



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

Иван Петрович Троев ¹, Александр Михайлович Спиридонов ², Людмила Германовна Маринова ³, Андрей Петрович Васильев ⁴, Сахаяна Николаевна Данилова ⁵, Мария Петровна Кириллина ⁶, Долгуйаана Николаевна Сидорова ⁷, Алексей Геннадьевич Туисов ⁸, Прасковья Николаевна Тарасова ⁹, Александр Александрович Ушканов ¹⁰, Наталья Павловна Гладкина ¹¹, Денис Витальевич Сивцев ¹²

^{1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12} Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

¹ ysumed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9782-8565>

² am.spiridonov@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

³ marinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8284-0051>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

⁵ dsn.sakhayana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>

⁷ dolguyayana.sidorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7470-5634>

⁹ pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

¹⁰ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

¹¹ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

¹² alen1882@gmail.com/(924)36995470000-0002-0115-4699

⁶ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем СО РАН», Якутск, Россия

⁶ kirillinamp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8629-1296>

⁸ Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

⁸ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования физико-механических, структурных характеристик и биосовместимости полимерных материалов медицинского назначения – сверхвысокомолекулярного полиэтилена и поливинилиденфторида. Изучаемые образцы полимеров были изготовлены методом горячего прессования с последующим их охлаждением под давлением в прессе. Определение прочности при растяжении, относительного удлинения, предела текучести и модуля упругости при растяжении проводилось на универсальной испытательной машине. Морфология поверхности полимерных образцов до и после вживления в лабораторных крыс изучали методом растровой электронной микроскопии. Отмечаются структурные изменения полимеров после вживления в организм, выраженные сглаживанием поверхности поливинилиденфторида и увеличением канавок на поверхности образца сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Методом ИК-спектроскопии исследовали влияние вживления материалов на изменения функционально-группового состава. Показано, что у образца сверхвысокомолекулярного полиэтилена обнаружены новые полосы поглощения, относящиеся к колебаниям C–O связи карбонильной и эпоксидной групп. Введение имплантата поливинилиденфторида в подкожный покров животного не приводит к изменению химического состава и образованию новых полос поглощения, что свидетельствует о биоинертности материала. Степень иммуногенности и характер воспалительных процессов в тканях организма вокруг исследуемого материала оценивается путем хирургической имплантации в физиологические пространства лабораторных животных. Проведена сравнительная оценка воспалительной реакции на месте вживления в лабораторных крыс по-

© Троев И. П., Спиридонов А. М., Маринова Л. Г., Васильев А. П., Данилова С. Н., Кириллина М. П., Сидорова Д. Н., Туисов А. Г., Тарасова П. Н., Ушканов А. А., Гладкина Н. П., Сивцев Д. В., 2023

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

лимерных имплантов, изготовленных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и поливинилиденфторида. Воспалительная реакция оценивалась по гистологическим образцам кожного покрова вокруг имплантов.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, поливинилиденфторид, воспаление, имплант, биосовместимость.

Благодарности: Работа выполнена в рамках федерального проекта “Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок” национального проекта “Наука и университеты”, шифр тематики FSRG-2022-0009 “Разработка и испытание новых биомедицинских клеточных продуктов, композиционных медицинских изделий”.

Для цитирования: Сравнительная характеристика воспалительной реакции при имплантации синтетических полимерных материалов на экспериментальных животных / И. П. Троев [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 178–184. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

Original article

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE INFLAMMATORY REACTION DURING IMPLANTATION OF SYNTHETIC POLYMERIC MATERIALS IN EXPERIMENTAL ANIMALS

Ivan P. Troev ¹, Alexander M. Spiridonov ², Lyudmila G. Marinova ³,
Andrey P. Vasiliev ⁴, Sakhayana N. Danilova ⁵, Maria P. Kirillina ⁶,
Dolguyaana N. Sidorova ⁷, Aleksei G. Tuisov ⁸, Praskovia N. Tarasova ⁹,
Alexander A. Ushkanov ¹⁰, Natalya P. Gladkina ¹¹, Denis V. Sivtsev ¹²

^{1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12} North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ ysumed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9782-8565>

² am.spiridonov@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

³ marinova@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8284-0051>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

⁵ dsn.sakhayana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>

⁷ dolguyaana.sidorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7470-5634>

⁹ pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

¹⁰ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

¹¹ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

¹² alen1882@gmail.com/(924)36995470000-0002-0115-4699

⁶ Yakutsk Scientific Center for Complex Medical Problems of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁶ kirillinamp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8629-1296>

⁸ The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁸ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

Abstract. The paper presents the results of a study of the physico-mechanical, structural characteristics and biocompatibility of polymeric materials for medical purposes - ultra-high molecular weight polyethylene and polyvinylidene fluoride. The polymer samples under study were produced by hot pressing followed by cooling under pressure in a press. Determination of tensile strength, relative elongation, yield strength and tensile modulus was carried out on a universal testing machine. The surface morphology of polymer samples before and after implantation into laboratory rats was studied by scanning electron microscopy. Structural changes in polymers after implantation into the body are noted, expressed in smoothing the surface of polyvinylidene fluoride and an increase in grooves on the surface of a sample of ultrahigh molecular weight polyethylene. The effect of implantation of materials on changes in the functional group composition was studied by infrared (IR) spectroscopy. It is shown that a sample of ultra-high molecular weight polyethylene has new absorption bands related to vibrations of the C-O bond of the carbonyl and epoxy groups. The introduction of a polyvinylidene fluo-

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА,
М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ,
Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

ride implant into the subcutaneous tissue of an animal does not lead to a change in the chemical composition and the formation of new absorption bands, which indicates the biointeractivity of the material. The degree of immunogenicity and the nature of inflammatory processes in the tissues of the body around the test material is assessed by surgical implantation into the physiological spaces of laboratory animals. A comparative evaluation of the inflammatory reaction at the site of implantation of polymer implants made of ultra-high molecular weight polyethylene and polyvinylidene fluoride into laboratory rats was carried out. The inflammatory response was assessed by histological samples of the skin around the implants.

Keywords: *ultra-high molecular weight polyethylene, polyvinylidene fluoride, inflammation, implant, biocompatibility.*

Acknowledgements: *The work is carried out within the framework of the federal project "Development of human capital in the interests of regions, industries and the research and development sector" of the national project "Science and Universities", the code of the subject FSRG-2022-0009 "Development and testing of new biomedical cellular products, composite medical devices".*

For citation: Troev, I.P., Spiridonov, A.M., Marinova, L.G., Vasiliev, A.P., Danilova, S.N., Kirillina, M.P., Sidorova, D.N., Tuisov, A.G., Tarasova, P.N., Ushkanov, A.A., Gladkina, N.P. & Sivtsev, D.V. (2023). Comparative characteristics of the inflammatory reaction during implantation of synthetic polymeric materials in experimental animals. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 178-184. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

ВВЕДЕНИЕ

Синтетические полимерные материалы нашли широкое применение в качестве медицинских изделий: протезов, стоматологических и перевязочных материалов, имплантов, экстракорпоральных устройств, герметиков, систем доставки полимерных лекарств, тканевых изделий и ортопедии, и в некоторых случаях применяются взамен металлов и керамики. Главными преимуществами полимерных биоматериалов являются технологичность изготовления изделий различных форм, небольшая себестоимость и низкие трудозатраты, хорошие физико-механические свойства и инертность, обеспечивающие биосовместимость [1].

Одним из полимерных материалов, применяемых в медицине в качестве импланта, является частично галогенированный фторполимер – поливинилиденфторид (ПВДФ), обладающий уникальной совокупностью таких свойств, как высокая химическая и биологическая инертность, стойкость к износу и истиранию, радиационная стойкость. ПВДФ может перерабатываться всеми известными для термопластов способами на обычном оборудовании [2]. Известно [3, 4], что сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) применяется в эндопротезировании суставов благодаря высокой прочности при растяжении и стойкости к истиранию. СВМПЭ так же, как и ПВДФ, обладает высокими биосовместимостью и биоинертностью.

Целью работы является **исследование биосовместимости** поливинилиденфторида и сверхвысокомолекулярного полиэтилена методом *in vivo*.

180

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе проводилось исследование на биосовместимость ПВДФ марки DS2011 (Shandong Huaxia Shenzhou New Material Co.Ltd, Китай) и СВМПЭ марки GUR 4022 (Celanese, China). Образцы для исследований изготовлены методом горячего прессования в гидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при температуре 175 °С под давлением 10 МПа в течение 20 мин с последующим охлаждением до 80 °С под давлением.

Деформационно-прочностные свойства полимеров исследовали на универсальной разрывной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ 11262-2017. Модуль упругости при растяжении определяли согласно ГОСТ 9550-81 и напряжение при сжатии по ГОСТ 4651-2014.

Надмолекулярную структуру поверхности полимерных образцов до и после вживления в лабораторных крыс исследовали при помощи растрового электронного микроскопа JSM-7800F (Jeol, Япония) в режиме вторичных электронов при низком ускоряющем напряжении. Методом ИК-спектроскопии исследовали поверхность образцов до и после вживления в лабораторных крыс. Исследования проводили на ИК-спектрометре с Фурье преобразованием Varian 7000 FT-IR (Varian, США). ИК-спектры получали с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне 800–4000 см⁻¹.

В эксперименте на животных участвовали крысы линии Wistar в возрасте 4 мес, весом 140 г.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

Образцы материалов размером 0,5–1,0 см в длину имплантировались в подкожное пространство в подлопаточной области животного.

Через 10 дней по окончании эксперимента производилось извлечение имплантата с биопсией всех слоев кожи одним блоком тканей непосредственно над имплантатом.

Гистологические срезы толщиной 3–5 мкм изготавливались на ротационном микротоме Leica SM 2000R. Образцы окрашивались гематоксилином и эозином и направлялись на микроскопию.

Оценка реакции окружающих тканей на имплантацию производилась путем сравнения морфологических признаков воспаления, миграции иммунокомпетентных клеток и васкуляризации в тканях вокруг имплантированного материала с морфологической характеристикой тканей с нетронутых участков симметричных зон в микроскопии [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 1 приведены результаты исследования деформационно-прочностных свойств ПВДФ и СВМПЭ, полученных горячим прессованием.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ПВДФ и СВМПЭ

Table 1 - Physico-mechanical properties of PVDF and UHMWPE

Характеристика	Значение	
	ПВДФ	СВМПЭ
Прочность при растяжении, МПа	34–36	31–37
Относительное удлинение при разрыве, %	46–180	293–329
Предел текучести, МПа	34–36	21–23
Модуль упругости при растяжении, МПа	766–949	563–613

Как видно из таблицы 1, прочность при растяжении ПВДФ составляет 34–36 МПа, относительное удлинение при разрыве находится в диапазоне 46–180 %, предел текучести 34–36 МПа, модуль упругости составляет 766–949 МПа. Прочность при растяжении СВМПЭ 31–37 МПа, относительное удлинение 293–329 %, предел текучести 21–23 МПа, модуль упругости 563–613 МПа. Таким образом, показано, что ПВДФ и СВМПЭ характеризуются достаточно высокими значениями прочности при растяжении, что предполагает способность выдерживать внешние напряжения.

На рисунке 1 приведены результаты исследования морфологии поверхности полимерного имплантата из ПВДФ до и после операции.

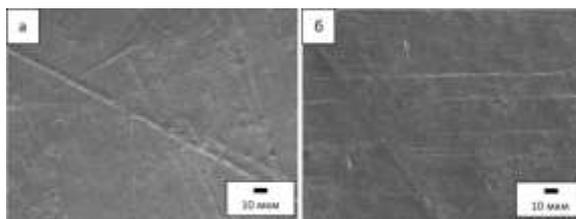


Рисунок 1 – Микрофотографии морфологии поверхности имплантата из ПВДФ: а) до операции; б) после операции

Figure 1 - Micrographs of the surface morphology of the PVDF implant:

a) before surgery; b) after surgery

На микрофотографиях видно, что морфология поверхности имплантата из ПВДФ изменилась после извлечения из животного. У полимера до вживления наблюдаются микровыступы на поверхности имплантата, которые, вероятно, связаны с технологическими особенностями получения полимера. После операции выступы на поверхности имплантата не выявлены, возможно, вымылись в подкожном покрове животного. Таким образом, при введении имплантата из ПВДФ в животное в течение 10 суток происходит изменение морфологии полимера. Необходимы дальнейшие исследования по обработке материала и его влияния на биосовместимость.

Несмотря на короткий промежуток времени имплантации для выявления возможного протекания химических реакций на поверхности имплантата в подкожной среде были проведены исследования методом ИК-спектроскопии, результаты которого приведены на рисунке. 2.

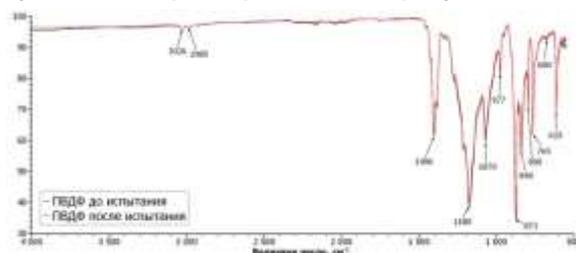


Рисунок 2 – ИК-спектр имплантата из ПВДФ до и после операции

Figure 2 - IR spectrum of a PVDF implant before and after surgery

Как видно из рисунка 3, на ИК-спектрах имплантата из ПВДФ выявлены полосы поглощения с максимумами при 840 и 873 см⁻¹, характерными для β-формы полимера, максимумы 615, 765 и 977 см⁻¹ характеризуют наличие неупорядоченных цепей α-конформации [6], что свидетельствует о наличии двух разных фаз в данном полимере.

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА,
 М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ,
 Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

Сравнение образца до и после операции не выявило отличий по смещению полос поглощения и интенсивности пиков в ИК-спектрах. Видно, что большинство максимумов поглощения в имплантате были зарегистрированы для исходного ПВДФ, например, 1068, 1405 и 3025 см^{-1} [7]. Таким образом, методом ИК-спектроскопии выявлено, что при введении имплантата из ПВДФ в подкожный покров животного в течение 10 суток не приводит к изменению функционально-группового состава и полос поглощения ПВДФ.

На рисунке 3 приведены фотографии гистологических срезов участков кожи крысы.

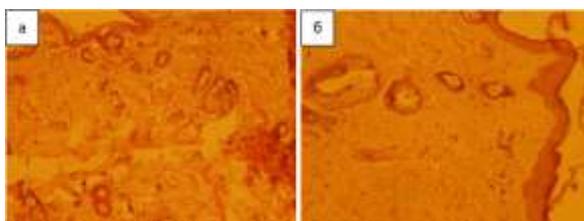


Рисунок 3 – Гистологические срезы кожи крысы вокруг имплантированного ПВДФ: а) участок кожи крысы с контрольных зон; б) участок кожи крысы вокруг импланта

Figure 3 - Histological sections of rat skin around implanted PVDF: a) area of rat skin from control zones; b) area of rat skin around the implant

Вокруг вживленного ПВДФ наблюдается активный неангиогенез – утолщение кератинового слоя кожи. Признаков иммунореактивности не наблюдаются (рис. 3, б) – количество мононуклеаров в поле зрения не превышает 10 ± 3 клеток. Количество фибробластов и фибробластоподобных клеток не превышает 20 в поле зрения.

На рисунке 4 представлены микрофотографии полимерного материала на основе СВМПЭ до и после клинического испытания.

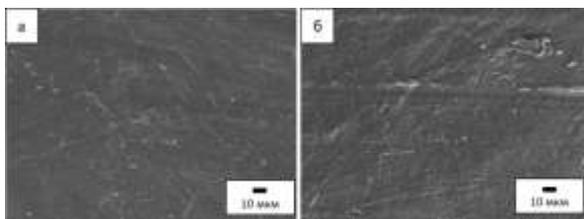


Рисунок 4 – Микрофотографии морфологии поверхности имплантата из СВМПЭ: а) до операции; б) после операции

Figure 4 - Micrographs of the surface morphology of the UHMWPE implant: a) before surgery; b) after surgery

Морфология поверхностей полимерных материалов свидетельствует о том, что поверхность образца после извлечения становится более рыхлой. Так, до клинических испытаний на поверхности СВМПЭ наблюдается наличие микровыступов и небольших углублений, что обусловлено неровностями поверхности пресс-формы. После извлечения наблюдается увеличение размера углублений и наличие выраженных канавок. Возможно, это связано с механическим повреждением материала при введении и извлечении в животное, а также деформированием при нахождении имплантата в организме животного. При этом подповерхностный слой СВМПЭ при дезинфекции в этаноле в течение нескольких дней может частично растворяться, что также может увеличивать шероховатость материала.

ИК-спектры полимерного материала из СВМПЭ до и после клинических испытаний приведены на рисунке 5.

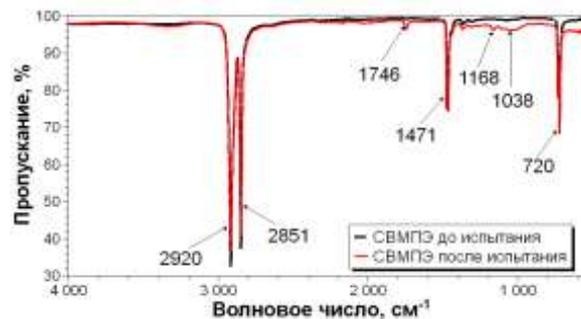


Рисунок 5 – ИК-спектр имплантата из СВМПЭ

Figure 5 - IR spectrum of UHMWPE implant

Как видно из рисунка 5, ИК-спектры полимерного материала характеризуются наличием выраженных пиков при 2920, 2851 и 1471 см^{-1} , соответствующие валентным и деформационным колебаниям $-\text{CH}_2$ связей. Кроме того, зафиксирован пик при 720 см^{-1} , который относится к маятниковым колебаниям полимерной цепи [8]. Образцы после испытания отличаются появлением слабовыраженных пиков при 1746 и 1168 см^{-1} , соответствующие колебаниям $\text{C}-\text{O}$ связи карбонильных и эпоксидной групп соответственно. Также наблюдается появление широкой полосы поглощения в области 1038 см^{-1} , которая соответствует первичным спиртам. Это свидетельствует о том, что на поверхности имплантата адсорбируются молекулы спирта в процессе пробоподготовки, а также за счет прилипания части прилегающих тканей после клинического испытания.

На рисунке 6 приведены фотографии гистологических срезов участков кожи крысы вокруг СВМПЭ.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

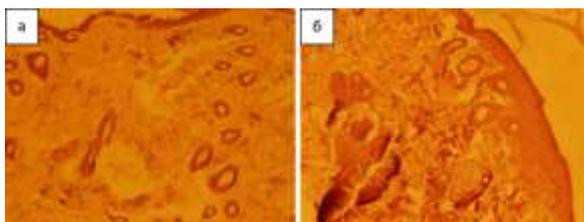


Рисунок 6 – Гистологические срезы кожи крыс вокруг имплантированного СВМПЭ:

- а) участок кожи крысы с контрольных зон;
- б) участок кожи крысы вокруг импланта

Figure 6 - Histological sections of the skin of rats around the implanted UHMWPE:

- a) a section of rat skin from the control zones;
- b) area of rat skin around the implant

Воспалительный процесс вокруг СВМПЭ на 10-й день характеризуется активной пролиферацией фибробластов и фиброцитов в дермальном слое кожи (рис. 6, б). В поле зрения насчитывается в среднем 45 ± 5 клеток. Наблюдается выраженная кератинизация эпидермиса с утолщением слоя в 6–8 раз, а также незначительное утолщение эндотелия мелких сосудов. В биоптате отмечается инфильтрация дермы мононуклеарами в количестве в среднем 35 ± 5 клеток в поле зрения. Наблюдаемая гистологическая характеристика воспалительного процесса в целом описывает типичные для завершающих этапов экскудации и пролиферации морфологические изменения и не свидетельствуют о наличии контактного токсического воздействия. Таким образом, исследования по влиянию имплантатов на основе полимерных материалов из СВМПЭ на животных требует дальнейшей проработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование имплантата из ПВДФ показало, что нахождение образца в лабораторном животном приводит к изменению морфологии поверхности полимера. ИК-спектры до и после операции идентичны, не выявлено смещения полос поглощения и изменение интенсивности пиков.

Исследование имплантата из СВМПЭ показало, что нахождение образца в крысе приводит к изменению его морфологии, заключающейся в увеличении шероховатости материала и размера канавок. Методом ИК-спектроскопии на образцах из СВМПЭ после испытания *in vivo* зафиксировано появление новых полос с максимумами интенсивности 1746 и 1168 cm^{-1} .

По результатам гистологического исследова-

ния отмечается миграция иммунокомпетентных клеток в ткани вокруг СВМПЭ, что скорее свидетельствует о наличии воспалительной реакции на присутствие флогогена, а также на качество обработки поверхности имплантата, так как шероховатая поверхность СВМПЭ могла быть триггером воспаления. Признаки воспалительного процесса на ПВДФ оказались меньше, на 10-й день наблюдается начало процессов пролиферации, что соответствует стандартным срокам этапов воспаления у крыс и регенерации. Данный факт свидетельствует об отсутствии ингибирующего воздействия материалов на рост и размножение клеток. Для полной оценки биосовместимости материалов необходимо увеличить сроки проведения эксперимента и улучшить качество обработки поверхности имплантатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parida P., Behera A., Mishra S.C. Classification of Biomaterials used in Medicine // International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS). 2012. Vol. 1. № 3. P. 31–35.
2. Ассортимент, свойства и применение фторполимеров Кирово-Чепецкого химического комбината / З.Л. Баскин [и др.] // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. № 3. С. 13–22. doi:10.1134/S1070363209030347.
3. UHMWPE for arthroplasty: past or future? / E.M. Brach delPrever [et al.] // Journal of Orthopaedics and Traumatology. 2009. Т. 10. № 1. С. 1–8. doi:10.1007/s10195-008-0038-y.
4. Ultra-high molecular weight polyethylene: influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review / P. Bracco [et al.] // Materials. 2017. Т. 10. № 7. С. 791. doi:10.3390/ma10070791.
5. ГОСТ ISO 10993-6-2011. Библиографическая ссылка. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 6: Исследования местного действия после имплантации: введ. 2023–01–01. Москва, 2013 : Изд-во стандартов, 2013, 24 с.
6. Живулин В.Е., Жеребцов Д.А., Песин Л.А. Молекулярное строение химически карбонизированных пленок поливинилиденфторида (по данным ИК-спектроскопии) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 8. С. 80–87.
7. Preparation and characterization of polyurethane (PU)/polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane / H. Dong [et al.] // Desalination and Water Treatment. 2016. Т. 57. № 8. С. 3405–3413.
8. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений: Справочник. Москва : МГУ, 2012. 55 с.

Информация об авторах

И. П. Троев – старший научный сотрудник лаборатории «Медицинских биотехнологий», Медицинский институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

А. М. Спиридонов – к.х.н., ведущий научный сотрудник – руководитель лаборатории «Полимерные

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА,
М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ,
Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

компози́ты для Севера», *Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.*

Л. Г. Маринова – к.м.н., научный сотрудник лаборатории «Медицинских биотехнологий», Медицинский институт, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. П. Васильев – к.т.н., старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокмозитов», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

С. Н. Данилова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные компози́ты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова.

М. П. Кириллина – к.б.н., ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории «Преканцерогенеза и злокачественных опухолей» ЯНЦ КМП СО РАН.

Д. Н. Сидорова – лаборант УНТЛ «Технологии полимерных нанокмозитов», ассистент химического отделения института естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. Г. Туисов – к.т.н., руководитель «Лаборатории компози́тных материалов Арктики и Субарктики» Федерального исследовательского центра ЯНЦ СО РАН.

П. Н. Тарасова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные компози́ты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. А. Ушканов – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные компози́ты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

Н. П. Гладкина – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные компози́ты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

Д. В. Сивцев – студент химического отделения института естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

REFERENCES

1. Parida, P., Behera, A. & Mishra, S.C. (2012). Classification of Biomaterials used in Medicine, *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, (3), 31-35.
2. Baskin, Z.L., Shabalin, D.A., Vyrazheikin, E.S. & Dedov, S.A. (2008). Range, properties and application of fluoropolymers of the Kirovo-Chepetsk Chemical Combine, *Rossiiskij himicheskij zhurnal*, (3), 13-22. (In Russ.). doi:10.1134/S1070363209030347.
3. Brach del Prever, E.M., Alessandro, B., Pierangiola, B. & Luigi, C. (2009). UHMWPE for arthroplasty: past or future? *Journal of Orthopedics and Traumatology*, (1), 1-8. doi:10.1007/s10195-008-0038-y.
4. Bracco, P., Bellare, A., Bistolfi, A. & Affatato, S. (2017). Ultra-high molecular weight polyethylene: influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review, *Materials*, (7), 1-22. doi:10.3390/ma10070791.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 08.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 08 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

5. Medical products. Evaluation of the biological effect of medical devices. Part 6: Local action studies after implantation. (2013). HOST ISO 10993-6-2011 from 1 Jan. 2023. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

6. Zhivulin, V.E., Zherebtsov, D.A. & Pesin, L.A. (2018). Molecular structure of chemically carbonized films of polyvinylidene fluoride (according to IR spectroscopy), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, (8), 80-87. (In Russ.).

7. Dong, H., Xiao, K., Tang, X., Zhang, Z., Dai, J., Long, R. & Liao, W. (2016). Preparation and characterization of polyurethane (PU) / Polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane, *Desalination and Water Treatment*, (8), 3405-3413. doi: 10.1080/19443994.2014.988659.

8. Tarasevich, B.N. (2012). IR spectra of the main classes of organic compounds. (In Russ.).

Information about the authors

I.P. Troev - Senior Researcher, Laboratory of Medical Biotechnologies, Medical Institute, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.M. Spiridonov - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

L.G. Marinova - Candidate of Medical Sciences, Researcher at the Laboratory of Medical Biotechnologies, Medical Institute, NEFU.

A.P. Vasiliev - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

S.N. Danilova - Junior Researcher of the Laboratory "Polymer Composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

M.P. Kirillina - Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Precarcinogenesis and Malignant Tumors of the Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems of the Siberian Branch of the RAS.

D.N. Sidorova - Laboratory Assistant of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites", Assistant of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Composite Materials of the Arctic Subarctic of the Federal Research Centre The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS.

P.N. Tarasova - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.A. Ushkanov - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

N.P. Gladkina - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

D.V. Sivtsev - Student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.