависимости от плотности делятся на тяжелые протезы, плотность которых более 90 г/м², средние — с плотностью 50–90 г/м², легкие — 35–50 г/м² [6]. Легкие сетки обычно содержат меньшее количество материала, что способствует менее выраженной реакции тканей в ответ на имплантацию и лучшему вращению тканей в протез [11].

Механические свойства являются важными параметрами, которые следует учитывать при выборе сетки. Согласно спецификации Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) к механическим свойствам относятся следующие понятия: «предел прочности», «прочность на разрыв», «эластичность» [12]. Экспериментально доказано, что максимальные силы растяжения, которые применяются к передней брюшной стенке после герниопластики в продольном направлении, — это 22 Н/см, а в поперечном — 32 Н/см. Для паховой области принимается максимальная нагрузка 16 Н/см из-за более сферической анатомии этой области. Физиологическая эластичность передней брюшной стенки составляет приблизительно 38 %, в то время как эластичность легких сеток — приблизительно 20–35 % [13]. Существуют также такие термины, как «капиллярность» и «фитильность». Капиллярность — это способность материала впитывать жидкость вдоль нити и удерживать ее. Фитильность — это способность материала впитывать в себя содержимое раны. Плетеный шовный материал обладает большей капиллярностью, чем мононити, и, следовательно, обладает повышенной способностью поглощать бактерии [14]. Так как сетчатый полипропиленовый протез состоит из монофиламентных нитей, он не обладает этими свойствами.

Синтетические сетчатые имплантаты могут быть изготовлены из полипропилена (PP), полиэтилентерефталата (PET), расширенного политетрафторэтилена (ePTFE), поливинилиденфторида (PVDF) и рассасывающихся материалов, таких как полилактид (PLA), полигликолевая кислота (PGA) и поликапролактон (PCL) [4].

Биологические свойства имплантов и протезная инфекция

Имплантация сетки вызывает реакцию на инородное тело, которая играет решающую роль во внедрении сетки в ткани хозяина [4]. Реакция тканей в ответ на имплантацию довольно однотипная, но материал, из которого изготовлен протез, влияет на степень тканевой реакции [15]. Полипропиленовые сетки вызывают слабую воспалительную реакцию на ранних сроках имплантации с отложением большего количества коллагеновых волокон в сравнении с сетками из расширенного политетрафторэтилена. ПЭТ-сетки вызывают самую сильную реакцию на инородное тело и самую длительную хроническую воспалительную реакцию. ПТФЭ является более реактогенным материалом, чем полипропилен, и в первую очередь стимулирует местную продукцию провоспалительных цитокинов [16].

Частота раневой инфекции при выполнении герниопластики, в том числе при ущемленных грыжах, достигает 14 % [17, 18]. Протезы инфицируются как первичным путем — во время имплантации, так и вторичным — гематогенным или контактным путями [19, 20]. У пациентов с ущемлением петли кишки операционное поле может быть контаминировано бактериальной транслокацией из ущемленных петель кишечника, а также при сопутствующих резекциях кишки [21]. Основным этиологическим фактором для развития инфекции области хирургического вмешательства (ИОХВ) являются *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus ssp*, *Streptococcus ssp* и *Escherichia coli* [22, 23]. Доказано, что если операционное поле контаминировано микроорганизмами более чем 10^5 КОЕ/л, то это увеличивает риск послеоперационной ИОХВ. Однако контаминации всего лишь 10^2 КОЕ/л *S. aureus* достаточно для образования биопленки, если на месте операции присутствует инородный материал [24]. Экспериментально установлено, что на поверхности макропористых сетчатых полипропиленовых протезов в условиях бактериальной контаминации *in vitro* в течение 48 ч формируется бактериальная биопленка [25]. Способность микроорганизмов формировать биопленки на поверхности медицинских изделий создает большие проблемы в медицинской практике. После разработки новых лабораторных методов диагностики выяснилось, что в планктонном состоянии, когда клетки свободно передвигаются в жидкой среде, находится совсем малая часть бактерий [26]. Биопленка представляет собой сгруппированные в колонии микроорганизмы, которые синтезируют полимерный матрикс, защищающий их от воздействия антибактериальных препаратов и иммунной системы макроорганизма [27]. Бакте-

риальные клетки в составе биопленки существуют в состоянии покоя. Если количество питательных веществ недостаточно, то микроорганизмы покидают биопленку и переходят в планктонную форму. Способность образовывать биопленку является важным фактором патогенности микроорганизмов и приводит к хроническому инфекционному процессу [28].

Несмотря на периоперационную антибиотикопрофилактику, в случае развития послеоперационного инфекционного процесса в области хирургического вмешательства используют антибактериальные препараты. Концентрации антибактериальных препаратов, которые нужны для достижения бактерицидного эффекта, у биопленочных форм микроорганизмов превышают таковые для планктонных форм в десятки и сотни раз. Эффективность антибиотиков основывается на их действии на планктонные формы микроорганизмов, которые появляются в момент инфицирования, до момента образования биопленок. Стандартное лечение антибактериальными препаратами способно уничтожить только планктонные формы бактерий [26]. При определении чувствительности бактерий к антибактериальным препаратам с помощью общепринятых методик не принимается во внимание возможность формирования изолятов биопленки. Чувствительность бактерий к антибиотикам может значительно отличаться в зависимости от форм существования бактерии. Результаты одного исследования показали, что 100 %-ная чувствительность к амикацину у планктонных форм снизилась до 34 % у биопленки, а 100 %-ная чувствительность к ванкомицину у планктонных форм сменилась на 100 %-ную резистентность к нему в составе биопленки [29].

В настоящее время считается, что более 65 % всех инфекционных осложнений обусловлены микроорганизмами, которые существуют в форме биопленок [30]. В научных статьях представлены доказательства, что риск инфицирования эндопротеза выше у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких, ожирением, сахарным диабетом и иммунодефицитом, а также курящих [31, 32]. Также существует более высокий риск инфицирования сетчатого эндопротеза у пациентов, которым выполнялось грыжесечение при ущемленных грыжах, в том числе с кишечной непроходимостью [31]. Другие predisposing факторы к развитию инфекционных послеоперационных осложнений включают в себя образование послеоперационной гематомы, развитие рецидивирующей серомы, требующей повторной аспирации, использование неправильно стерилизованных инструментов и выполнение сопутствующих процедур, которые могут привести к контаминации операционной

раны [31]. Расположение грыжи может влиять на риск инфицирования, так как послеоперационные вентральные грыжи имеют более высокую частоту инфицирования по сравнению с паховыми и бедренными грыжами [33, 34]. Расположение сетчатого протеза во время операции также влияет на количество послеоперационных осложнений. Считается, что серомы, инфильтраты и рецидивы грыж чаще развиваются при герниопластике *onlay* и *inlay* в сравнении с пластикой по *sublay* [3, 34].

В случае инфицирования частично рассасывающихся сетчатых протезов из полипропилена/полиглактина или не рассасывающихся макропористых полипропиленовых сеток проводится консервативное лечение, которое включает в себя активное дренирование операционной раны, ежедневное промывание раны растворами антисептиков и применение антибактериальных препаратов. Гораздо хуже поддаются консервативному лечению сетки из ПТФЭ/полипропилена и микропористые полипропиленовые сетки, поэтому часто требуется раннее хирургическое удаление протеза [35].

Бактерии, которые остались после лечения, могут вновь сформировать полноценную биопленку в течение нескольких дней. Механическое удаление протеза является лучшим методом уменьшения биомассы бактериальной пленки [28, 36]. Разрабатываются материалы и устройства с антибактериальными и антиадгезивными свойствами, препятствующими формированию биопленок на имплантируемых изделиях [26]. В эксперименте изучался серебросодержащий эндопротез для пластики передней брюшной стенки. В условиях инфицирования раны нагноение произошло на 3-и, 7-е сутки как у полипропиленового протеза с серебром, так и без него. Низкие антимикробные свойства, которые протез

показал *in vivo*, не позволяют рекомендовать его для оперативного лечения пациентов в условиях угрозы инфицирования при ущемленных грыжах [37]. Разработана гидрогелевая композиция для синтетического сосудистого протеза на основе хитозана и поливинилового спирта с антибиотиком. Результаты исследования показали снижение обсемененности *S. aureus*, что было доказано проведенными опытами как *in vitro*, так и *in vivo* [38]. Однако не была изучена возможность задерживать образование бактериальной биопленки на полипропиленовом сетчатом протезе.

Заключение

В настоящее время применение синтетических протезов при операциях на грыжах передней брюшной стенки является «золотым стандартом». Материалом выбора для изготовления эндопротеза является полипропилен. Эластичность полипропиленовой сетки близка к физиологической эластичности передней брюшной стенки. Полипропиленовая сетка состоит из монофиламентных нитей, которые не обладают капиллярностью и фитильностью. В ответ на имплантацию сетка из полипропилена вызывает слабую воспалительную реакцию мягких тканей. В то же время применение полипропиленовых сеток при герниопластике у коморбидных пациентов, пациентов с ущемленными грыжами может привести к послеоперационным инфекционным осложнениям, что связано с образованием биопленки на поверхности эндопротеза. Актуальным является разработка полимерного покрытия на сетчатый полипропиленовый протез с пролонгированным выделением антибиотика для задержки колонизации бактерий и образования бактериальной биопленки в условиях бактериальной контаминации операционного поля.

Список литературы / References

1. Иванов Ю.В., Панченков Д.Н., Афонина Н.С., Чугунов В.С., Зиновский М.В. Медико-экономические подходы к выбору способа хирургического лечения паховых грыж в современных условиях страховой медицины. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2016;9(1):10-18. DOI: <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2016-9-1-10-18>
1. Ivanov YV, Panchenkov DN, Afonina NS, Chugunov MS, Zinovskiy M.V. The medical economic approaches to the choice of method of surgical treatment of inguinal hernias in modern conditions of insurance medicine. *Vestnik experimental'noy i klinicheskoy khirurgii*. 2016;9(1):10-18. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2016-9-1-10-18>
2. Алексеев А.К., Юрасов А.В., Тимошин А.Д., Шестаков А.Л. Осложнения различных способов экзплантации при лечении послеоперационных вентральных грыж. *Герниология*. 2006;3(11):8. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32826190>
2. Alekseev AK, Jurasov AV, Timoshina AD, Shestakov AL. Complications of various explantation methods in the treatment of postoperative ventral hernias. *Gerniologiya*. 2006;3(11):8. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32826190> (in Russ.).
3. Langer C, Liersch T, Kley C, Flosman M, Süß M, Siemer A, et al. Twenty-five years of experience in incisional hernia surgery. A comparative retrospective study of 432 incisional hernia repairs. *Chirurg*. 2003;74(7):638-645. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00104-002-0594-2>.
4. Zhu LM, Schuster P, Klinge U. Mesh implants: An overview of crucial mesh parameters. *Gastrointest Surg*. 2015;7(10):226-236. DOI: <https://doi.org/10.4240/wjgs.v7.i10.226>
5. Amid PK. Polypropylene prostheses. Abdominal wall hernias: principles and management. In: Bendavid R, Abrahamson J, Arregui ME, Flament JB, Phillips EH, eds. *Abdominal Wall Hernias*. New York: Springer; 2001. pp. 272-278. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8574-3>
6. Zogbi L, Pignatello R. The Use of Biomaterials to Treat Abdominal Hernias. In: *Biomaterials Applications for Nanomedicine*. 2008;18:359-382. DOI: <https://doi.org/10.5772/24313>

7. Жуков Б.Н., Быстров С.А., Шестаков Е.В. Оптимизация хирургического лечения больных с ущемленной грыжей брюшной стенки. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2014;(8):67-70. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22381338>
- Zhuov BN, Bystrov SA, Shestakov EV. Optimization of surgical treatment of patients with strangulated abdominal wall hernia. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2014;(8):67-70. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22381338> (in Russ.).
8. Юрасов А.В., Абовян Л.А., Курашвили Д.Н., Лысенко М.В., Дубров В.Э. Отдаленные результаты оперативного лечения больных с пупочными грыжами и диастазом прямых мышц живота. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2014;(4):309-314. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23435570>
- Yurasov AV, Abonyan LA, Kurashvili EV, Lysenko M, Dubrov VJe. Long-term results of surgical treatment of patients with umbilical hernias and diastasis of the rectus abdominis muscles. *Vestnik of Experimental and Clinical Surgery*. 2014;(4):309-314. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23435570> (in Russ.).
9. Amid PK. Classification of biomaterials and their related complications in abdominal wall hernia surgery. *Hernia*. 1997;1:15-21.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02427664>
10. Klosterhalfen B, Klinge U. Retrieval study at 623 human mesh texplants made of polypropylene - impact of mesh class and indication for mesh removal on tissue reaction. *Journal of biomedical materials research*. 2013;101:1393-1399.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jbmb.32958>.
11. Bilsel Y, Abci I. The search for ideal hernia repair; mesh materials and types. *International journal of surgery*. 2012;10:317-321.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2012.05.002>
12. Zhu LM, Schuster P, Klinge U. Mesh implants: An overview of crucial mesh parameters. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*. 2015;7(10):226-236.
DOI: <https://doi.org/10.4240/wjgs.v7.i10.226>
13. Pott PP, Schwarz ML, Gundling R, Nowak K, Hohenberger P, Roessner ED. Mechanical properties of mesh materials used for hernia repair and soft tissue augmentation. *PLoS One*. 2012;7:e46978.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046978>
14. Bennett RG. Selection of Wound Closure Materials. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 1988;18(4):619-637.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0190-9622\(88\)70083-3](https://doi.org/10.1016/s0190-9622(88)70083-3)
15. Klink C, Binnebösel M, Kaemmer D, Schachtrupp A, Fiebeler A, Anurov M, et al. Comet-tail-like inflammatory infiltrate to polymer filaments develops in tensionfree conditions. *European surgical research*. 2011;46:73-81.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0190-9622\(88\)70083-3](https://doi.org/10.1016/s0190-9622(88)70083-3)
16. Baktir A, Dogru O., Girgin M, Aygen E, Kanat BH, Dabak DO, Kuloglu T. The effects of different prosthetic materials on the formation of collagen types in incisional hernia. *Hernia*. 2013;17:249-253.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10029-012-0979-1>
17. Cobb WS, Carbonell AM, Kalbaugh CL. Infection risk of open placement of intraperitoneal composite mesh. *The American surgeon*. 2009;75(9):762-767.
18. Mazaki T, Mado K, Masuda H, Shiono M, Tochikura N, Kabur MA. A randomized trial of antibiotic prophylaxis for the prevention of surgical site infection after open mesh-plug hernia repair. *American journal of surgery*. 2014;207(4):476-484.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2013.01.047>
19. Лызигов А.А. Инфекционные осложнения при имплантации сосудистых протезов. *Проблемы здоровья и экологии*. 2011;(4):75-79.
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2011-8-4-13>
- Lyzikov AA. Infectious complications in the transplantation of vascular prostheses. *Health and Ecology Issues*. 2011;(4):75-79. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2011-8-4-13>
20. Саркисян АС. Осложнения после реконструктивных операций в бассейне брюшной аорты и артерий нижних конечностей (обзор литературы). *Вестник хирургии Армении*. 2011;(1):23-29.
- Sarkisyan AS. Complications after reconstructive operations in the pulmonary basin of the aorta and arteries of the lungs of the extremities (literature review). *Vestnik Hirurgii Armenii*. 2011;(1):23-29. (In Russ.).
21. Napolitano L, Di Bartolomeo N, Aceto L, Waku M, Innocenti P. Utilizzo dei materiali protesici nei laparoceli: la nostra esperienza clinica [Use of prosthetic materials in incisional hernias: our clinical experience]. *G Chir*. 2004 Apr;25(4):141-145. (Italian.).
22. Yang H, Xiong Y, Chen J, Shen Y. Study of mesh infection management following inguinal hernioplasty with an analysis of risk factors: a 10-year experience. *Hernia*. 2020 Apr;24(2):301-305.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10029-019-01986-w>
23. Pande T, Naidu CS. Mesh infection in cases of polypropylene mesh hernioplasty. *Hernia*. 2020;24(4):849-856.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10029-020-02142-5>
24. Tubre D, Schroeder A, Estes J, Eisenga J, Fitzgibbons RJ. Surgical site infection: the "Achilles Heel" of all types of abdominal wall hernia reconstruction. *Hernia*. 2018;22(6):1003-1013.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11605-022-05248-6>
25. Паршиков В.В., Чеботарь И.В., Ходак В.А., Самсонов А.А. Исследование in vitro микробной биопленки на поверхности синтетических макропористых эндорпротезов для пластики брюшной стенки. *Современные технологии в медицине*. 2012;(1):15-20. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <http://www.stm-journal.ru/numbers/2012/1/846>
- Parshikov VV, Chebotar IV, Khodak VA, Samsonov AA. In vitro studies of biofilms on the surface of synthetic macroporous endoprotheses for abdominal wall plasty. *Modern technologies in medicine*. 2012;(1):15-20. [date of access 2025 January 18]. Available from: <http://www.stm-journal.ru/numbers/2012/1/846> (in Russ.).
26. Глушанова Н.А. Блинов А.И., Алексеева Н.Б. Бактериальные биопленки в инфекционной патологии человека. *Медицина в Кузбассе*. 2015;(2):30-35. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/bakterialnye-bioplrenki-v-infektsionnoy-patologii-cheloveka>
- Glushanova NA, Bkinov AI, Alekseev NB. Bacterial biofilms in human infectious pathology. *Medicine in Kuzbass*. 2015;(2):30-35. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/bakterialnye-bioplrenki-v-infektsionnoy-patologii-cheloveka> (in Russ.).
27. Kathju S, Nistico L, Lasko L, Stoodley S. Bacterial biofilm on monofilament suture and porcine xenograft after inguinal herniorrhaphy. *FEMS immunology and medical microbiology*. 2010;59:405-409.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.2010.00691.x>
28. Марданова А.М., Кабанов Д.А., Рудакова Н.Л., Шарипова М.Р. Биопленки: основные принципы организации и методы исследования. Казань; 2016. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: https://kpfu.ru/portal/docs/F1250326711/posobie_..Bioplrenki_..Mardanova.AM.Kabanov.D.A..Sharipova.M.R.pdf
- Mardanov AM, Kabanov DA, Rudakova NL, Sharipova MP. Biofilms: basic principles of organization and research methods. Kazan; 2016. [date of access 2025 January 18]. Available from: https://kpfu.ru/portal/docs/F1250326711/posobie_..Bioplrenki_..Mardanova.AM.Kabanov.D.A..Sharipova.M.R.pdf (in Russ.).
29. Окулич В.К., Плотников Ф.В., Кабанова А.А., Сенькович С.А. Резистентность к антибиотикам госпитальных изолятов золотистого стафилококка, образующих биопленку. *Здравоохранение*. 2015;(7):11-16. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://mpcmt.by/files/00106/obj/110/73703/doc/Zdrav7.pdf>

Okulich VK, Kabanova AA, Senkovich SA, Plotnikov FV. Antibiotic resistance of staphylococcus aureus hospital isolates forming biofilm. *Zdravoohranenie*. 2015;(7):11-16. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://rmpcmt.by/files/001006/obj/110/73703/doc/Zdrav7.pdf> (in Russ.).

30. Романов Ю.М., Гинцбург А.Л. Бактериальные биопленки как естественная форма существования бактерий в окружающей среде и в организме хозяина. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2011;(3):99-109. [дата обращения 2025 январь 18]. Режим доступа: <https://microbiol.crie.ru/jour/article/view/13542>

Romanov YuM, Gincburg AL. Bacterial biofilms as a natural form of existence of bacteria in the environment and in the host body. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*. 2011;(3):99-109. [date of access 2025 January 18]. Available from: <https://microbiol.crie.ru/jour/article/view/13542> (in Russ.).

31. Mavros MN, Athanasiou S, Alexiou VG, Mitsikostas PK, Peppas G, Falagas ME. Risk factors for mesh-related infections after hernia repair surgery: a meta-analysis of cohort studies. *World Journal of Surgery*. 2011;35(11):2389-2398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00268-011-1266-5>

32. Juvany M, Hoyuela C, Carvajal F, Trias M, Martrat A, Ardid J. Long-term follow-up (at 5 years) of midline incisional hernia repairs using a primary closure and prosthetic onlay technique: recurrence and quality of life. *Hernia*. 2018;22(2):319-324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10029-018-1730-3>

33. Olsen MA, Nickel KB, Wallace AE, Mines D, Fraser VJ, Warren DK. Stratification of surgical site infection by operative factors and comparison of infection rates after hernia repair. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. 2015;36(3):329-335. DOI: <https://doi.org/10.1017/ice.2014.44>

34. Лызииков А.А., Артышков Е.Л., Дорошко Е.Ю., Каплан М.Л. Клиническая характеристика и оценка частоты осложненных после оперативного лечения пациентов со свободными и ущемленными грыжами с применением синтетических имплантатов. *Проблемы здоровья и экологии*. 2023;20(4):63-69. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-4-08>

Lyzikov AA, Artyushkov EL, Doroshko YaY, Kaplan ML. Clinical characteristics and assessment of the frequency of complications after surgical treatment of patients with free and strangulated hernias using synthetic implants. *Health and Ecology Issues*. 2023;20(4):63-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-4-08>

35. Warren JA, Love M, Cobb WS, Beffa LR, Couto FJ, Hancock BH, Morrow D, Ewing JA, Carbonell AM. Factors affecting salvage rate of infected prosthetic mesh. *American Journal of Surgery*. 2020;220(3):751-756. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.01.028>

36. Wolcott RD, Rhoads DD. A study of biofilm-based wound management in subjects with critical limb ischaemia. *Journal of Wound Care*. 2008;17(4):145-155. DOI: <https://doi.org/10.12968/jowc.2008.17.4.28835>

37. Подолужный В.И., Шабалина О.В., Михеев А.Г. Экспериментальная оценка использования серебросодержащего эндопротеза Эсфил. *Сибирское медицинское обозрение*. 2019;118(4):47-53. DOI: <https://doi.org/10.20333/2500136-2019-4-47-53>

Podoluzhny VI, Shabalina OV, Miheev AG, Egorova ON, Shternis TA. Experimental evaluation of Esfil argentiferous endoprosthesis use. *Siberian Medical Review*. 2019;(4):47-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20333/2500136-2019-4-47-53>

38. Лызииков А.А., Тапальский Д.В., Дорошко Е.Ю., Цветкова Е.А., Зятьков А.А., Каплан М.Л. и др. 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>

Lyzikov AA, Tapalski DV, Doroshko YY, Tsvetkova EA, Ziatskov AA, Kaplan ML. 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>

Информация об авторах / Information about the authors

Артышков Евгений Леонидович, старший преподаватель кафедры хирургических болезней No 1 с курсом сердечно-сосудистой хирургии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5493-0164>

e-mail: artyushkov.e@mail.ru

Лызииков Алексей Анатольевич, д.м.н., профессор, сосудистый и эндоваскулярный хирург, Университетская клиника Джеймса Кука, Милдсбро, Великобритания

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>

e-mail: lyzиков@mail.ru

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

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

e-mail: kaplan_md@mail.ru

Дорошко Евгений Юрьевич, к.м.н., старший преподаватель кафедры хирургических болезней No 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

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

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

e-mail: b_osipov_jr@mail.ru

Evgeniy L. Artyushkov, Senior Lecturer at the Department of Surgical Diseases No.1 with the Course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5493-0164>

e-mail: artyushkov.e@mail.ru

Alexei A. Lyzиков, Doctor of Medical Sciences, Professor, Vascular and Endovascular Surgeon, James Cook University Hospital, Middlesbrough, Great Britain

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-121X>

e-mail: lyzиков@mail.ru

Mark L. Kaplan, Candidate of Medical Sciences, Head of the 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>

e-mail: kaplan_md@mail.ru

Yauheni Y. Doroshko, Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer at Department of Surgical Diseases No.1 with the Course of Cardiovascular Surgery, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

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

e-mail: ronaldy93@mail.ru

Boris B. Osipov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the 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>

e-mail: b_osipov_jr@mail.ru

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Артюшков Евгений Леонидович
e-mail: artyushkov.e@mail.ru

Evgeniy L. Artyushkov
e-mail: artyushkov.e@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 03.10.2024

Поступила после рецензирования / Accepted 29.01.2025

Принята к публикации / Revised 20.02.2025