

УДК 616.381-089.844

СЕТЧАТЫЕ ЭНДОПРОТЕЗЫ ДЛЯ ПЛАСТИКИ БРЮШНОЙ СТЕНКИ: ЭВОЛЮЦИЯ МАТЕРИАЛОВ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

А.М. Белоусов¹, Т.С. Филиппенко², Т.Ю. Анущенко²¹ Санкт-Петербургский государственный университет Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия² ООО «Линтекс», Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ. Сетчатые эндопротезы являются неотъемлемой частью современной хирургии грыж брюшной стенки. Несмотря на широкое распространение полипропиленовых сеток, за последние десятилетия выявлен ряд их недостатков: склонность к деградации, чрезмерную воспалительную реакцию и возможные системные иммунные осложнения. В связи с этим появился интерес к альтернативным материалам, таким как поливинилиденфторид (ПВДФ), обладающим высокой биоинертностью, стабильной структурой и низкой частотой осложнений. Обзор посвящен эволюции синтетических имплантов, применяемых для пластики передней брюшной стенки. Представлены классификации по типу материала и способу производства, сравнительные характеристики полимеров, описаны морфологические, биомеханические и клинические аспекты применения ПВДФ-эндопротезов. Особое внимание уделено перспективам развития – от умных материалов до визуализируемых и персонализированных сеток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: герниопластика, сетчатые имплантаты, полипропилен, поливинилиденфторид, деградация сетки, биосовместимость, осложнения, воспаление, умные материалы, визуализируемые имплантаты, 3D-печать

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белоусов А.М., Филиппенко Т.С., Анущенко Т.Ю. Сетчатые эндопротезы для пластики брюшной стенки: эволюция материалов и взгляд в будущее (обзор литературы). *Российский хирургический журнал*. 2025;2(2): 87–93. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-87-93

HERNIA MESH: THE EVOLUTION OF MATERIALS AND A LOOK INTO THE FUTURE (LITERATURE REVIEW)

А.М. Belousov¹, T.S. Filippenko², T.Yu. Anushchenko²¹ St. Petersburg State University Hospital, St. Petersburg, Russia² Lintex LLC, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT. Mesh implants have become an integral part of modern hernia surgery. Although polypropylene remains the most used material, its limitations – such as degradation, chronic inflammation, and potential systemic immune reactions – have drawn increasing attention. As a result, alternative polymers such as polyvinylidene fluoride (PVDF) are being actively explored for their superior biocompatibility, chemical stability, and lower complication rates. This review outlines the historical evolution and current classifications of synthetic meshes used in abdominal wall reconstruction. It highlights the biomechanical, morphological, and immunological characteristics of various implant materials, with particular emphasis on PVDF-based prostheses. Future directions are also discussed, including the development of bioactive, MRI-visible, and patient-specific meshes.

KEYWORDS: hernia repair, mesh implants, polypropylene, polyvinylidene fluoride (PVDF), mesh degradation, biocompatibility, complications, inflammation, smart materials, MRI-visible implants, 3D printing

FOR CITATION: Belousov A.M., Filippenko T.S., Anushchenko T.Yu. Hernia mesh: the evolution of materials and a look into the future (literature review). *Russian Surgical Journal*. 2025;2(2): 87–93. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-87-93 (In Russ.).

Введение

Хирургическое лечение грыж брюшной стенки остается актуальной проблемой общей хирургии. Наиболее часто встречаются паховые грыжи (до 70 % от всех герниологических операций). На втором месте – послеоперационные вентральные грыжи. Частота их возникновения после выполнения различных видов лапаротомий варьирует от 3 до 20 %, увеличиваясь до 30–40 % у пациентов с такими факторами риска, как ожирение, курение, аневризма аорты. При этом операции по поводу послеоперационной вентральной грыжи представляют наиболее сложную категорию среди всех реконструктивно-пластических вмешательств на брюшной стенке. Частота осложнений варьирует в пределах 10–20 %, увеличиваясь до 30 % при лечении «сложных» грыж.

Значимое улучшение произошло с внедрением в повседневную практику различных синтетических эндопротезов [1]. При этом основной механизм – реакция на имплантат, с одной стороны, дает надежный результат в виде «крепкой» вновь образующейся соединительной ткани вокруг протеза, с другой, – именно из-за чрезмерной реакции и избытка инородного материала возникают осложнения со стороны раны [2].

Самым распространенным материалом для производства сетчатых эндопротезов является полипропилен (ПП), однако 70-летний опыт применения выявил ряд недостатков. Имплантация таких эндопротезов сопровождается выраженной реакцией с преобладанием экссудативного компонента, что часто приводит к образованию сером с последующим риском их инфицирования [3]. Также реакция на имплантацию может приводить к формированию грубых рубцовых тканей, деформирующих сетку с возможностью рецидива по краю протеза. В связи с этим в последние 20 лет начали активно появляться новые варианты сетчатых эндопротезов для герниопластики, основным вектором их развития стало уменьшение массы имплантируемого материала, улучшение биосовместимости, повышение устойчивости к инфекции и адаптация к новым топографическим подходам в связи с развитием миниинвазивных технологий в герниологии.

С учетом большого разнообразия современных имплантов кажется актуальным рассмотреть преимущества и недостатки различных материалов, из которых они изготовлены, а также подумать над дальнейшим вектором развития материалов для герниопластики, поскольку современная герниология стоит на пересечении инженерных, биомедицинских и клинических парадигм.

Исторический этап развития материалов для пластики передней брюшной стенки

История использования синтетических материалов отображает научный прогресс в хирургии грыж.

Более 190 лет назад Belams (1832) впервые применил стенку воздушного пузыря рыб для закрытия дефекта при лечении паховой грыжи. Цель использования воздушного пузыря – простимулировать «слипчивое воспаление». Belams применил эту методику на 30 собаках, а в последующем и у трех пациентов, причем во всех случаях успешно. За долгие годы использовались самые разнообразные ткани для закрытия грыжевого дефекта, в частности, надкостница большеберцовой кости, широкая фасция бедра и т.д. [4]. Однако оказалось, что описанные материалы ведут себя непредсказуемо.

Искусственные материалы внедрены в хирургию в 1889 г. О. Witzel применил серебряную сетку для закрытия грыжевого дефекта [5]. Позже стали использовать сетки из серебра, тантала и нержавеющей стали. Maggay в 1906 г. и Fieschi в 1914 г. начали применять резину и каучук, но они вызывали выраженную реакцию тканей с частыми нагноениями и отторжениями.

Настоящим прорывом стало внедрение в практику сначала полиэфирных, а затем полипропиленовых сеток, впервые описанное F. C. Usher et al. [6]. Полипропилен оказался прочным, доступным, технологичным и, по представлениям того времени, инертным.

В последующие десятилетия наблюдалась быстрая эволюция конструкций: от тяжелых и плотных монофиламентных сеток к облегченным макропористым структурам, лучше интегрирующимся в ткани и вызывающим менее выраженный воспалительный ответ [7]. Сетки нового поколения стали обладать более крупными порами (>1 мм), меньшей поверхностной плотностью (<35 г/м²), способствующей снижению фиброзной реакции и хронической боли.

Применяемые в настоящее время полимерные эндопротезы отличаются: по способу производства (химическая или текстильная технология), строению (вязаные, нетканые, пленочно-пористые), виду полимера (политетрафторэтилен, полипропилен, поливинилденфторид, полиэтилентерефталат и др.), структуре нити (моновити, комплексные, псевдомононити), способности к биодеструкции (нерассасывающиеся, рассасывающиеся, частично рассасывающиеся), конструкции (плоские, объемные, многослойные, композитные), специализированные по назначению (для интраперитонеальной герниопластики, парастомальные, хиатальные). В ряде хирургических ситуаций определенный интерес представляют антимикробные эндопротезы.

При этом технология изготовления зачастую предопределяет и свойства эндопротезов, в частности, структурные характеристики, размер пор, прочность, жесткость и др.

Таким образом, современные сетчатые имплантаты для пластики передней брюшной стенки представляют собой разнообразную группу материалов, различающихся по химическому составу, структуре волокон, пористости, плотности, биологическому поведению и способности к интеграции в ткани. Их классификация условна, но удобна для клинического и технологического анализа. В связи с этим предлагаем рассмотреть основные способы изготовления эндопротезов и виды полимеров.

Классификация по технологии производства и материалу сетчатых имплантатов

Пленочно-пористые эндопротезы. У зарубежных коллег некоторое время определенный сегмент рынка занимали эндопротезы пленочно-пористой, так называемой «растянутой», структуры на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Эндопротезы из ПТФЭ отличаются самой высокой биосовместимостью и биорезистентностью. Гладкая микропористая поверхность обеспечивает антиадгезивные свойства, позволяющие при необходимости размещать эндопротез в непосредственном контакте с органами брюшной полости.

Однако существует опасность хронического инфицирования материала с порами менее 15 мкм, так как в них легко проникают микроорганизмы (размер около 1–2 мкм), но не могут попасть макрофаги (18–35 мкм) и лейкоциты (15–20 мкм), т. е. затруднен фагоцитоз внутри эндопротеза.

В связи с этим, а также по причине низкой прочности на разрыв и высокой цены, они не получили широкого распространения в РФ. Также в литературе [8] появились сведения о кальцификации протезов из ПТФЭ на поздних сроках, что может привести к повышению хрупкости материала и, как следствие, к его разрушению и возможному рецидиву грыжи.

Нетканые эндопротезы. Эндопротезы изготавливаются из полипропиленового термоскрепленного нетканого полотна (подобны материалам, используемым для изготовления одноразовой хирургической одежды и белья). Недостатком нетканых эндопротезов является их микропористая структура, обуславливающая высокую фитильность и капиллярные свойства, вследствие чего возрастает опасность инфицирования материала. Такие эндопротезы получили ограниченное применение.

Вязаные эндопротезы. Основная группа современных полимерных эндопротезов представ-

ляет собой сетчатые материалы, выработанные трикотажным способом на основовязальных машинах. Основовязанная структура выбрана в связи с тем, что такое переплетение имеет фиксированную структуру, не распускающуюся при разрезании в любом направлении. Кроме того, трикотажный способ производства позволяет в широких диапазонах варьировать толщину, пористость, материалоемкость эндопротезов, их растяжимость и прочностные свойства [9].

Сетчатые эндопротезы из полипропиленовых мононитей. Наиболее широко в герниопластике используются основовязанные эндопротезы из ПП-мононитей.

Полипропилен обладает высокой биологической инертностью и устойчивостью к биодеструкции. Монолитность и гидрофобность, а также предельно малая поверхность ПП-мононитей препятствуют инфицированию эндопротезов, и поэтому в случае нагноения возможно ведение инфицированной раны по обычной схеме без удаления имплантата [10].

Полипропиленовые эндопротезы используют для оперативного лечения всех видов грыж. Базовые коммерческие сетки в основном изготавливались, а у некоторых производителей продолжают, из мононитей диаметром 0,14–0,17 мм («тяжелые» эндопротезы), что обеспечивает им прочность, в несколько раз превосходящую минимально необходимую, а также чрезмерную жесткость и материалоемкость [9]. В результате это приводит к формированию плотных рубцовых тканей, деформирующих сетку, способствующих возникновению ощущения инородного тела в брюшной стенке и ограничению ее подвижности. Именно сокращение сетки является причиной рецидива грыжи. В экспериментальных исследованиях [11] установлено, что ПП-сетка после четырех недель имплантации сокращается на 30–40 % от своего первоначального размера. При более длительных сроках «сморщивание» сетчатого эндопротеза может достигать 60 %. Как считают авторы, сжатие подвергается не сама сетка, а фиброзные рубцовые ткани, которыми пророс эндопротез, что является нормальной физиологической реакцией созревания соединительнотканного рубца.

Поэтому в современной герниопластике одной из ведущих тенденций стало «облегчение» полимерных эндопротезов. Существуют две концепции получения легких сеток: композитных, частично рассасывающихся, и однородных нерассасывающихся, но с использованием минимума полимерного материала.

Полипропилен с момента своего внедрения в 1960-х гг. признан «инертным» материалом, не вступающим в значимые биохимические взаимодействия с окружающими тканями. Однако накопленный опыт поставил под сомнение этот постулат. Стали появляться публикации, которые

демонстрируют, что ПП вызывает устойчивую, низкоинтенсивную воспалительную реакцию, ведущую к фиброзу, болевому синдрому, а в отдельных случаях – к системной иммунной дисрегуляции, вплоть до развития ревматоидноподобных артритов, неспецифических системных воспалений, фибромиалгии и даже васкулитов [11–13].

Механизм этих реакций, вероятно, связан с хронической активацией врожденного иммунитета, нарушением регуляции провоспалительных цитокинов (TNF- α , IL-6, IL-1 β) и активацией Т-клеток.

Хотя большинство этих наблюдений являются ретроспективными и не имеют высокой степени доказательности, они заслуживают внимания и дальнейшего анализа. Особенно это актуально для пациентов с существующими аутоиммунными нарушениями, у которых реакция на инородный материал может быть усиленной.

В последние годы начали появляться публикации о возможной деградации полипропиленовых эндопротезов после длительного нахождения в тканях. В экспериментальном исследовании, выполненном на животных моделях [14], проведена прямая оценка деградации поливинилденфторидных сеток по сравнению с двумя типами ПП-сеток с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM), а химическое состояние и признаки деградации анализировались методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). FTIR-спектроскопия подтвердила химическую стабильность ПВДФ-сеток – спектры не отличались от исходных до имплантации. В то же время у ПП выявлено нарастание содержания карбонильных (C=O) и гидроксильных (–OH) групп – признаков окислительной деградации. SEM-анализ продемонстрировал отсутствие морфологических изменений на поверхности ПВДФ-сеток даже спустя 24 мес имплантации, тогда как ПП-сетки проявляли прогрессирующие трещины.

Таким образом, уменьшить материалоемкость, повысить гибкость и снизить реакцию тканей на эндопротез можно и в результате замены полипропиленовых монопонтей на более эластичные и биосовместимые нити, такие как ПВДФ.

Сетчатые эндопротезы из поливинилденфторидных монопонтей. При изучении свойств ПВДФ-монопонтей, используемых также для изготовления шовного материала [15], установлено, что они обладают более высокой эластичностью, биологической инертностью и биорезистентностью, чем полипропиленовые, при аналогичной прочности и устойчивости к инфицированию. Эндопротезы из ПВДФ-монопонтей, в отличие от полипропиленовых, не содержат добавок пластификаторов и стабилизаторов, а по

биосовместимости вплотную приближаются к ПТФЭ-материалам [8, 16].

В экспериментальных работах и клинических исследованиях показано, что применение эндопротеза, полностью изготовленного из ПВДФ-монопонтей, сопровождается образованием тонкой, гибкой и прочной соединительнотканной капсулы при минимальном количестве имплантат-ассоциированных осложнений. Имплант практически не вызывает образования сером и не подвержен «сморщиванию» [17, 18].

Сравнительное изучение жесткости методом изгиба консоли ПВДФ-эндопротезов и имплантов из ПП, изготовленных из монопонтей диаметром 0,12 мм, показало, что жесткость последнего более чем вдвое выше (26 и 10 сН·мм² соответственно) [19].

Сетки из ПВДФ-монопонтей оптимальны для сложных случаев, например, для пластики рецидивных послеоперационных вентральных грыж. В ряде работ [14–16] делается однозначный вывод, что сетчатый ПВДФ-имплант является реальной альтернативой наиболее распространенным в современной герниологии ПП-эндопротезам.

Сетчатые эндопротезы из полифилamentных нитей. Определенное положение на рынке занимают эндопротезы из полиэфирных (Polyester) комплексных нитей, которые обычно являются полиэтилентерефталатными (в России их называют «лавсановыми»).

Поскольку межволоконные поры у полифилamentных нитей порядка 10 мкм, то, с точки зрения фагоцитоза, возникают такие же проблемы, как у микропористых ПТФЭ и нетканых эндопротезов, что ограничивает применение их в условиях опасности гнойно-воспалительных процессов.

Однако в данной категории наибольший интерес представляют эндопротезы из полиэфирных нитей с дополнительным фторполимерным покрытием, которое делает полифилamentную нить псевдомонопонтью, «запечатывая» все межволоконные пространства, и обеспечивает данному эндопротезу антиадгезивные свойства. Это позволяет использовать конкретный эндопротез для интраперитонеальной пластики (ИРОМ).

Опубликован ряд работ, показывающий безопасность и эффективность использования данного эндопротеза для ИРОМ-пластики как на экспериментальных моделях, так и в клинической практике [20–23].

За счет малого веса, крупноячеистой структуры, высокой биорезистентности и при сохраненной базовой брюшине, данный эндопротез быстро покрывается неоперитонеумом и интегрируется в брюшную стенку при ИРОМ-пластике. По прочностным характеристикам не уступает зарубежным аналогам, при этом значительно ниже по цене. Использование эндопротеза

за из полиэфирных нитей с дополнительным антиадгезивным фторполимерным покрытием делает ИРОМ-пластику более доступной и безопасной.

Перспективы развития эндопротезов для герниопластики

Как и в любом хирургическом направлении, в истории развития герниологии есть свои значимые этапы. Внедрение пластики пахового канала собственными тканями по Bassini в конце XIX в., появление синтетических имплантов в середине XX в., преперитонеальное и ретро-мускулярное размещение эндопротезов, выполненные Рене Стоппа и Жаном Риве, предложенная Ирвингом Лихтенштейном концепция безнатяжной пластики с использованием сетчатых эндопротезов при паховой грыже и, конечно же, активное внедрение мини инвазивных методик в конце XX – начале XXI вв. сформировали современную хирургию грыж.

При этом основной фокус остается на хирургической технике. Большое внимание уделяется техническим аспектам операции, крайне редко происходит обсуждение показаний к тому или иному методу пластики, в погоне за «большой хирургией» не подвергается сомнению целесообразность более агрессивных методик и уже тем более в последние годы игнорируется влияние типа эндопротеза на результат. Не говоря о том, что многие хирурги не имеют представления о физико-химических свойствах полимеров, из которых изготовлены импланты. Единственное, что остается в фокусе внимания – это макропористая и микропористая сетка.

Но даже по двум параметрам – тип полимера и способ производства – спектр сетчатых эндопротезов разнообразен. При этом развитие технологий в герниологии неизбежно должно привести к пересмотру парадигмы выбора имплантов. Если сегодня основное внимание уделяется механическим характеристикам и типу фиксации сетки, то в ближайшие годы должны сместить акцент на персонализированный подход, биосовместимость и «интеллектуальные свойства» материалов.

Можно ожидать активное развитие сеток нового поколения – не только с антиадгезивными и антибактериальными покрытиями, но и с функциями адаптации к физиологической среде. Возможно появление «умных» эндопротезов, способных регулировать локальное высвобождение противовоспалительных препаратов, реагировать на изменения pH или уровень воспаления, а возможно и на механические нагрузки.

Еще одно направление, которое уже реализуется [24, 25], – визуализируемые имплантаты, позволяющие в реальном времени наблюдать за

состоянием сетки при помощи МРТ. Это особенно актуально для проведения клинических исследований, оценки «сморщивания» сетки, для изучения возможных причин хронической боли.

Важным шагом должно стать внедрение национальных и международных регистров, особое внимание в которых будет уделено использованию сетчатых эндопротезов. Анализ большого массива данных позволит обоснованно делать выводы о выборе материала для пластики не только на основе его физических характеристик, но и по доказанной долгосрочной безопасности и эффективности в различных клинических ситуациях.

Это сделает возможным и доступным, а также обоснованным персонализированное изготовление сетчатых эндопротезов для конкретного пациента на основании клинических и инструментальных результатов обследования с дополнительной аналитикой данных искусственным интеллектом.

Заключение

Современные тенденции в герниологии направлены на индивидуализацию хирургического подхода с учетом биологических, анатомических и клинических факторов. В частности, возрастает интерес к имплантатам нового поколения, обладающим улучшенной биосовместимостью, новыми физическими свойствами, возможностью интеграции в их состав биологически активных веществ, дополнения эндопротезов новыми свойствами. Хочется верить, что герниология будущего – это сочетание инженерной точности, молекулярной биологии и искусственного интеллекта. А сетчатый эндопротез станет не просто «каркасом» и неуправляемым стимулятором для образования соединительной ткани, а полноценным, динамически реагирующим участником процесса регенерации и улучшит результаты лечения пациентов с грыжами брюшной стенки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Соответствие нормам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом. Пациентами под-

писано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований.

Compliance with ethical principles. The study was approved by the Local Ethics Committee. All patients signed informed consent for publication of data from the studies.

Список литературы / References

1. Матвеев Н.Л., Белоусов А.М., Бочкарь В.А., Макаров С.А. Мало-инвазивные технологии в герниологии: применять нельзя экономить. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020;8:75–81. [Matveev N.L., Belousov A.M., Bochkary V.A., Makarov S.A. Minimally invasive ventral hernia repair: apply or save? *Khirurgiya*. 2020;8:75–81. (In Russ.)].
2. Meagher H., Clarke Moloney M., Grace P.A. Conservative management of mesh-site infection in hernia repair surgery: a case series. *Hernia*. 2015;19(2):231–237.
3. Nobaek S., Rogmark P., Petersson U. Negative pressure wound therapy for treatment of mesh infection after abdominal surgery: long-term results and patient-reported outcome. *Scand J Surg*. 2017;106(4):285–293. DOI: 10.1177/1457496917690966.
4. Лидский А.Т. Свободная пересадка фасции в хирургии и гинекологии. *Вестн. хирургии*. 1926;7(19):173–77. [Lidskiy A.T. Free fascia transplantation in surgery and gynecology. *Vestn. Surg*. 1926;7(19):173–77. (In Russ.)].
5. Witzel O. Über den Verschluss von Bauchwunden und Bruchpforten durch versenkte Silberdrahtnetze (Einheilung von Filigranpelotten). *Zbl. Chirurgie*. 1900;10:257–260.
6. Usher F.C., Ochsner J.L., Tuttle L.L. Use of marlex mesh in the repair of incisional hernia. *Am Surg*. 1958;24(12):969–974.
7. Amid P.K. Classification of biomaterials and their clinical implications in hernia repair. *Hernia*. 1997;1(1):15–21.
8. Klosterhalfen B., Junge K., Klinge U. The lightweight and large porous mesh concept for hernia repair. *Expert Rev. med. Devices*. 2005;2(1):103–117.
9. Жуковский В.А. Современные подходы к разработке и производству полимерных сетчатых эндопротезов для реконструктивной хирургии. *Альманах ин-та хирургии им. А.В. Вишневого*. 2008;3(2):20–21. [Zhukovsky V.A. Modern approaches to the development and production of polymer mesh endoprotheses for reconstructive surgery. *Almanac of the A.V. Vishnevsky Institute of Surgery*. 2008;3(2):20–21. (In Russ.)].
10. Parshikov V.V. Inflammatory complications of the abdominal wall prosthetic repair: diagnostics, treatment, and prevention (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019;11(3):158–178. DOI: 10.17691/stm2019.11.3.19.
11. Cohen Tervaert J.W. Autoinflammatory/autoimmunity syndrome induced by adjuvants (Shoenfeld's syndrome) in patients after a polypropylene mesh implantation. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2019;32(4):511–520. DOI: 10.1016/j.berh.2019.01.003.
12. Chughtai B., Sedrakyan A., Mao J., et al. Is vaginal mesh a stimulus of autoimmune disease? *Am J Obstet Gynecol*. 2017;216(5):495.e49–e497. DOI: 10.1016/j.ajog.2016.12.021.
13. Muller P., Gurol-Urganci I., Thakar R., et al. Impact of a mid-urethral synthetic mesh sling on long-term risk of systemic conditions in women with stress urinary incontinence: a national cohort study. *BJOG*. 2022;129(4):664–670. DOI: 10.1111/1471-0528.16917
14. Wang H., Klosterhalfen B., Müllen A., et al. Degradation resistance of PVDF mesh in vivo in comparison to PP mesh. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;119:104490. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104490.
15. Lacorche G., Marois Y., Guidoin R., et al. Polyvinylidene fluoride (PVDF) as a biomaterial: from polymeric raw material to monofilament vascular suture. *J. Biomed. Mater. Res*. 1995;29(12):1525–1536.
16. Klinge U., Klosterhalfen B., Ottinger A.P., et al. PVDF as a new polymer for the construction of surgical meshes. *Biomaterials*. 2002;23(16):3487–3493.
17. Горелов А.С. Обоснование и оценка эффективности применения сетчатых имплантатов из поливинилиденфторида в оперативном лечении послеоперационных вентральных грыж (экспериментально-клиническое исследование): дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2008. 182 с. [Gorelov A.S. Substantiation and evaluation of the effectiveness of polyvinylidene fluoride mesh implants in the surgical treatment of postoperative ventral hernias (experimental and clinical study): Dissertation of the Candidate of Medical Sciences. St. Petersburg, 2008, 182 p. (In Russ.)].
18. Нетяга А.А., Бежин А.И., Плотников Р.В., Жуковский В.А. Экспериментальное обоснование возможности применения эндопротезов на основе ПВДФ-мононитей для пластики брюшной стенки. *Альманах ин-та хир. им. А.В. Вишневого*. 2008;3(2):24. [Netyaga A.A., Bezgin A.I., Plotnikov R.V., Zhukovsky V.A. Experimental substantiation of the possibility of using PVDF-monofilament endoprotheses for abdominal wall plastic surgery. *Almanac of the A.V. Vishnevsky Institute of Surgery*. 2008;3(2):24. (In Russ.)].
19. Филипенко Т.С. Разработка сетчатых эндопротезов для реконструктивно-восстановительной хирургии и исследование их свойств: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009. 164 с. [Filipenko T.S. The development of mesh endoprotheses for reconstructive and reconstructive surgery and the study of their properties: Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg, 2009, 264 p. (In Russ.)].
20. Белоусов А.М., Армашов В.П., Шкарупа Д.Д. и др. Безопасность сетчатых эндопротезов с фторполимерным покрытием: результаты пилотного исследования. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2023;2:43–58. [Belousov A.M., Armashov V.P., Shkarupa D.D., et al. Safety of fluoropolymer-coated mesh endoprotheses: results of a pilot study. *Surgery. The N.I. Pirogov Magazine*. 2023;2:43–58. (In Russ.)].

21. Белоусов А.М., Армашов В.П., Шкарупа Д.Д. и др. Гистологические изменения при интраперитонеальной пластике (IPOM) синтетическими и биологическими эндопротезами. Результаты хронического эксперимента. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2023;7:37–50. [Belousov A.M., Armashov V.P., Shkarupa D.D., et al. Histological changes in intraperitoneal plastic surgery (IPOM) with synthetic and biological endoprotheses. The results of a chronic experiment. *Surgery. The N.I. Pirogov Magazine*. 2023;7: 37–50. (In Russ.)].
22. Белоусов А.М., Непомнящая С.Л., Данилин В.Н. и др. Результаты клинического применения сетчатого эндопротеза с антиадгезивным фторполимерным покрытием при лапароскопической интраперитонеальной пластике первичных вентральных грыж. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2024;5:86–94. DOI: 10.17116/hirurgia202405186. [Belousov A.M., Nepomnyashchaya S.L., Danilin V.N., et al. The results of the clinical application of a mesh endoprosthesis with an anti-adhesive fluoropolymer coating in laparoscopic intraperitoneal plastic surgery of primary ventral hernias. *Surgery. The N.I. Pirogov Magazine*. 2024;5:86–94. (In Russ.)].
23. Белоусов А.М., Непомнящая С.Л., Данилин В.Н. и др. Результаты клинического применения сетчатого эндопротеза с антиадгезивным фторполимерным покрытием при лапароскопической интраперитонеальной пластике послеоперационных вентральных грыж. *Российский хирургический журнал*. 2025;1(1):20–27. [Belousov A.M., Nepomnyashchaya S.L., Danilin V.N., et al. The results of the clinical application of a mesh endoprosthesis with an anti-adhesive fluoropolymer coating in laparoscopic intraperitoneal plastic surgery of postoperative ventral hernias. *Russian Surgical Journal*. 2025;1(1):20–27. (In Russ.)].
24. Vierstraete M., Beckers R., Vangeel L., et al. Prospective cohort study on mesh shrinkage measured with MRI after robot-assisted minimal invasive retrorectus ventral hernia repair using an iron-oxide-loaded polyvinylidene fluoride mesh. *Surg Endosc*. 2023;37(6):4604–4612. DOI: 10.1007/s00464-023-09938-3.
25. Muysoms F., Beckers R., Kyle-Leinhase I. Prospective cohort study on mesh shrinkage measured with MRI after laparoscopic ventral hernia repair with an intraperitoneal iron oxide-loaded PVDF mesh. *Surg Endosc*. 2018;32(6):2822–2830. DOI: 10.1007/s00464-017-5987-x

Поступила 14.07.2025

Принята 19.07.2025

Опубликована 29.08.2025

Received 14.07.2025

Accepted 19.07.2025

Publication 29.08.2025

Авторы

Белоусов Александр Михайлович – д-р мед. наук, заместитель главного врача по медицинской части (хирургия, онкология), Санкт-Петербургский государственный университет Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия, info@alexandrbelousov.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2274-8170>

Филиппенко Татьяна Сергеевна – канд. техн. наук, главный технолог, ООО «Линтекс», Санкт-Петербург, Россия, rdd.lintex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7878-6371>

Анущенко Татьяна Юрьевна – начальник научно-производственной лаборатории, ООО «Линтекс», Санкт-Петербург, Россия, atu0106@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9266-0756>

Authors

Belousov Alexander M. – Doctor of Medical Sciences, Deputy Chief Physician for Medical Affairs (Surgery, Oncology), St. Petersburg State University Hospital, St. Petersburg, Russia, info@alexandrbelousov.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2274-8170>

Filippenko Tatiana S. – Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist, Lintex LLC, St. Petersburg, Russia, rdd.lintex@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7878-6371>

Anushchenko Tatiana Yu. – Head of the Scientific and Production Laboratory, Lintex LLC, St. Petersburg, Russia, atu0106@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9266-0756>