



Рамков А.Г.✉, Ключко Д.А., Летковская Т.А., Гаин Ю.М.  
Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

## Морфологическая оценка тканевой реакции на полипропиленовый сетчатый имплантат и шовные материалы в эксперименте

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** концепция и дизайн исследования, редактирование, сбор материала, обработка, написание текста – Рамков А.Г., Летковская Т.А.; концепция и дизайн исследования, редактирование, обработка, написание текста – Ключко Д.А.; концепция и дизайн исследования, редактирование – Гаин Ю.М.

**Этическое заявление:** структура и план исследования одобрены комитетом по биомедицинской этике Белорусского государственного медицинского университета, протокол № 12 от 18.09.2025.

Подана: 24.01.2026

Принята: 11.05.2026

Контакты: anton.ramkov@gmail.com

### Резюме

**Цель.** На основании полуколичественной системы оценки сравнить местное биологическое действие имплантата и шовного материала при различных методах герниопластики в эксперименте, оценить особенности тканевой реакции и выявить факторы, влияющие на ее вариабельность.

**Материалы и методы.** Экспериментальное исследование выполнено на 40 морских свинок, разделенных на группу ненатяжной пластики (Sp, n=20) и группу натяжной пластики (Np, n=20). В каждой группе сформировано по 4 подгруппы в зависимости от типа шовной нити: рассасывающиеся (плетеная ПГА (полигликолид), монофиламентные Сургикрол и Сургикрол Плюс) и нерассасывающаяся (Даклон). Оценку периимплантационной тканевой реакции проводили на 7, 14, 21 и 30-е сутки полуколичественным методом согласно шкале ГОСТ ISO 10993-6-2021 с расчетом суммарного балла воспалительно-репаративного ответа. Статистический анализ выполняли с помощью обобщенных оценочных уравнений (GEE) с учетом внутрикластерной корреляции.

**Результаты.** Статистически значимых различий по интегральному суммарному баллу между группами Sp и Np не выявлено ( $p=0,869$ ). В группе с сетчатым имплантатом (Sp) зафиксирована достоверно меньшая выраженность макрофагальной инфильтрации по сравнению с натяжной пластикой ( $p=0,007$ ). Согласно биологическому критерию ГОСТа (разница средних  $\Delta \geq 3,0$  балла), в ранние сроки (7–14 сут.) в условиях натяжения (Np) отмечена выраженная реакция на нити Сургикрол и Даклон. Напротив, комбинация сетки с плетеной ПГА и Сургикрол Плюс ассоциировалась с пролонгацией воспалительного ответа на поздних сроках (21–30 сут.).

**Заключение.** Суммарная выраженность тканевой реакции при использовании полипропиленовой сетки сопоставима с натяжной пластикой, однако профиль воспаления отличается снижением макрофагальной инфильтрации. Для минимизации риска хронического воспаления и избыточного фиброза при фиксации сетчатого эндопротеза предпочтение следует отдавать монофиламентным нитям, не вызывающим отсроченной активации продуктивного ответа.



**Ключевые слова:** герниопластика, полипропиленовая сетка, шовный материал, тканевая реакция, морфологическая оценка

Ramkov A.✉, Kluiko D., Letkovskaya T., Gain Yu.  
Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

## Morphological Assessment of Tissue Reaction to Polypropylene Mesh Implant and Suture Materials in an Experiment

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** study concept and design, editing, material collection, data processing, text writing – Ramkov A., Letkovskaya T.; study concept and design, editing, data processing, text writing – Kluiko D.; study concept and design, editing – Gain Yu.

**Ethics statement:** the structure and plan of the study were approved by the Biomedical Ethics Committee of the Belarusian State Medical University, protocol No. 12 dated September 18, 2025.

Submitted: 24.01.2026

Accepted: 11.05.2026

Contacts: anton.ramkov@gmail.com

### Abstract

**Purpose.** To compare local biological effects of the implant and suture material in different hernioplasty techniques using a semi-quantitative scoring system in an experiment, to evaluate the characteristics of the tissue reaction, and to identify factors influencing its variability.

**Materials and methods.** An experimental study was conducted on 40 guinea pigs divided into a tension-free hernioplasty group with polypropylene mesh (Sp, n=20) and a tension hernioplasty group using local tissues (Np, n=20). Each group was subdivided into 4 subgroups according to the type of suture material: absorbable (braided PGA (polyglycolide), monofilament Surgicrol and Surgicrol Plus), and non-absorbable (Daclon). Peri-implant tissue reaction was assessed on days 7, 14, 21, and 30 using a semi-quantitative method in accordance with the GOST ISO 10993-6-2021 scale, with calculation of a total inflammatory reparative response score. Statistical analysis was performed using Generalized Estimating Equations (GEE) accounting for within-cluster correlation.

**Results.** No statistically significant difference in the total integrated score was found between the Sp and Np groups ( $p=0.869$ ). A significantly lower level of macrophage infiltration was observed in the mesh implant group (Sp) compared to the tension repair group ( $p=0.007$ ). According to the GOST biological criteria (difference in means  $\Delta \geq 3.0$  points), a pronounced reaction to Surgicrol and Daclon sutures was noted in the early stages (7–14 days) under tension conditions (Np). In contrast, the combination of mesh with woven PGA and Surgicrol Plus was associated with a prolongation of the inflammatory response in the late stages (21–30 days).

**Conclusion.** The overall severity of the tissue reaction when using a polypropylene mesh is comparable to that of tension repair; however, the inflammatory profile is characterized by reduced macrophage infiltration. To minimize the risk of chronic inflammation and

excessive fibrosis during mesh fixation, preference should be given to monofilament sutures that do not induce delayed activation of a productive tissue response.

**Keywords:** hernioplasty, polypropylene mesh, suture material, tissue reaction, morphological assessment

---

## ■ ВВЕДЕНИЕ

Наружные грыжи живота являются одной из наиболее распространенных патологий в абдоминальной хирургии. По современным оценкам, ежегодно в мире выполняется более 20 миллионов операций по поводу грыж [1]. В странах с высоким уровнем дохода частота выполнения герниопластики постоянно увеличивается, что связано со старением населения и увеличением распространенности факторов риска грыжевой болезни, включая ожирение и сахарный диабет [2]. Несмотря на непрерывное совершенствование хирургической техники и технологической поддержки вмешательств, частота рецидивов после натяжных методов пластики может достигать более 30% [3].

Современные международные рекомендации однозначно указывают на необходимость применения сетчатых имплантатов при лечении большинства наружных грыж живота [2, 4]. Биологический ответ тканей на чужеродный материал имплантата представляет собой сложный каскад реакций, включающих острое воспаление, неоангиогенез, формирование грануляционной ткани и последующее ремоделирование ткани с развитием фиброза [5]. Ключевую роль в этом процессе играют макрофаги и гигантские клетки инородных тел, определяющие характер взаимодействия между имплантатом и тканями организма [6].

Выраженность воспалительной реакции зависит не только от свойств сетчатого имплантата, но и от характеристик используемого шовного материала [7]. Плетеные рассасывающиеся нити обладают большей фитильностью и могут усиливать воспалительный ответ, тогда как монофиламентные материалы характеризуются меньшей тканевой реактивностью [8]. Нерассасывающиеся нити способны вызывать длительную персистирующую макрофагально-гигантоклеточную реакцию тканей [6, 7].

Дополнительным фактором, влияющим на характер тканевой реакции, является механическое натяжение тканей в зоне пластики. При натяжной герниопластике развивается локальная ишемия тканей, способствуя усилению воспалительной реакции и замедлению репаративных процессов [9]. В свою очередь, использование сетчатого имплантата обеспечивает более равномерное распределение нагрузки на адаптируемые ткани и оптимизацию процессов регенерации ран [9].

Для объективной оценки биологического действия имплантируемых материалов применяется международный стандарт ГОСТ ISO 10993-6 – 2021, регламентирующий морфологическое исследование локальной тканевой реакции [10]. В соответствии с данным стандартом используется полуколичественная система оценки, позволяющая интегрально учитывать выраженность воспаления, некроза и репаративных процессов в зоне имплантации материала.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных биосовместимости сетчатых имплантатов, работы, оценивающие сочетанное влияние системы «сетка – шовный материал» в динамике, в литературе представлены ограниченно [11, с. 41]. Отечественными учеными подчеркивается влияние выбора шовного



материала на конечные результаты герниопластики, однако морфологические экспериментальные исследования, касающиеся данного вопроса, остаются немногочисленными [11–13].

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании полуколичественной системы оценки сравнить местное биологическое действие имплантата и шовного материала при различных методах герниопластики в эксперименте, оценить особенности тканевой реакции и выявить факторы, влияющие на ее вариабельность.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное экспериментальное исследование выполнено в соответствии с требованиями «Инструкции о порядке обращения с лабораторными животными», утвержденной постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь 02.12.2024 № 164/124. Исследование проведено на 40 морских свинках:

- группа Sp (n=20) – герниопластика полипропиленовым сетчатым имплантатом;
- группа Np (n=20) – натяжная герниопластика.

В каждой из групп формировали 4 подгруппы в зависимости от используемой нити: рассасывающаяся плетеная (ПГА), рассасывающаяся монофиламентная (Сургикрол, Сургикрол Плюс (в составе хлоргексидин)), нерассасывающаяся монофиламентная (Даклон).

Операции выполняли в условиях операционной вивария с соблюдением правил асептики и антисептики. Кожу передней брюшной стенки брили и обрабатывали антисептиком. Наркоз: внутривенное введение 1%-го раствора пропофола (индукция 7 мг/кг, поддержание 0,5 мг/кг/мин). Животное фиксировали на операционном столике. В 4 установленных участках выполняли продольное рассечение кожи, подкожной клетчатки, апоневроза, отделение париетальной брюшины без ее вскрытия и формирование грыжевого дефекта площадью до 1 см<sup>2</sup>. Далее выполняли пластику дефекта в зависимости от подгруппы. Животных выводили из эксперимента этапно: на 7, 14, 21 и 30-е сутки забирали по 5 особей из каждой исследуемой группы для гистологического исследования.

Тканевые блоки из зоны пластики фиксировали, заливали в парафин, готовили срезы и окрашивали гематоксилином-эозином. Периимплантационную реакцию (в зоне контакта «имплантат/нить – ткани») оценивали полуколичественно согласно ГОСТу. В соответствии с Приложением Е ГОСТа воспалительные параметры и некроз оценивали и умножали на 2 (взвешивание), затем суммировали с параметрами репарации (неоваскуляризация, фиброз, жировой инфильтрат). Результатом гистологической оценки являлся средний балл для животного по количеству исследованных имплантированных образцов. По результатам оценки указывали реакцию ткани на имплантацию образца и класс реактивности (в баллах) по сравнению с контрольным образцом: 0,0–2,9 – минимальная / нет реакции; 3,0–8,9 – слабая; 9,0–15,0 – умеренная; ≥15,1 – выраженная. Статистический анализ выполняли с использованием стандартного пакета программы SPSS Statistics v.27, а также обобщенных оценочных уравнений (GEE) с робастными стандартными ошибками и учетом кластеризации по номеру животного.

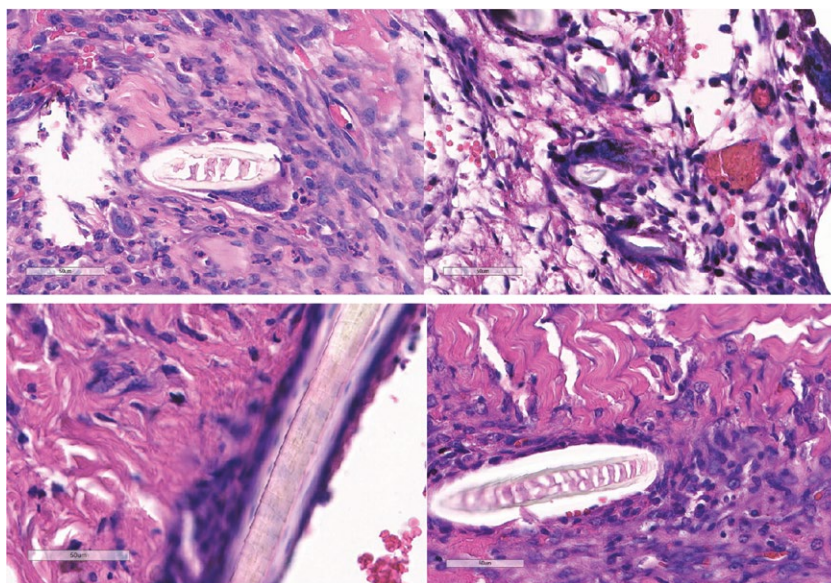
## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ полученных данных демонстрирует сложную динамику тканевой реакции на имплантацию, зависящую как от химической природы и структуры шовного материала, так и от условий присутствия полипропиленового сетчатого имплантата. Формирование 4 стандартизированных дефектов в разных участках тела животного позволяло сопоставлять шовные материалы внутри одного организма (снижение межиндивидуальной вариабельности), однако при статистическом анализе приходилось учитывать кластеризацию наблюдений внутри одного организма.

При анализе интегрального показателя (F.1+F.2) с использованием моделей, учитывающих внутрикластерную корреляцию (GEE), статистически значимых различий между группами Sp и Np не выявлено ( $\beta = -0,145$ ; 95% ДИ  $-1,870-1,581$ ;  $p = 0,869$ ). Величина эффекта была минимальной ( $\eta^2 = 0,001$ ; Cliff's delta = 0,075), что свидетельствует об отсутствии существенного различия по суммарной тканевой реакции между сравниваемыми условиями.

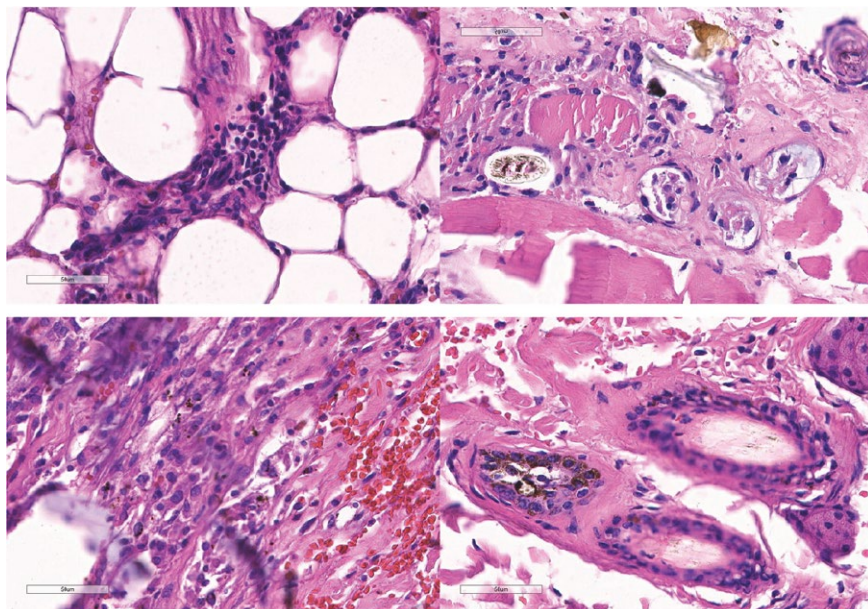
Несмотря на отсутствие статистически значимых различий по интегральному показателю, анализ подгрупп и отдельных морфологических параметров позволяет выявить биологически значимые особенности тканевого ответа.

Выраженное межгрупповое различие касалось макрофагальной инфильтрации: в группе Sp она была ниже по сравнению с группой Np ( $\beta = -0,211$ ; 95% ДИ  $-0,363-0,058$ ;  $p = 0,007$ ), при этом величина эффекта оценивалась как крупная по  $\eta^2$  (0,162) и средняя по Cliff's delta ( $-0,432$ ). Это указывает на различия в клеточном профиле воспалительной реакции при сопоставимой общей интенсивности тканевого ответа.

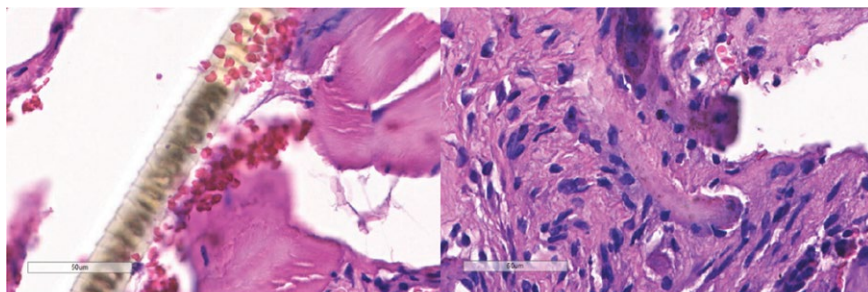


**Рис. 1.** Пластика передней брюшной стенки полипропиленовой хирургической сеткой, 7-е сутки, окраска гематоксилин-эозином,  $\times 400$

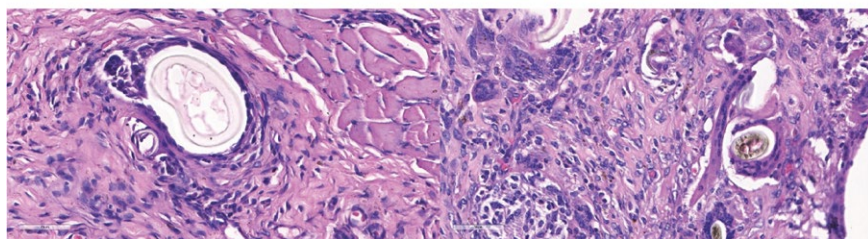
**Fig. 1.** Repair of the anterior abdominal wall with a polypropylene surgical mesh, day 7, hematoxylin and eosin staining,  $\times 400$



**Рис. 2.** Натяжная пластика передней брюшной стенки, 7-е сутки, окраска гематоксилин-эозином,  $\times 400$   
**Fig. 2.** Tension repair of the anterior abdominal wall, day 7, hematoxylin and eosin staining,  $\times 400$



**A**

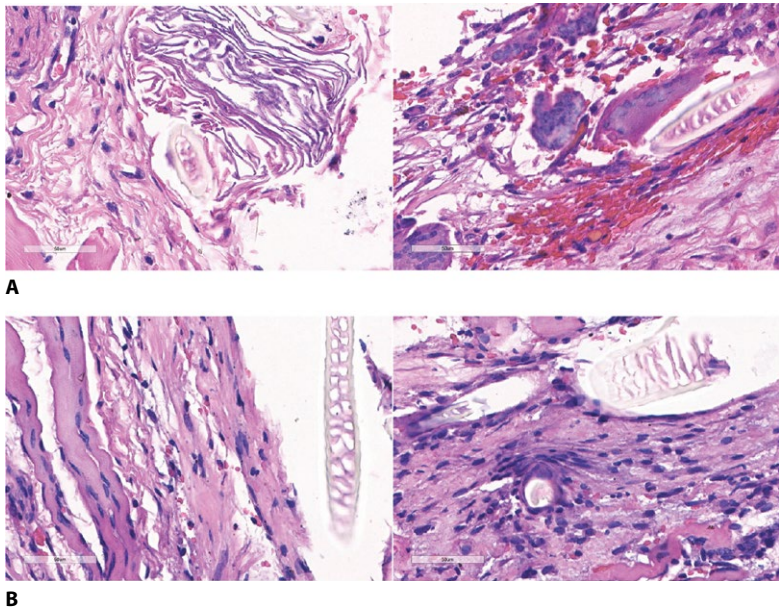


**B**

**Рис. 3.** Пластика передней брюшной стенки, 14-е сутки, окраска гематоксилин-эозином,  $\times 400$ .  
**A** – ненатяжная пластика, **B** – натяжная пластика  
**Fig. 3.** Repair of the anterior abdominal wall, day 14, hematoxylin and eosin staining,  $\times 400$ . **A** – tension-free repair, **B** – tension repair



**Рис. 4. Пластика передней брюшной стенки, 21-е сутки, окраска гематоксилин-эозином,  $\times 400$ .  
А – ненатяжная пластика, В – натяжная пластика  
Fig. 4. Repair of the anterior abdominal wall, day 21, hematoxylin and eosin staining,  $\times 400$ . A – tension-free repair, B – tension repair**



**Рис. 5. Пластика передней брюшной стенки, 30-е сутки, окраска гематоксилин-эозином,  $\times 400$ .  
А – ненатяжная пластика, В – натяжная пластика  
Fig. 5. Repair of the anterior abdominal wall, day 30, hematoxylin and eosin staining,  $\times 400$ . A – tension-free repair, B – tension repair**



На 7-е сутки медианы суммарного балла во всех подгруппах с сеткой (Sp) и без сетки (Np) варьировали в диапазоне от 22 до 32 баллов, что укладывалось в картину умеренно выраженной воспалительной реакции, характерной для раннего послеоперационного периода. В группе Sp морфологическая картина соответствовала экссудативно-пролиферативной фазе воспаления с формированием грануляционной ткани, выраженной неоваскуляризацией и минимальными некротическими изменениями (рис. 1).

В группе Np чаще в зоне герниопластики наблюдались признаки более выраженного острого воспаления, с признаками тканевого повреждения и геморрагии; некротические изменения носили очаговый и слабо выраженный характер (рис. 2).

В табл. 1 представлена описательная статистика в отдельных подгруппах, где отмечалась тенденция к более высоким значениям суммарного балла в группе Np. Однако с учетом кластеризации данные различия не позволяют сделать вывод о статистически значимом влиянии метода пластики на интегральную выраженность воспалительной реакции на данном сроке.

К 14-м суткам наблюдался переход воспалительного процесса в фазу хронического продуктивного воспаления. Морфологически в обеих группах в зоне пластики в тканях преобладали лимфоциты и макрофаги, нейтрофильный компонент был минимален, отмечались активная неоваскуляризация и формирование соединительной ткани (рис. 3).

При оценке тканевой реактивности в соответствии с описательной статистикой выявлялись разнонаправленные результаты в зависимости от вида используемого шовного материала. Для части нитей (Сургикрол, Даклон) отмечалась тенденция к более выраженной реакции в группе Np, тогда как для ПГА и Сургикрол Плюс

**Таблица 1**  
**Суммарный балл местного биологического действия на 7-е сутки (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

**Table 1**  
**Total score of local biological effect on day 7 (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

Группа	ПГА	Сургикрол	Сургикрол Плюс	Даклон
Sp	25,6±4,4 24 [23; 26]	24,0±2,3 25 [22; 26]	22,4±2,6 22 [21; 25]	29,2±5,2 30 [27; 31]
Np	27,0±3,4 26 [25; 30]	29,8±7,9 32 [22; 36]	25,4±4,8 26 [21; 29]	31,6±4,8 29 [29; 31]
Δ	-1,4	-5,8	-3,0	-2,4

Примечание: Δ – разность средних значений, используемая для биологической интерпретации степени тканевой реактивности по ГОСТу.

**Таблица 2**  
**Суммарный балл местного биологического действия на 14-е сутки (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

**Table 2**  
**Total score of local biological effect on day 14 (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

Группа	ПГА	Сургикрол	Сургикрол Плюс	Даклон
Sp	26,2±4,3 29 [22; 29]	22±1,0 22 [21; 23]	26,6±4,6 24 [23; 30]	24±6,2 23 [20; 27]
Np	19,2±5,6 21 [15; 22]	25,8±2,4 26 [24; 27]	19,8±3,1 20 [19; 22]	28,8±3,6 28 [27; 28]
Δ	7,0	-3,8	6,8	-4,8

в отдельных наблюдениях более высокие значения степени тканевой реактивности по ГОСТу фиксировались в группе Sp.

Как представлено в табл. 2, выраженность тканевой реакции определялась не столько методом пластики, сколько сочетанием свойств шовного материала и условиями его функционирования в тканях.

На 21-е сутки в обеих группах герниопластики в тканях формировалась картина хронического продуктивного воспаления с развитием макрофагально-гигантоклеточной реакции. Отмечалось активное ремоделирование ткани и формирование соединительнотканной капсулы (рис. 4).

Как представлено в табл. 3, выраженные различия наблюдались для ПГА, где в условиях использования сетчатого имплантата отмечалась тенденция к более высокому суммарному баллу тканевой реактивности. Это отражает длительную персистенцию воспалительной реакции, связанной с плетеной структурой материала. Для остальных видов нитей существенных различий между группами не выявлено, что указывает на сопоставимый характер репаративных процессов.

На 30-е сутки наблюдалась завершающая стадия репаративного процесса. Воспалительная инфильтрация тканей была минимальной, сохранялись единичные гигантские клетки инородных тел (рис. 5).

Наиболее выраженное различие отмечено для Сургикрол Плюс: в группе Sp значения суммарного балла оставались более высокими по сравнению с группой Np. Это может отражать более медленное ремоделирование ткани при использовании антисептически модифицированного материала в сочетании с сетчатым имплантатом. В целом различия между группами в этом сроке носили избирательный характер и зависели от типа шовного материала (табл. 4).

**Таблица 3**  
**Суммарный балл местного биологического действия на 21-е сутки (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**  
**Table 3**  
**Total score of local biological effect on day 21 (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

Группа	ПГА	Сургикрол	Сургикрол Плюс	Даклон
Sp	30,2±3,3 30 [27; 33]	23,6±3,0 24 [22; 24]	21,0±2,2 21 [20; 22]	27,6±3,2 28 [26; 30]
Np	24±1,9 24 [24; 25]	24,2±3,0 26 [22; 26]	22,4±3,0 21 [20; 24]	29,4±1,9 30 [28; 30]
Δ	6,2	-0,6	-1,4	-1,8

**Таблица 4**  
**Суммарный балл местного биологического действия на 30-е сутки (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**  
**Table 4**  
**Total score of local biological effect on day 30 (Mean±SD, Me [Q1; Q3])**

Группа	ПГА	Сургикрол	Сургикрол Плюс	Даклон
Sp	21,5±3,0 22 [19; 24]	23,3±3,2 22 [21,5; 25]	30,5±1,7 31 [29,5; 31,5]	25±4,7 23 [22,5; 27,5]
Np	23,3±6,6 23 [18; 28,5]	25,8±4,8 26 [22; 29,5]	18,8±4,2 19,5 [16; 21,5]	29,0±0,8 29 [28,5; 29,5]
Δ	-1,8	-2,5	11,8	-4,0



Согласно критериям, изложенным в Приложении Е ГОСТа, разность средних значений суммарного балла между испытуемой и контрольной группами ( $\Delta$ ), составляющая менее 3,0 балла, трактуется как минимальная или незначимая реакция на имплантацию. Проведенный сравнительный анализ пар «Sp – Np» для каждого вида шовного материала во все контрольные сроки показал, что для большинства наблюдений данное условие выполняется. Однако выявлен ряд исключений, где абсолютная разница средних баллов ( $\Delta$ ) составила  $\geq 3,0$ . Это свидетельствует о биологически выраженном различии в тканевой реактивности. Однако данный показатель отражает лишь биологическую выраженность тканевой реакции и не является самостоятельным критерием статистической значимости различий.

### **Перечень сравнений с $\Delta \geq 3,0$ балла**

**7-е сутки.** Сургикрол:  $\Delta = 5,8$  балла (Np 29,8 против Sp 24,0) – тканевая реакция в группе без сетки выражена сильнее. Сургикрол Плюс:  $\Delta = 3,0$  балла (Np 25,4 против Sp 22,4) – пограничное значение, реакция в Np несколько выше.

**14-е сутки.** На данном сроке зафиксировано наибольшее количество расхождений. Все четыре исследуемые нити продемонстрировали превышение порога в 3,0 балла. ПГА:  $\Delta = 7,0$  балла (Sp 26,2 против Np 19,2) – тканевая реакция в группе с сеткой сильнее. Сургикрол:  $\Delta = 3,8$  балла (Np 25,8 против Sp 22,0) – реакция в Np выше. Сургикрол Плюс:  $\Delta = 6,8$  балла (Sp 26,6 против Np 19,8) – тканевая реакция в группе с сеткой выражена сильнее. Даклон:  $\Delta = 4,8$  балла (Np 28,8 против Sp 24,0) – реакция в Np выше.

**21-е сутки.** ПГА:  $\Delta = 6,2$  балла (Sp 30,2 против Np 24,0) – сохраняется высокая тканевая реакция в присутствии сетки.

**30-е сутки.** Сургикрол Плюс:  $\Delta = 11,7$  балла (Sp 30,5 против Np 18,8) – максимальное расхождение за весь эксперимент, указывающее на выраженную отсроченную реакцию в группе Sp. Даклон:  $\Delta = 4,0$  балла (Np 29,0 против Sp 25,0) – тканевая реакция в группе без сетки остается высокой.

## **■ ОБСУЖДЕНИЕ**

Проведенное исследование выявило, что, несмотря на отсутствие статистически значимых различий интегрального показателя тканевой реакции между натяжной и ненапряжной пластикой, существуют значимые биологические особенности ответа, зависящие от комбинации «шовный материал и наличие сетки». Снижение макрофагальной инфильтрации тканей в группе Sp при сходной общей интенсивности воспаления указывает на изменение клеточного профиля реакции в присутствии синтетического эндопротеза, что согласуется с данными о поляризации макрофагов в ответ на биоматериалы [6] и результатами экспериментального исследования тканевой реакции на полипропиленовые сетки [13].

Полученные в проведенном исследовании данные показывают, что в ранние сроки (7-е сут.) и на этапе разгара продуктивного воспаления (14-е сут.) фактор механического натяжения тканей в зоне пластики (группа Np) для ряда нитей (Сургикрол, Даклон) приводит к выраженной тканевой реакции на синтетический материал, превышающей порог биологической толерантности в 3 балла. Это согласуется с существующими представлениями о том, что натяжение тканей в зоне шва способно

потенцировать локальное воспаление, что находит отражение в клинических руководствах по герниопластике [2] и обсуждении биологических аспектов хирургии грыж [1]. Напротив, для материалов ПГА (14-е, 21-е сут.) и Сургикрол Плюс (30-е сут.) превышение порога  $\Delta \geq 3,0$  ассоциировано с группой Sp, что указывает на затяжной характер воспалительно-репаративного ответа в условиях сочетания плетеной/антисептической нити с синтетическим сетчатым имплантатом. Таким образом, гипотеза о том, что сетка всегда усиливает воспалительный ответ, не находит своего подтверждения, решающее значение при этом имеет конкретная комбинация материалов.

Максимальное расхождение значений тканевой реакции на 30-е сутки для Сургикрол Плюс ( $\Delta = 11,7$  балла, реакция в Sp выше) может отражать замедленное ремоделирование ткани в присутствии антисептически модифицированного шовного материала и синтетической сетки. Отсроченная персистенция воспалительной реакции при использовании нитей с покрытием описана в литературе, в частности при применении антибактериальных шовных материалов [8], и может быть связана с длительным влиянием компонентов покрытия на клеточное микроокружение, подобно реакциям на инородное тело [5].

Полученные данные хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными исследованиями, демонстрирующими особенности клеточной инфильтрации и формирования фиброзной капсулы вокруг полипропиленовых имплантатов в сравнении с альтернативными материалами [13], а также с общей моделью реакции на инородное тело [5]. Анализ разностей средних баллов согласно критериям ИСО 10993-6 [10] показал, что для большинства комбинаций «нить – срок» реакция со стороны тканей была минимальной либо незначимой, что свидетельствует о приемлемой биосовместимости исследованных материалов в обеих моделях пластики. Тем не менее выявленные исключения демонстрируют клинически значимое влияние натяжения и присутствия сетки на тканевую реактивность, что должно учитываться при выборе шовного материала для конкретного вида герниопластики.

Ограничения настоящего исследования заключались в использовании экспериментальной модели на животных (морские свинки); морфологическая оценка проводилась полуколичественным методом согласно ГОСТу; в работе не выполнялась количественная оценка молекулярных маркеров воспаления и ремоделирования тканей, что ограничивало возможность детальной патофизиологической интерпретации выявленных межгрупповых различий, в частности касающихся причин снижения макрофагальной инфильтрации в группе с сеткой или отсроченной реакции на нити с антисептическим покрытием, – указанные обстоятельства определяют необходимость дальнейшей верификации полученных данных с привлечением расширенных выборов, методов иммуногистохимии и анализа экспрессии генов.

## ■ ВЫВОДЫ

1. При сравнительной оценке интегральной тканевой реакции по полуколичественной шкале статистически значимых различий между ненатяжной герниопластикой полипропиленовым сетчатым имплантатом и натяжной пластикой местными тканями не выявлено ( $p=0,869$ ). Суммарный балл воспалительно-репаративного ответа в обеих группах на протяжении всего эксперимента (7–30-е сутки) оставался сопоставимым, что не подтверждает гипотезу о систематическом усилении общей воспалительной реакции в присутствии сетчатого эндопротеза.



2. Выявлены различия в клеточном профиле местной тканевой реакции: в группе с имплантацией полипропиленовой сетки (Sp) отмечена статистически значимо меньшая выраженность макрофагальной инфильтрации по сравнению с натяжной пластикой (Np) ( $p=0,007$ ), что может указывать на модуляцию активности инородно-клеточного ответа при использовании синтетического имплантата без изменения общей интенсивности тканевой реакции.
3. Биологическая совместимость комбинации «сетчатый имплантат – шовный материал» носит избирательный и времязависимый характер. Согласно критериям ГОСТа (разница средних  $\Delta \geq 3,0$  балла), для рассасывающихся монофиламентных нитей (Сургикрол) и нерассасывающихся монофиламентных лигатур (Даклон) выраженная реакция зафиксирована в условиях натяжной пластики на ранних сроках (7–14-е сутки). Напротив, применение плетеной нити (ПГА) и антисептик-содержащей мононити (Сургикрол Плюс) в комбинации с сеткой ассоциировано с пролонгацией воспалительного ответа на поздних сроках (21–30-е сутки), что требует осторожности при выборе данных материалов для фиксации эндопротеза.
4. В целях вторичной медицинской профилактики послеоперационных осложнений (хронический болевой синдром, избыточный фиброз) при выборе шовного материала для фиксации полипропиленового сетчатого имплантата целесообразно учитывать фазность тканевой реакции. Полученные данные свидетельствуют о том, что стремление к минимизации местного воспаления требует дифференцированного подхода: в условиях аллопластики предпочтение следует отдавать монофиламентным нитям, не вызывающим отсроченной активации продуктивного воспаления, ассоциированной с плетеной структурой шовного материала или его дополнительной антисептической обработкой.

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kockerling F, Simons M.P. Current Concepts of Inguinal Hernia Repair. *Visceral Medicine*. 2018;34(2):145–150. doi: 10.1159/000487278
2. Simons M.P., Aufenacker T., Bay-Nielsen M. European Hernia Society guidelines on the treatment of inguinal hernia. *Hernia*. 2009;13(4):343–403. doi: 10.1007/s10029-009-0529-7
3. Bhardwaj P., et al. Year-Over-Year Ventral Hernia Recurrence Rates and Risk Factors. *JAMA Surgery*. 2024;159(6):651–658. doi: 10.1001/jamasurg.2024.0233
4. Bittner R., et al. Update of guidelines for laparoscopic treatment of ventral and incisional abdominal wall hernias. *Surgical Endoscopy*. 2019;33(10):3069–3139. doi: 10.1007/s00464-019-06907-7
5. Anderson J.M., Rodriguez A., Chang D.T. Foreign body reaction to biomaterials. *Seminars in Immunology*. 2008;20(2):86–100. doi: 10.1016/j.smim.2007.11.004
6. Brown B.N., Ratner B.D., Goodman S.B. Macrophage polarization: an opportunity for improved outcomes. *Biomaterials*. 2012;33(15):3792–3802. doi: 10.1016/j.biomaterials.2012.02.034
7. Klinge U., Klosterhalfen B. Modified classification of surgical meshes. *Hernia*. 2012;16(3):251–258. doi: 10.1007/s10029-012-0913-6
8. Greenberg J.A. The use of antibacterial sutures in preventing surgical site infection. *Surgical Infections*. 2010;11(5):451–456. doi: 10.1089/sur.2009.065
9. Melkonyan K., et al. Biomechanical properties of derma materials for hernioplasty. *Russian Journal of Biomechanics*. 2023;(2):10–17. doi: 10.15593/RZhBiomech/2023.2.01 (in Russian)
10. International Organization for Standardization. *Biological evaluation of medical devices – Part 6: Tests for local effects after implantation*. Geneva: ISO; 2016. (ISO 10993-6:2016).
11. Egiev V. *Hernias*. 3rd ed. Moscow: Medpraktika-M; 2024. 664 p. (in Russian)
12. Dudinskii A. New method of abdominal wall surgery in case of incisional hernia: comparative experimental research. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2022;20(5):531–536. (in Russian)
13. Bogdan V., Shved I., Gain Yu. Features of tissue response to implantation surgical meshes from polypropylene and vicryl in zone modelling defect of abdominal wall in experimental animal. *Meditsinskii zhurnal*. 2011;4:37–42. (in Russian)