

Сравнительный морфологический анализ реакции соединительной ткани на имплантацию полипропиленовых эндопротезов

Х.А. Абдувосидов^{1,2,3}, В.Г. Шестакова³, А.М. Переведенцева^{2,4}, И.А. Чекмарева⁵, С.М. Чудных², Л.М. Баранчугова¹, А.Г. Алексеев¹, М.М. Кокоев⁶

¹ Российский биотехнологический университет
125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11

² Московский клинический научно-практический центр имени А.С. Логинова
Департамента здравоохранения г. Москвы
111123, г. Москва, Шоссе Энтузиастов, 86

³ Тверской государственный медицинский университет Минздрава России
170100, г. Тверь, ул. Советская, 4

⁴ Клиническая больница «РЖД-Медицина» имени Н.А. Семашко
109386, г. Москва, Ставропольская ул., 23, корп. 1

⁵ НМИЦ хирургии имени А.В. Вишневого Минздрава России
117997, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, 27

⁶ Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова
Минздрава России
127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, 4

Резюме

На сегодняшний день пальма первенства в плановой хирургии принадлежит проблеме грыж: в мире каждый год хирургическому лечению по поводу грыж передней брюшной стенки подвергается более 20 млн пациентов, большинству из которых выполняют аллопластику с использованием различного рода эндопротезов. Изучению влияния способов фиксации имплантатов и возникающей местной воспалительной реакции тканей на частоту рецидивов после аллогерниопластики посвящены единичные работы. Цель исследования – изучить в эксперименте особенности реакции соединительной ткани при пересаживании жесткого монофиламентного сетчатого полипропиленового (ПП) имплантата с эффектом памяти формы и классического сетчатого эндопротеза из монофиламентного ПП. **Материал и методы.** Для выявления особенностей тканевой реакции вокруг ПП-сетки выполнено экспериментальное исследование на 60 белых крысах-самцах линии Wistar. Животным первой группы ($n = 30$) вживляли жесткий сетчатый монофиламентный ПП-имплантат (Herniamesh, Италия) с эффектом памяти формы, крысам второй группы ($n = 30$) – классический сетчатый эндопротез из монофиламентного ПП для пластики мягких тканей ЭСФИЛ®стандартный (Линтекс, Россия). Исследованы биопаты через 1, 2, 3 месяца после имплантации ПП-сетки. **Результаты.** Морфологическое исследование показало, что через 1 месяц после вживления жесткого сетчатого монофиламентного ПП-имплантата воспалительная реакция менее выражена, чем при пересаживании классического ПП-эндопротеза. Такая реакция способствовала более раннему прорастанию коллагеновых волокон вокруг моноволокон жесткого имплантата. Через 2 и 3 месяца после имплантации ПП-сеток в обеих группах животных преимуществ в качестве образованного регенерата не отмечено. **Заключение.** При внедрении ПП-сетки с шовной фиксацией и жесткой монофиламентной ПП-сетки без фиксации имеет место закономерная ответная реакция на интеграцию эндопротеза, которая характеризуется асептическим воспалением с последующим выраженным фиброзом вокруг имплантата. Такие процессы, происходящие в ответ на имплантацию синтетических ПП эндопротезов, повышают местную механическую резистентность и способствуют дополнительной прочности тканей.

Ключевые слова: грыжи, герниопластика, полипропиленовые эндопротезы, местная реакция мягких тканей, воспаление, регенерация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки: Абдувосидов Х.А., e-mail: sogdiana99@gmail.com

Для цитирования: Абдувосидов Х.А., Шестакова В.Г., Переведенцева А.М., Чекмарева И.А., Чудных С.М., Баранчугова Л.М., Алексеев А.Г., Кокоев М.М. Сравнительный морфологический анализ реакции соединительной ткани на имплантацию полипропиленовых эндопротезов. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024;44(3):125–134. doi: 10.18699/SSMJ20240314

Comparative morphological analysis of connective tissue response to polypropylene endoprosthesis implantation

Kh.A. Abduvosidov^{1,2,3}, V.G. Shestakova³, A.M. Perevedentseva^{2,4}, I.A. Chekmareva⁵, S.M. Chudnykh², L.M. Baranchugova¹, A.G. Alekseev¹, M.M. Kokoev⁶

¹ *Russian Biotechnological University*

125080, Moscow, Volokolamskoe highw., 11

² *Moscow Clinical Scientific Center named after A.S. Loginov*

111123, Moscow, Enthuziastov highw., 86

³ *Tver State Medical University of Minzdrav of Russia*

170000, Tver, Sovetskay st., 4

⁴ *N.A. Semashko Clinical Hospital of Russian Railways-Medicine*

109386, Moscow, Stavropolskaya st., 23, b. 1

⁵ *A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery*

117997, Moscow, Bolshaya Serpukhovskaya st., 27

⁶ *Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov of Minzdrav of Russia*

127006, Moscow, Dolgorukovskaya st., 4

Abstract

Nowadays, the palm of superiority in elective surgery belongs to the problem of hernias. According to the literature worldwide, more than 20 million patients undergo surgical treatment for hernia of the anterior abdominal wall every year, most of whom undergo alloplasty using various kinds of nets. The study of the influence of methods for fixing implants and the emerging local inflammatory response of tissues on the frequency of relapses after allognioplasty is devoted to isolated works. Aim of the study was to investigate in an experiment the characteristics of the reaction of local tissues when implanting a rigid monofilament mesh polypropylene implant with a shape memory effect, and a classic mesh endoprosthesis made of monofilament polypropylene (PP) with various methods of fixing implants. **Material and methods.** An experimental study on 60 white male Wistar rats was performed to identify tissue reaction features around the PP mesh. Group 1 animals ($n = 30$) were implanted with a rigid mesh monofilament PP implant (Herniamesh, Italy) with shape memory effect, group 2 animals ($n = 30$) – with a classic mesh endoprosthesis made of monofilament PP for soft tissue repair ESFIL® standard (Lintex, Russia). Biopsies were examined at 1, 2, 3 months after implantation of the PP mesh. **Results.** A morphological study showed that 1 month after the implantation of a rigid mesh monofilament PP implant, the inflammatory reaction is less obvious than when implanting a classical PP endoprosthesis. This reaction contributed to the earlier germination of collagen fibers around the rigid implant monofilaments. At 2 and 3 months after the implantation of PP nets in both groups of animals, there were no advantages as the regenerate formed. **Conclusions.** When introducing PP mesh with suture fixation and rigid monofilament PP mesh without fixation, there is a natural response to the integration of the endoprosthesis, which is characterized by aseptic inflammation followed by pronounced fibrosis around the implant. Such processes, occurring in response to the implantation of synthetic polypropylene nets, increase local mechanical tissue resistance, and can create additional strength against recurrence of inguinal hernias.

Key words: hernias, hernioplasty, polypropylene endoprostheses, local soft tissue reaction, inflammation, regeneration.

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

Correspondence author: Abduvosidov Kh.A., e-mail: sogdiana99@gmail.com

Citation: Abduvosidov Kh.A., Shestakova V.G., Perevedentseva A.M., Chekmareva I.A., Chudnykh S.M., Baranchugova L.M., Alekseev A.G., Kokoev M.M. Comparative morphological analysis of connective tissue response to polypropylene endoprosthesis implantation. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(3):125–134. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240314

Введение

На сегодняшний день пальма первенства в плановой хирургии принадлежит проблеме хирургического лечения вентральных грыж: в мире каждый год хирургическому лечению по поводу грыж передней брюшной стенки подвергается более 20 млн пациентов, большинству из которых выполняют аллопластику с использованием различного рода эндопротезов [1–4]. С развитием технологий на современном рынке медицинских изделий появляется большое количество полимерных имплантатов для герниопластики с различными физико-химическими свойствами [5–7]. Для использования инородных имплантатов необходимо учесть в первую очередь биосовместимость и биореактивность. В литературе имеются сведения о создании полимерных сеток с различными покрытиями, в том числе антибактериальными, и покрытиями, улучшающими биологическую активность тканей, имплантатов из наноразмерных материалов и стволовых клеток, а также эндопротезов с применением технологий трехмерной печати [8–12]. Но несмотря на большой выбор материалов для герниопластики, мнения об их биологической совместимости и эффективности противоречивы [5, 13]. При этом изучению влияния способов фиксации имплантатов и влияния возникающей местной воспалительной реакции тканей на частоту рецидивов после аллогерниопластики посвящены единичные работы.

Цель исследования – изучить в эксперименте особенности реакции соединительной ткани при имплантации жесткого монофиламентного сетчатого полипропиленового (ПП) имплантата с эффектом памяти формы и классического сетчатого эндопротеза из монофиламентного ПП.

Материал и методы

Исследование выполнено на 60 белых крысах-самцах линии Wistar возрастом 6 мес. и массой тела 250–300 г, без внешних признаков заболевания, прошедших карантин в условиях вивария ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет Минздрава РФ. На его проведение получено разрешение этического комитета Тверского ГМУ (№ 1 от 11.05.2018).

Крысы были разделены на две группы. Животным первой группы ($n = 30$) имплантировали жесткий сетчатый монофиламентный ПП-имплантат (Herniamesh, Италия) с эффектом памяти формы, крысам второй группы ($n = 30$) – классический сетчатый эндопротез из монофиламентного ПП ЭСФИЛ® стандартный (Линтекс, Россия). Все манипуляции с животными осуществлялись после наступления анальгезии с

предварительным предбрюшинным введением разведенного (1:10) раствора тиопентала натрия. Волосистой покров на передней брюшной стенке животных выбривали. В стерильных условиях после обработки антисептиками на ней выполняли линейный разрез в продольном направлении длиной до 2 см, кожу с подкожной клетчаткой отсепаровывали от подлежащих мышц и имплантировали ПП-сетки стандартных размеров 1×1 см, с фиксацией ПП-мононитью классического сетчатого эндопротеза и без фиксации жесткого имплантата. Завершающим этапом было сшивание кожи при помощи капроновой нити № 1. В послеоперационном периоде животные получали воду и пищу *ad libitum* перорально.

Через 1, 2 и 3 мес. после имплантации ПП-сеток животных выводили из эксперимента передозировкой эфирного наркоза (введение анестетика в летальной дозе), на каждом сроке исследования – по 10 крыс в каждой группе. Для выявления особенностей тканевой реакции вокруг комплекса ПП-сетки с фиксацией ПП-нитками и местной реакции вокруг жесткой ПП-сетки без фиксации через 1, 2 и 3 мес. выполнено морфологическое исследование биоптатов из области имплантации на препаратах, приготовленных при помощи стандартной гистологической методики и окрашенных гематоксилином и эозином, толщина среза 5 мкм. Количественная оценка клеточного компонента вокруг нитей эндопротезов выполнена на каждом этапе контроля при помощи программы Pannogamic Viewer 1.15.4 (3DHISTECH Ltd., Венгрия), для чего препараты предварительно сканировали (PANNORAMIC 250 Flash, 3DHISTECH Ltd. Венгрия).

Электронно-микроскопическое исследование выполнено на приборе JEM 100 CX (JEOL, Япония) в трансмиссионном режиме при ускоряющем напряжении 80 кВ. Для этого материал фиксировали в 2,5%-м растворе глутарового альдегида, затем в 1%-м растворе оксида осмия и заключали в смесь араалдитовых смол. Ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца.

Данные приведены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me [Q1–Q3]). Сравнение между группами проводили при помощи метода Манна – Уитни, внутри групп – с использованием метода Ньюмена – Кейлса. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05.

Результаты и их обсуждение

При гистологическом исследовании фрагментов удаленных тканей установлено, что через

1 мес. после вживления жесткого монофиламентного сетчатого ПП-имплантата с памятью формы внутренний слой капсулы, прилежащий к нему, был представлен инфильтратом, в котором обнаружены все виды клеток рыхлой волокнистой соединительной ткани (таблица). В окружающей соединительной ткани отмечали гигантские клетки инородных тел, макрофаги, мелкие новообразованные сосуды. Отмечалось прорастание всех ячеек эндопротеза волокнистой соединительной тканью с признаками организации волокон в пучки и образованием соединительнотканых капсул различного диаметра вокруг ПП-нитей. Между коллагеновыми волокнами находили клетки фибробластического ряда.

В препаратах некоторых животных сохранялись межмышечные гематомы с участками разрешения, а также отложениями гемосидерина. Жесткий имплантат состоит из достаточно плотно переплетенных волокон. Между элементами сетки виден тканевой экссудат, а также скопления лимфоцитов и макрофагов. В препаратах наблюдали гигантские многоядерные макрофаги (рис. 1, а), размеры которых очень вариабельны. Практически возле каждого волокна располагается по многоядерной клетке. Несколько иная картина ближе к центру имплантата, здесь наблюдается отек ткани, между его элементами виден экссудат (см. рис. 1, а). Межволоконные промежутки заполнены клетками, отмечается миграция фибробластов в ячейки сетки. Уменьшается количество гигантских макрофагов, а те, что имеются, – значительно меньше по размеру. По краю имплантата отмечается некоторое утолщение соединительной ткани, начинают формироваться псевдотрабекулы, направленные к его центру. Эти прослойки соединительной ткани содержат множество фибробластов и небольшое количество незрелых коллагеновых волокон, пока еще едва заметных. Растущие трабекулы направляются между ПП-нитеями. Со стороны интактной межмышечной соединительной ткани заметен рост кровеносных сосудов. Кроме того, на препарате хорошо видно, что полного формирования рубца пока не наступило. При электронно-микроскопическом исследовании фрагментов ткани отмечали функционально активные фибробласты (коллагенобласты) с хорошо развитой гранулярной цитоплазматической сетью рядом с фрагментами ПП-нитей (см. рис. 1, б). Такие фибробласты синтезируют белки, в том числе коллаген, за счет чего происходит формирование соединительно-тканной капсулы вокруг нитей имплантата.

В препаратах второй группы животных через 1 мес. после имплантации классического сетчатого ПП-эндопротеза имелись признаки более вы-

Количественный состав клеток в зоне имплантации ПП-сеток в двух группах животных
Quantitative composition of cells in the PP mesh implantation zone in two groups of animals

Клетки	Количество клеток					
	1 мес.		2 мес.		3 мес.	
	Группа 1	Группа 2	Группа 1	Группа 2	Группа 1	Группа 2
Лимфоциты	17,0 [16,0–19,0]	29,0 [26,0–31,0] **	10,0 [8,0–13,0] ##	26,0 [23,0–29,0] **	10,0 [9,0–10,0] ##	16,0 [15,0–19,0] **##^
Плазмоциты	12,0 [10,0–13,0]	34,0 [30,0–37,0] **	7,0 [6,0–9,0] ##	23,0 [20,0–25,0] **##	6,0 [5,0–6,0] ##^	9,0 [7,0–12,0] **##^
Эозинофилы	17,0 [14,0–20,0]	18,0 [16,0–21,0]	15,0 [12,0–17,0] #	16,0 [14,0–18,0] #	11,0 [9,0–13,0] ##,^	11,0 [8,0–14,0] ##^
Макрофаги	25,0 [23,0–29,0]	18,0 [15,0–22,0] **	37,0 [34,0–40,0] ##	28,0 [26,0–30,0] **##	39,0 [38,0–42,0] ##	37 [34,0–40,0] *##^
Многоядерные гигантские клетки «инородных тел»	17,0 [15,0–20,0]	14,0 [11,0–17,0] *	23,0 [19,0–24,0] #	16,0 [14,0–19,0] **,#	23,0 [21,0–25,0] #	22,0 [20,0–25,0] #^
Фибробласты	46,0 [43,0–49,0]	32,0 [30,0–35,0] **	57,0 [56,0–59,0] ##	39,0 [37,0–42,0] **##	25,0 [22,0–29,0] ##^	25,0 [22,0–28,0] ##^

Примечание. Обозначены статистически значимые отличия от величины соответствующих показателей 1-й группы на том же сроке после имплантации (* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,001$), той же группы через 1 мес. после имплантации (# – при $p < 0,05$, ## – при $p < 0,001$), той же группы через 2 мес. после имплантации (^ – при $p < 0,05$, ^^ – при $p < 0,001$).

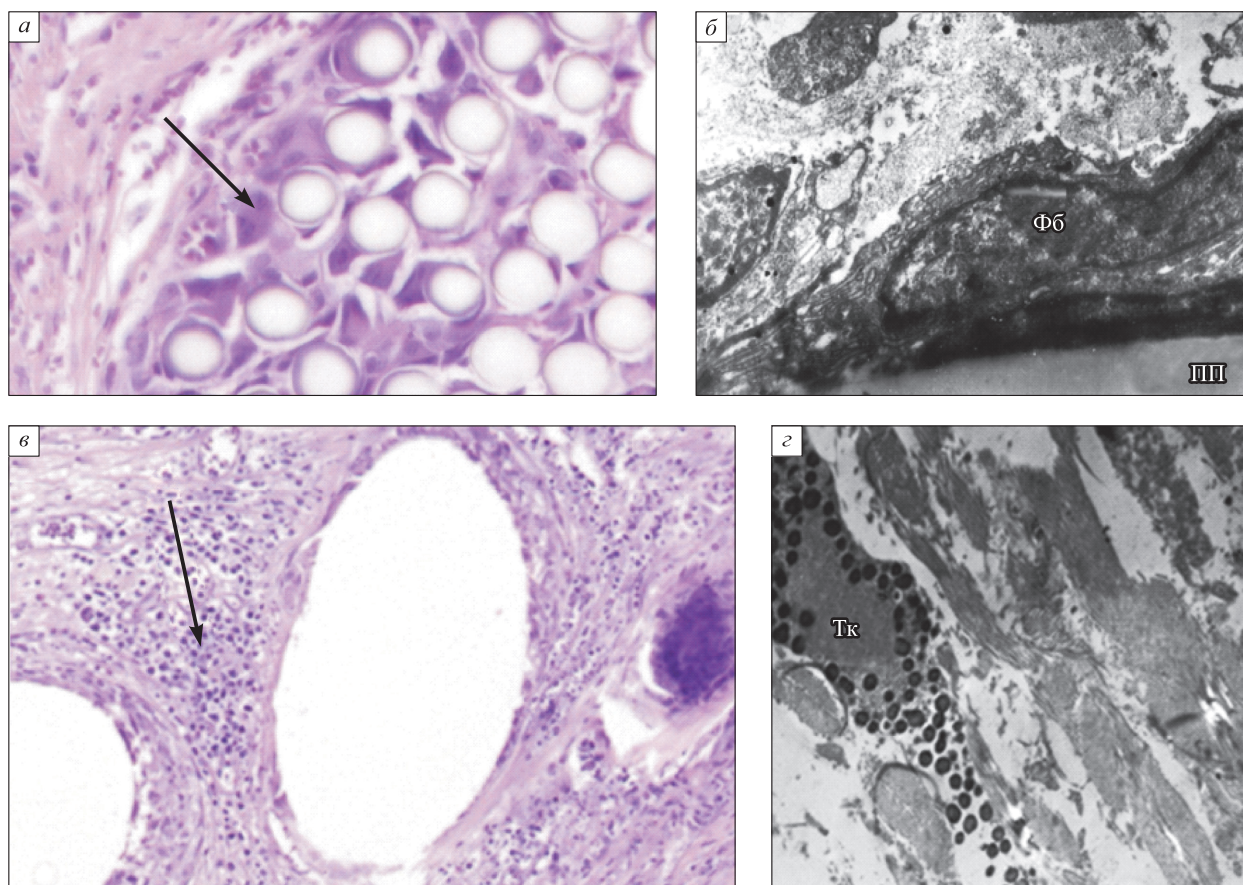


Рис. 1. Препараты первой (а, б) и второй (в, з) группы животных через 1 мес. после имплантации. а – видны многоядерные клетки (стрелка), окраска гематоксилином и эозином, окуляр 10, объектив 40; б – функционально активный фибробласт (Фб) прилегает к фрагменту имплантата (III), электронограмма, $\times 14000$; в – возле волокна видны скопления клеток, в основном представленные макрофагами (стрелка), окраска гематоксилином и эозином, окуляр 10, объектив 10; з – дегрануляция тучной клетки (Тк), электронограмма, $\times 12000$

Fig. 1. Preparations of the first (а, б) and second (в, з) group of animals 1 month after implantation. а – multinucleated cells are visible (arrow), hematoxylin and eosin staining, ocular 10, object lens 40; б – functionally active fibroblast (Фб) is adjacent to the implant fragment (III), electronogram, $\times 14000$; в – clusters of cells are visible near the fiber, mainly macrophages (arrow), hematoxylin and eosin staining, ocular 10, object lens 10; з – mast cell degranulation (Тк), electronogram, $\times 12000$

раженного воспаления, с участками лимфоплазмочитарной и макрофагальной инфильтрации. В ячейках сетки наблюдали большие скопления лимфоцитов и макрофагов (рис. 1, в). Вокруг волокон в соединительной ткани отмечали вновь образующиеся сосуды, пока еще мелкие и тонкостенные. Вокруг каждой ПП-нити образуются скопления многоядерных клеток. Местами видно, что именно макрофаги являются их предшественниками, они сливаются в симпласты и формируют гигантские клетки инородных тел. Вокруг каждого ПП-волокна начинает формироваться зона демаркации, образуется аналог фиброзной капсулы, в которой пока очень мало волокон и преобладает клеточный компонент. Коллагеновые волокна на данной стадии очень тонки и практически не заметны. Сохраняется отек ткани. Формирование

соединительнотканной капсулы не завершено. При электронно-микроскопическом исследовании отмечали выраженную клеточную реакцию с высокой функциональной активностью тучных клеток, эозинофильных лейкоцитов, что указывало на продолжающийся процесс воспаления в зоне имплантации (рис. 1, з). Фибробласты имели слаборазвитую гранулярную цитоплазматическую сеть, низкую коллагенпродуцирующую функцию и, соответственно, процесс интеграции ПП-имплантата в окружающие ткани не был завершен.

Количественный анализ показал, что в биоптатах второй группы животных по сравнению с биоптатами животных первой группы количество лимфоцитов и плазмочитов статистически значимо больше, что указывает на более интенсивную

воспалительную реакцию местных тканей (см. таблицу). При этом количество макрофагов, фибробластов и многоядерных гигантских клеток инородных тел достоверно меньше.

Ко второму месяцу в клетчатке и мышечной ткани крыс обеих групп присутствовали гранулемы инородного тела с соединительнотканной фиброзной капсулой, окружающей фрагменты ПП-эндопротезов. По сравнению с предыдущим сроком исследования вокруг гранул имелась более развитая соединительнотканная капсула, состоящая из коллагеновых волокон, среди которых находили участки жировой ткани и множество мелких кровеносных сосудов с тонкими стенками, а также сосуды. В зоне имплантации жесткого монофиламентного сетчатого ПП-имплантата с памятью формы количество фибробластов было статистически значимо больше, чем у

животных второй группы (см. таблицу). Несмотря на пик макрофагальной реакции местных тканей, в обеих группах животных отмечалась менее выраженная воспалительная инфильтрация по сравнению с предыдущим сроком исследования, на что указывало и достоверное снижение количества лимфоцитов и плазмочитов (см. таблицу).

В первой группе животных спустя два месяца после имплантации в препаратах не выявлены признаки экссудации. Сохраняется значительное количество многоядерных макрофагов. Наиболее крупные клетки расположены, как и через один месяц после вживления, по краю имплантата (рис. 2, а). Между фрагментами сетки формируются соединительнотканые перегородки, как бы оплетающие их. Появляется большое количество кровеносных сосудов, врастающих в эти импровизированные трабекулы. Вокруг имплантата

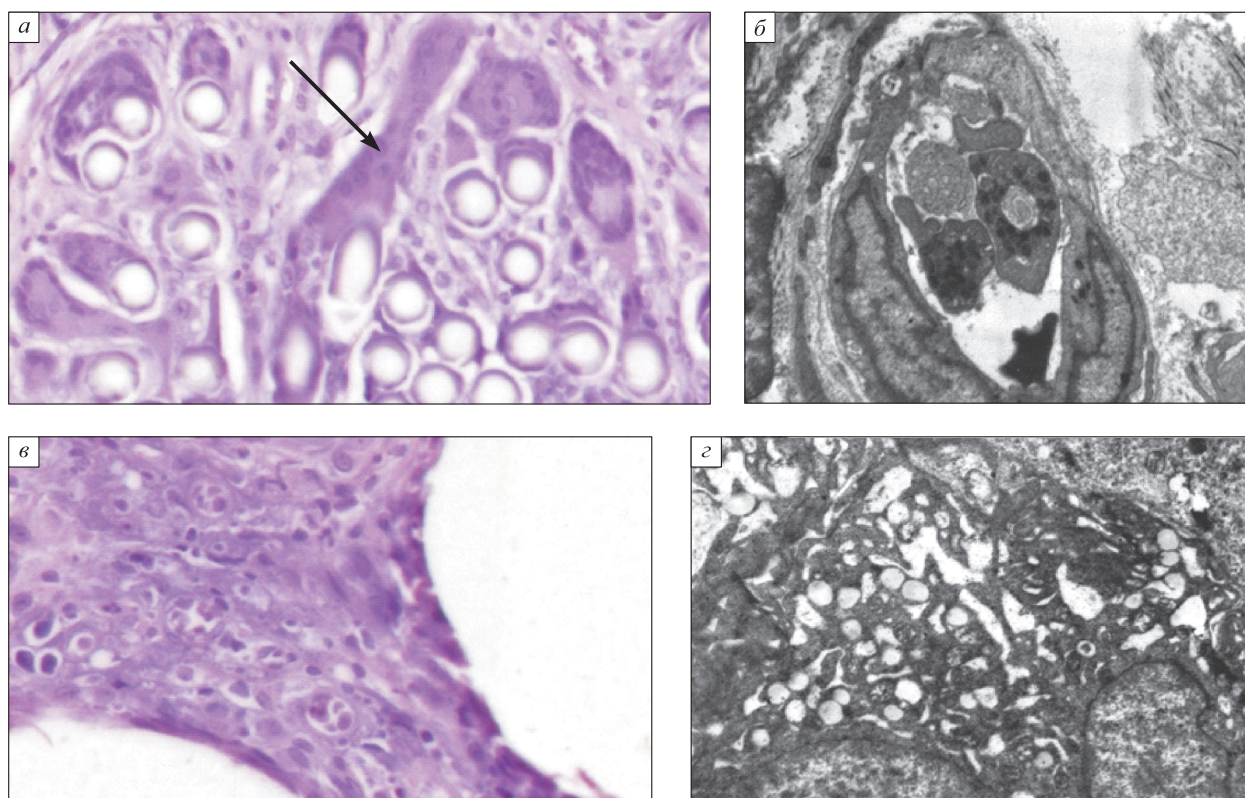


Рис. 2. Препараты первой (а, б) и второй (в, з) группы животных через 2 мес. после имплантации: а – многоядерные клетки гигантских размеров вокруг имплантата (стрелка), окраска гематоксилином и эозином, окуляр 10, объектив 10; б – сформировавшийся капилляр в области имплантации, электронограмма, $\times 12000$; в – в соединительной ткани между волокнами имплантата расположены мелкие сосуды, многоядерные клетки, сохраняются небольшой отек и инфильтрация, окраска гематоксилином и эозином, окуляр 10, объектив 40; з – функционально активный фибробласт, синтезирующий коллаген в соединительнотканной капсуле вокруг фрагмента ПП-нити, электронограмма, $\times 12000$

Fig. 2. Preparations of the first (a, б) and second (в, з) group of animals 2 months after implantation: а – giant-sized multinucleated cells around the implant (arrow), hematoxylin and eosin staining, ocular 10, object lens 40; б – formed capillary in the area of implantation, electronogram, $\times 12000$; в – small vessels, multinucleated cells are located in the connective tissue between the implant fibers, and slight swelling and infiltration persist, hematoxylin and eosin staining, ocular 10, object lens 40; з – functionally active fibroblast synthesizing collagen in a connective tissue capsule around a fragment of polypropylene filament, electronogram, $\times 12000$

формируется капсула из соединительной ткани. При электронно-микроскопическом исследовании определяются мелкие и очень мелкие сосуды капиллярного типа с функционально активным эндотелием. Большое количество микровезикул в эндотелиальных клетках указывало на активные обменные процессы, происходящие в новообразованной ткани (рис. 2, б).

Во второй группе спустя два месяца после имплантации выявлено снижение инфильтрации вокруг волокон, хотя местами она еще сохраняется. Отек тканей значительно уменьшается. Вокруг ПП-волокон имплантата сохраняются многоядерные клетки, хотя их меньше, чем в первой экспериментальной группе (рис. 2, в). Вокруг волокон формируются уже достаточно выраженные чехлы из соединительной ткани. Они не напоминают трабекулы, как в первой группе, так как волокна достаточно далеко отстоят друг от друга. В соединительной ткани появляются в большом количестве мелкие кровеносные сосуды. Вокруг всего имплантата также образуется соединительнотканная капсула. Фибробласты крупные, с расширенными каналами цитоплазматической сети (рис. 2, г).

Через три месяца после имплантации ПП-эндопротеза морфологические изменения в биоптатах обеих групп были практически схожими. Отмечалось продуктивное гранулематозное воспаление с образованием псевдокиста на месте элементов ПП-сетки и развитием выраженной соединительнотканной капсулы вокруг ее элементов. Макрофагальная инфильтрация тканей была умеренно-выраженной с единичными гигантскими клетками инородных тел небольших размеров. Воспалительная инфильтрация незначительная. Важно отметить, что количество клеток-резидентов (фибробласты и макрофаги) в обеих группах отличалось незначительно (см. таблицу). Кровеносные сосуды в прилежащих к эндопротезу тканях были крупными и имели толстые склерозированные стенки. В первой группе на препаратах отчетливо видно разрастание трабекул и полное заполнение ячеек сетчатого эндопротеза коллагеновыми волокнами и фибробластами. Сохраняются многоядерные клетки, некоторые из них приобретают кольцевидную форму (рис. 3, а). Капсула вокруг имплантата в сравнении с двухмесячным сроком становится более выраженной.

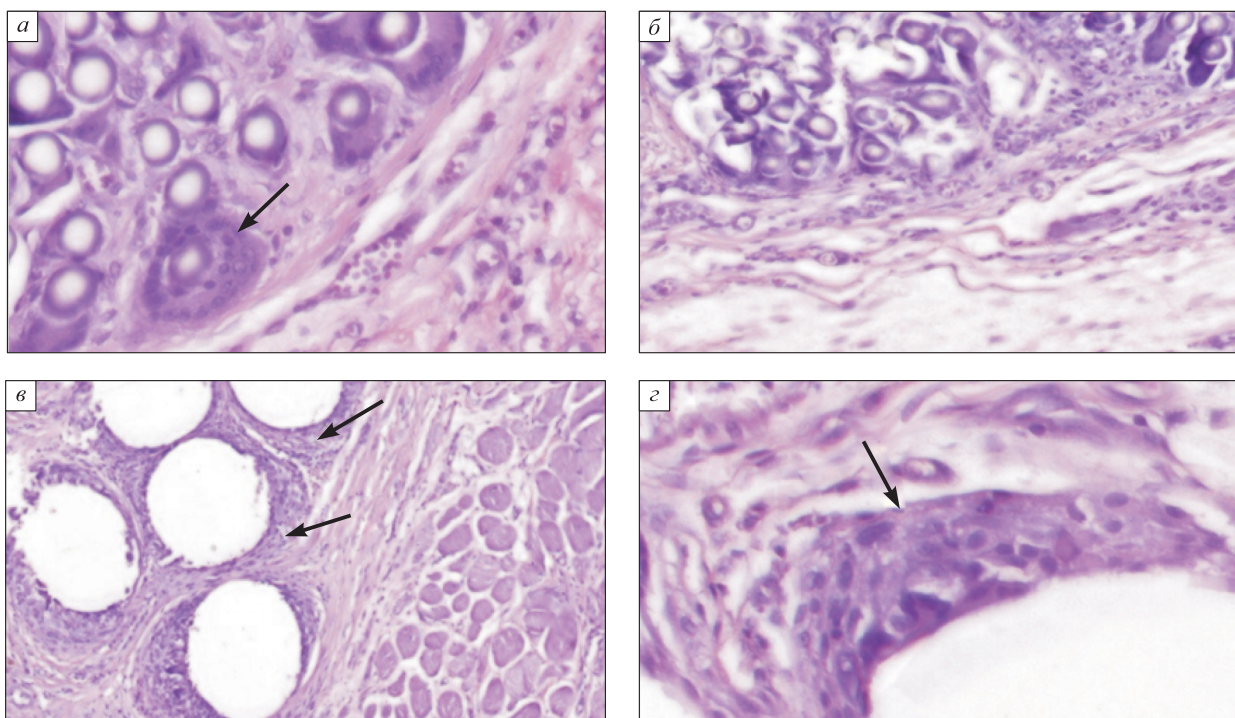


Рис. 3. Препараты первой (а, б) и второй (в, г) группы животных через 3 мес. после имплантации, окраска гематоксилином и эозином: а – кольцевидные макрофаги, капсула имплантата, окуляр 10, объектив 20; б – капсула имплантата, видны зрелые коллагеновые волокна, сосуды, окуляр 10, объектив 10; в – видны соединительнотканнные чехлы вокруг волокон, капсула, окуляр 10, объектив 10; г – гигантские многоядерные клетки вокруг волокон, окуляр 10, объектив 20

Fig. 3. Preparations of the first (а, б) and second (в, г) group of animals 3 months after implantation, hematoxylin and eosin staining: а – ring-shaped macrophages, implant capsule, ocular 10, object lens 20; б – implant capsule, mature collagen fibers, vessels are visible, ocular 10, object lens 10; в – connective tissue covers around the fibers, capsule are visible, ocular 10, object lens 10; г – giant multinucleated cells around fibers, ocular 10, object lens 20

Видны тяжи зрелых коллагеновых волокон. Со стороны интактной соединительной ткани прорастает множество мелких кровеносных сосудов (рис. 3, б). Во второй группе вокруг каждой ПП-нити формируется достаточно выраженная соединительнотканная капсула (рис. 3, в), однако по краю имплантата также сохраняются многоядерные макрофаги (рис. 3, г).

Практически во всех экспериментальных исследованиях проводится сравнение реакции местных тканей на внедрение различного рода синтетических имплантатов. Авторы подчеркивают, что независимо от используемого материала реакция тканей на внедрение инородного тела проходит через стадию воспаления [13, 14, 15–17]. В то же время показано, что вживление эндопротезов с каким-либо покрытием достоверно увеличивает содержание клеток фибробластического ряда в окружающих имплантат тканях [18, 19]. По данным некоторых авторов, при использовании эндопротезов, обработанных поликапролактоном методом электроспиннинга, имеет место низкий уровень воспаления в ответ на внедрение имплантата, но вместе с тем усиливается фибробластическая реакция в тканях вокруг имплантированного материала, что улучшает процессы репаративной регенерации [19]. Также установлено, что введение обогащенной тромбоцитами аутоплазмы под полипропилен-поливинилиденфторидный сетчатый протез снижает воспалительную реакцию и способствует увеличению пролиферативной активности клеток соединительной ткани, в итоге приводя к утолщению соединительнотканной капсулы вокруг имплантата [20].

Морфологическое исследование показало, что через 1 мес. после вживления жесткого сетчатого монофиламентного ПП-имплантата без фиксации воспалительная реакция местных тканей менее выражена, чем при имплантации с фиксацией ПП-эндопротеза. Возможно, это связано с тем, что жесткая макропористая сетка имеет свойство стабильного плоского расположения при пересадке, а также быстро фиксируется к окружающим тканям. Менее выраженная воспалительная реакция способствовала более раннему прорастанию коллагеновых волокон вокруг нитей жесткого имплантата. Через 2 и 3 мес. после вживления ПП-сеток в обеих группах животных преимуществ в качестве образованной рубцовой ткани вокруг имплантата не отмечено.

Заключение

При использовании ПП-эндопротеза с шовной фиксацией и жесткого монофиламентного ПП-имплантата без фиксации имеет место зако-

номерная ответная реакция на интеграцию эндопротеза, которая характеризуется асептическим воспалением с последующим выраженным фиброзом вокруг имплантата. Такие процессы, происходящие в ответ на вживление синтетических ПП-эндопротезов, повышают местную механическую резистентность и способствуют дополнительной прочности тканей.

Список литературы / References

1. Rodríguez M., Gómez-Gil V., Pérez-Köhler B., Pascual G., Bellón J.M. Polymer hernia repair materials: adapting to patient needs and surgical techniques. *Materials (Basel)*. 2021;14(11):2790. doi: 10.3390/ma14112790
2. Qiao Y., Li Y., Zhang Q., Wang Q., Gao J., Wang L. Dopamine-mediated zwitterionic polyelectrolyte-coated polypropylene hernia mesh with synergistic anti-inflammation effects. *Langmuir*. 2020;36(19):5251–5261. doi: 10.1021/acs.langmuir.0c00602
3. Serrano-Aroca Á., Pous-Serrano S. Prosthetic meshes for hernia repair: State of art, classification, biomaterials, antimicrobial approaches, and fabrication methods. *J. Biomed. Mater. Res. A*. 2021;109(12):2695–2719. doi: 10.1002/jbm.a.37238
4. Najm A., Niculescu A.G., Rădulescu M., Gaspar B.S., Grumezescu A.M., Beuran M. Novel material optimization strategies for developing upgraded abdominal meshes. *Int. J. Mol. Sci.* 2023;24(18):14298. doi: 10.3390/ijms241814298
5. Saïding Q., Chen Y., Wang J., Pereira C.L., Sarmiento B., Cui W., Chen X. Abdominal wall hernia repair: from prosthetic meshes to smart materials. *Mater. Today Bio*. 2023;21:100691. doi: 10.1016/j.mt-bio.2023.100691
6. Bringman S., Conze J., Cuccurullo D., Deprest J., Junge K., Klosterhalfen B., Parra-Davila E., Ramshaw B., Schumpelick V. Hernia repair: the search for ideal meshes. *Hernia*. 2010;14(1):81–87. doi: 10.1007/s10029-009-0587-x
7. Lak K.L., Goldblatt M.I. Mesh selection in abdominal wall reconstruction. *Plast. Reconstr. Surg.* 2018;142(3 Suppl):99S–106S. doi: 10.1097/PRS.0000000000004862
8. Pérez-Köhler B., Benito-Martínez S., García-Moreno F., Rodríguez M., Pascual G., Bellón J.M. Preclinical bioassay of a novel antibacterial mesh for the repair of abdominal hernia defects. *Surgery*. 2020;167(3):598–608. doi: 10.1016/j.surg.2019.10.010
9. Yang D., Song Z., Shen J., Song H., Yang J., Zhang P., Gu Y. Regenerated silk fibroin (RSF) electrostatic spun fibre composite with polypropylene mesh for reconstruction of abdominal wall defects in a rat model. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.* 2020;48(1):425–434. doi: 10.1080/21691401.2019.1709858
10. Afewerki S., Bassous N., Harb S.V., Corat M.A.F., Maharjan S., Ruiz-Esparza G.U., de Pa-

- ula M.M.M., Webster T.J., Tim C.R., Viana B.C., ... Lobo A.O. Engineering multifunctional bactericidal nanofibers for abdominal hernia repair. *Commun. Biol.* 2021;4(1):233. doi: 10.1038/s42003-021-01758-2
11. Laursen S.H., Hansen S.G., Taskin M.B., Chen M., Wogensen L., Nygaard J.V., Axelsen S.M. Electrospun nanofiber mesh with connective tissue growth factor and mesenchymal stem cells for pelvic floor repair: Long-term study. *J. Biomed. Mater. Res. B. Appl. Biomater.* 2023;111(2):392–401. doi: 10.1002/jbm.b.35158
12. Song Z., Yang D., Hu Q., Wang Y., Zhang H., Dong W., Yang J., Gu Y. Reconstruction of abdominal wall defect with composite scaffold of 3d printed adm/pla in a rat model. *Macromol. Biosci.* 2023;23(4):e2200521. doi: 10.1002/mabi.202200521
13. Liu Z., Wei N., Tang R. Functionalized strategies and mechanisms of the emerging mesh for abdominal wall repair and regeneration. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2021;7(6):2064–2082. doi: 10.1021/acsbiomaterials.1c00118
14. Klinge U., Junge K., Stumpf M., Öttinge A.P., Klosterhalfen B. Functional and morphological evaluation of a low-weight, monofilament polypropylene mesh for hernia repair. *J. Biomed. Mater. Res.* 2002;63(2):129–136. doi: 10.1002/jbm.10119
15. Cobb W.S., Kercher K.W., Heniford B.T. The argument for lightweight polypropylene mesh in hernia repair. *Surg. Innov.* 2005;12(1):63–69. doi: 10.1177/155335060501200109
16. Orenstein S.B., Saberski E.R., Kreutzer D.L., Novitsky Y.W. Comparative analysis of histopathologic effects of synthetic meshes based on material, weight, and pore size in mice. *J. Surg. Res.* 2012;176(2):423–429. doi: 10.1016/j.jss.2011.09.031
17. Fet N., Alizai P.H., Fragoulis A., Wruck C., Pufe T., Tolba R.H., Neumann U.P., Klinge U. *In vivo* characterisation of the inflammatory reaction following mesh implantation in transgenic mice models. *Langenbecks. Arch. Surg.* 2014;399(5):579–588. doi: 10.1007/s00423-014-1192-8
18. Пономарева И.В., Цуканов А.В., Иванов И.С., Затолокина М.А., Горюшкин Е.И., Главиш И.С. Использование коллагенстимулирующих покрытий для герниоимплантатов: сравнение морфологических характеристик ткани в зоне имплантации. *Соврем. пробл. науки и образ.* 2023;(2):75. doi: 10.17513/spno.32498
- Ponomareva I.V., Tsukanov A.V., Ivanov I.S., Zatolokina M.A., Goryushkin E.I., Glavish I.S. Use of collagen-stimulating coatings for hernia implants: comparison of morphological characteristics of tissue in the implantation area. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education.* 2023;(2):75. [In Russian]. doi: 10.17513/spno.32498
19. Берещенко В.В., Лызигов А.Н., Надыров Э.А., Кондрачук А.Н. Сравнительная морфологическая характеристика реакции тканей экспериментальных животных на имплантацию модифицированных полипропиленовых сетчатых эндопротезов. *Новости хирургии.* 2021;29(6):645–653. doi: 10.18484/2305-0047.2021.6.645
- Bereshchenko V.V., Lyzikov A.N., Nadyrov E.A., Kondrachuk A.N. Comparative morphological features of subcutaneous tissue of experimental animals in response to the implantation with modified polypropylene mesh endoprosthesis. *Novosti khirurgii = News of Surgery.* 2021;29(6):645–653. [In Russian]. doi: 10.18484/2305-0047.2021.6.645
20. Суковатых Б.С., Назаренко П.М., Затолокина М.А., Мутова Т.В., Мутов В.Я., Гунов С.В. Динамика клеточного компонента соединительнотканной капсулы при имплантации суперлегкого полипропилен-поливинилиденфторидного эндопротеза (экспериментальное исследование). *Вестн. Нац. мед.-хирург. центра им. Н.И. Пирогова.* 2023;18(2):52–57. doi 10.25881/20728255_2023_8_2_52
- Sukovatykh B.S., Nazarenko P.M., Zatolokina M.A., Mutova T.V., Mutov V.Ya., Gunov S.V. Dynamics of the cellular component of the connective tissue capsule during implantation of a super-light polypropylene-polyvinylidene fluoride endoprosthesis (experimental study). *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra imeni Nikolaya Ivanovicha Pirogova = Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center.* 2023;18(2):52–57. [In Russian]. doi: 10.25881/20728255_2023_18_2_52

Сведения об авторах:

Абдувосидов Хуршед Абдувохидович, д.м.н., ORCID: 0000-0002-5655-338X, e-mail: sogdiana99@gmail.com
Шестакова Валерия Геннадьевна, д.м.н., ORCID: 0000-0003-1136-7396, e-mail: shestvg@mail.ru
Переведенцева Анна Михайловна, ORCID: 0000-0001-9462-2430, e-mail: nufarius5@mail.ru
Чекмарева Ирина Александровна, д.б.н., ORCID: 0000-0003-0126-4473, e-mail: chia236@mail.ru
Чудных Сергей Михайлович, д.м.н., проф., ORCID: 0000-0001-6677-7830, e-mail: chudnykh61@yandex.ru
Баранчугова Лариса Михайловна, к.м.н., ORCID: 0000-0002-3252-4429, e-mail: baranchugovalm@mgupp.ru
Алексеев Александр Геннадьевич, к.м.н., ORCID: 0000-0002-5158-3424, e-mail: sanderlexx@ya.ru
Кокоев Михаил Мамукович, ORCID: 0009-0006-9537-8111, e-mail: movetoqt1@mail.ru

Information about the authors:

Khurshed A. Abduvosidov, doctor of medical sciences, ORCID: 0000-0002-5655-338X, e-mail: sogdiana99@gmail.com

Valeriya G. Shestakova, doctor of medical sciences, ORCID: 0000-0003-1136-7396, e-mail: shestvg@mail.ru

Anna M. Perevedentseva, ORCID: 0000-0001-9462-2430, e-mail: nufarius5@mail.ru

Irina A. Chekmareva, doctor of biological sciences, ORCID: 0000-0003-0126-4473, e-mail: chia236@mail.ru

Sergey M. Chudnykh, doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-6677-7830, e-mail: chudnykh61@yandex.ru

Larisa M. Baranchugova, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-3252-4429, e-mail: baranchugovalm@mgupp.ru

Alexandr G. Alekseev, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-5158-3424, e-mail: sanderlexx@ya.ru

Mikhail M. Kokoev, ORCID: 0009-0006-9537-8111, e-mail: movetoqt1@mail.ru

Поступила в редакцию 15.11.2023

После доработки 31.01.2023

После повторной доработки 11.03.2024

Принята к публикации 11.03.2024

Received 15.11.2023

Revision received 31.01.2023

Second revision received 11.03.2024

Accepted 11.03.2024