



¹Г. А. ПОПЕЛЬ, ¹И. А. МОИСЕЕНКО, ¹Р. Р. ЖМАЙЛИК, ²С. Н. РЯБЦЕВА

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОГО ОТВЕТА В ОРГАНИЗМЕ КРЫС ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СОСУДИСТЫХ ПРОТЕЗОВ

¹РНПЦ «Кардиология», Минск, Беларусь

²Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель исследования. Изучить морфологические изменения в тканях организма животного после имплантации биологического и синтетического сосудистых протезов.

Материал и методы. Исследование проведено на самцах лабораторных крыс линии Wistar ($n = 50$). Животные были распределены на 2 группы. В 1-ю группу включили животных с имплантацией фрагмента биологического сосудистого протеза из бычьего ксеноперикарда (25 особей), во 2-ю — с имплантацией фрагмента синтетического сосудистого протеза из дакрона (25 особей). Забор образцов для морфологического исследования проводили на 3, 7, 14, 21 и 30-е сутки после операции.

Результаты. После операции у животных 2-й группы, начиная с 3-х суток, наблюдали признаки фибринозного воспаления с формированием на 7-е сутки гнойного экссудата на «дне гофр», а также признаки начала образования грануляционной ткани вокруг протеза. В 1-й группе выявлены признаки созревающей грануляционной ткани вокруг протеза с многочисленными тонкостенными сосудами и умеренно выраженной воспалительной инфильтрацией.

Во 2-й группе через 3 нед после операции во всех исследованных образцах присутствовали классические макрофагально-гигантоклеточные гранулемы, окруженные слоем коллагеновых волокон. В 1-й группе обнаружены пролиферирующие фибробласты по периферии воспалительного инфильтрата.

На 30-е сутки у животных 2-й группы сформировалась фиброзная капсула, а у животных 1-й группы обнаружены клетки фибробластического ряда, соединительнотканые волокна и сосуды.

Заключение. Статистически значимых морфологических различий ответа организма крыс на имплантацию биологического сосудистого протеза из ксеноперикарда по сравнению с синтетическим протезом из дакрона, покрытого модифицированным желатином, не выявлено.

Ключевые слова: синтетический сосудистый протез, биологический сосудистый протез, ксеноперикард, крыса, аорта, воспаление, морфометрия.

Objective. To investigate tissue reaction in animals after implantation of biological and synthetic vascular grafts.

Materials and methods. The study was carried out on male Wistar laboratory rats ($n = 50$). The animals were divided into 2 groups: group 1 — with implantation of a fragment of the biological vascular graft (25 animals), group 2 — with implantation of a fragment of a synthetic vascular graft made of Dacron (25 animals). Sampling for morphological examination was performed on the 3rd, 7th, 14th, 21st and 30th days after surgery.

Results. Animals with implanted fragment of a synthetic vascular graft, starting from the 3rd day after surgery, showed signs of fibrinous-purulent inflammation with the formation of purulent exudate on the 7th day, as well as signs of the beginning of the formation of granulation tissue around the graft. In the group of animals with implanted biological vascular graft, signs of maturing granulation tissue around the prosthesis with a large number of vessels and moderate inflammatory infiltration were revealed.

In animals with synthetic vascular graft, 3 weeks after surgery, classical macrophage giant cell granulomas surrounded by layers of collagen fibers were present in all the studied samples. Proliferating fibroblasts were found along the periphery of the inflammatory infiltrate in a group of animals with a biological vascular graft made of bovine xenopericardium.

On the 30th day, a fibrous capsule was formed in all animals with a fragment of a synthetic graft, and fibroblasts, connective tissue fibers and blood vessels were found in animals with implanted biograft.

Conclusion. There were no statistically significant morphological differences in the response of the rat organism to implantation of a biological vascular graft made of bovine xenopericardium compared with synthetic vascular graft made of Dacron coated with modified gelatin.

Key words: synthetic vascular prosthesis, biological vascular prosthesis, xenopericardium, rat, aorta, inflammation, morphometry.

HEALTHCARE. 2024; 2: 35—44.

MORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF THE INFLAMMATORY RESPONSE IN THE BODY OF RATS DURING IMPLANTATION OF VASCULAR GRAFTS

H. A. Popel, I. A. Maisyenko, R. R. Zhmailik, S. N. Rjabceva

Заболевания сердечно-сосудистой системы по-прежнему остаются основной причиной преждевременной смертности и роста финансовых расходов на здравоохранение в большинстве развитых стран мира [1]. С учетом старения населения и увеличением продолжительности жизни во всем мире увеличивается и количество заболеваний, связанных с поражением магистральных сосудов, требующих выполнения реконструктивных хирургических вмешательств, что в свою очередь ведет к возрастанию потребности в сосудистых протезах.

Морфологический контроль воспалительной реакции в ответ на имплантацию современных сосудистых протезов имеет научное и практическое значение. По мнению некоторых авторов, оценка биосовместимости создаваемых сосудистых протезов, проводимая на модели животных, а именно на крысах, с использованием способа подкожной имплантации, зарекомендовала себя как высокоэффективный, достоверный и относительно недорогой метод исследования тканевой реакции организма на инородный материал [2].

Цель исследования — изучить морфологические изменения в тканях организма животного после имплантации биологического и синтетического сосудистых протезов.

Материал и методы

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси» (протокол № 20 от 12.11.2020 г. и протокол № 1 от 22.01.2021 г.). Программа и методика исследования разработаны в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 1986).

Расчет необходимого размера выборки выполнен с помощью программы G*Power 3.1.9.7 (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Германия) [3].

Исследование проводили на базе вивария ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси» на самцах лабораторных крыс линии Wistar ($n = 50$) массой 180—200 г. Крысы были разделены на 2 группы:

1-я группа ($n = 25$) — животные с имплантацией фрагмента биологического сосудистого протеза из бычьего ксеноперикарда (БП), разработанного авторами;

2-я группа ($n = 25$) — животные с имплантацией фрагмента синтетического сосудистого протеза (СП), покрытого модифицированным желатином — Gelsoft Vascutek Terumo (Terumo Corporation, Hatagaya, Shibuya-ku, Tokyo, Japan) — контроль.

После удаления шерстного покрова в области операционного поля и обработки 5 % спиртовым раствором йода животным выполняли срединную лапаротомию. По задней поверхности стенки живота формировали карман для имплантации фрагмента сосудистого протеза площадью 1 см². После имплантации протеза карман и лапаротомную рану ушивали.

По истечению соответствующего срока наблюдения животных выводили из эксперимента путем внутривенного введения летальной дозы тиопентала натрия (100 мг/кг) и осуществляли забор материала для морфологического исследования.

Участки ткани с имплантированными фрагментами протезов фиксировали в 10 % нейтральном забуференном растворе формалина. Затем проводили автоматическую проводку материала в гистологическом вакуумном процессоре KD-NS6B (KEDEE, Китай) и заключали в парафин. Из каждого объекта с помощью ротационного микротомы CUT56 (SleeMedical, Германия) готовили серийные срезы толщиной 2—4 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином, по Маллори.

Исследование микропрепаратов проводили с помощью бинокулярного светового микроскопа Optec BK5000 (Китай), оснащенного цифровой камерой, при увеличении микроскопа 40, 100 и 400 не менее чем в пяти произвольно выбранных, не пересекаемых полях зрения. На микропрепаратах оценивали общую гистологическую картину в зоне имплантации протеза и клеточный состав инфильтрата, а также строение соединительнотканной капсулы, наличие и выраженность ее слоев, степень зрелости коллагеновых волокон.

Оценку клеточной и тканевой реакции на имплантацию фрагментов исследуемых протезов проводили в соответствии с ГОСТ ISO 10993-6-2011 «Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 6. Исследование местного действия после имплантации» [4].

По условиям данного эксперимента исследуемый образец признавали:

- не раздражающим (0,0—2,9 балла);
- легким раздражителем (3,0—8,9 балла);
- умеренным раздражителем (9,0—15,0 балла);
- тяжелым раздражителем (>15 баллов).

Полученные в ходе исследования данные представлены в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения ($\pm SD$), медианы (Me) и квартилей (Q_1 — Q_3). При нормальном распределении признака использовали t -критерий Стьюдента для независимых выборок. При применении непараметрических статистических методов для сравнения групп брали U -критерий Манна — Уитни. Величина ошибки I рода равна 5 %. Статистический анализ выполняли на языке программирования R (версия 4.2.1 для ОС Windows).

Результаты и обсуждение

На 3-и сутки после имплантации фрагмента СП наблюдали признаки выраженного фибринозно-гнойного воспаления и начала формирования грануляционной ткани в месте имплантации. Формирующаяся грануляционная ткань располагалась между мышечными элементами, способствуя их сдавлению и развитию дистрофических изменений.

Многочисленные нейтрофилы (8,5 [4,8—15,3] клеток/ПЗ) обильно инфильтрировали мышечные волокна, определялись начальные признаки формирования микроабсцессов. Кроме того,

в инфильтрате были выявлены макрофаги (16,5 [14,5—20,3] клеток/ПЗ), лимфоциты (14,5 [12,5—16,0] клеток/ПЗ) и фибробласты (11,8 \pm 1,6 клеток/ПЗ). Отмечали также активную неоваскуляризацию на фоне выраженного отека грануляционной ткани (рис. 1).

На 3-и сутки после имплантации фрагмента БП в зоне имплантации наблюдали параллельно ориентированные пучки ксеноперикарда с равномерным окрашиванием на всем протяжении. Фрагмент протеза окружен тонкой полосой инфильтрационного вала, клеточный состав которого представлен лимфоцитами (19,0 [16,8—20,3] клеток/ПЗ), макрофагами (20,0 [17,3—20,3] клеток/ПЗ) и нейтрофилами (6,5 [5,8—9,5] клеток/ПЗ). Вблизи зоны имплантации мягкие ткани брюшной стенки расслоены за счет отека и разрастаний незрелой грануляционной ткани, прослеживаются фокусы некроза миоцитов (рис. 2).

Качественная и количественная характеристика клеточного состава окружающей ткани вокруг исследуемых сосудистых протезов представлена в табл. 1.

На 7-е сутки после имплантации фрагмента СП сохранялись признаки выраженной воспалительной реакции с формированием гноя экссудата, особенно на «дне гофра». Капсула была представлена зрелой грануляционной тканью с начальными признаками ее фиброза

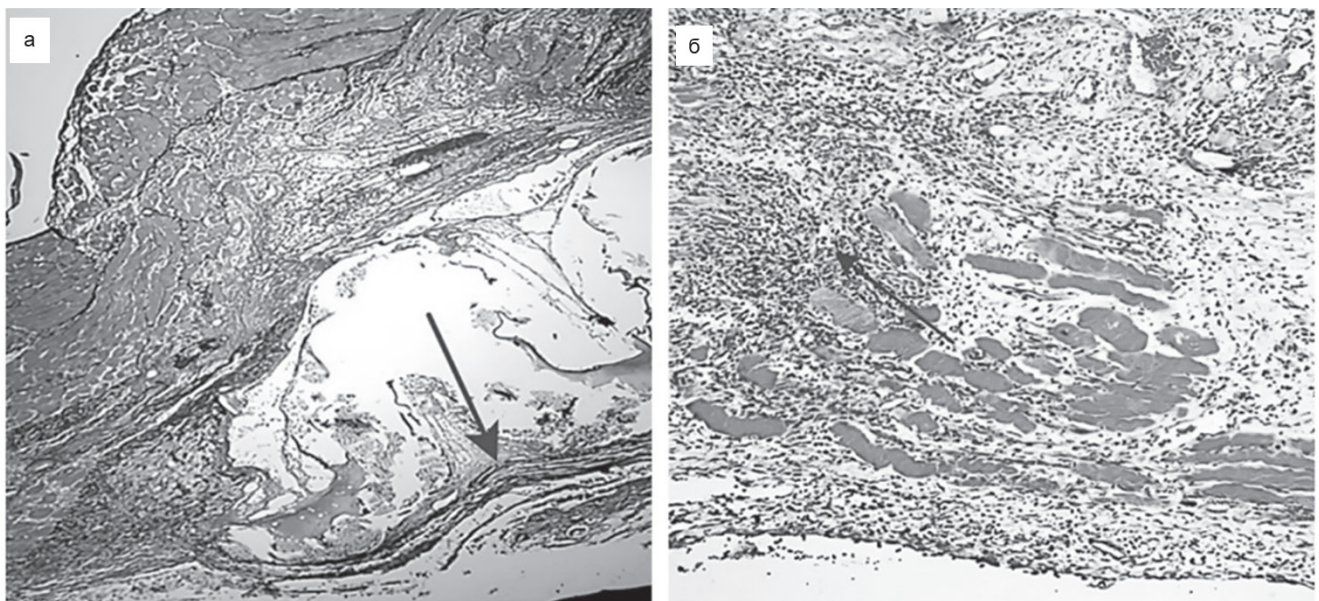


Рис. 1. Морфологические изменения в тканях брюшной стенки на 3-и сутки после имплантации синтетического сосудистого протеза: а — формирование грануляционной ткани (стрелка) вокруг имплантации. Ув. 40. Окраска по Маллори; б — выраженный отек и инфильтрация межмышечного пространства (стрелка). Ув. 100. Окраска гематоксилином и эозином

(рис. 3). Клеточный состав инфильтрата: макрофаги (17,0 [11,8—20,3] клеток/ПЗ), лимфоциты (12,0 [11,0—14,3] клеток/ПЗ), единичные ги-

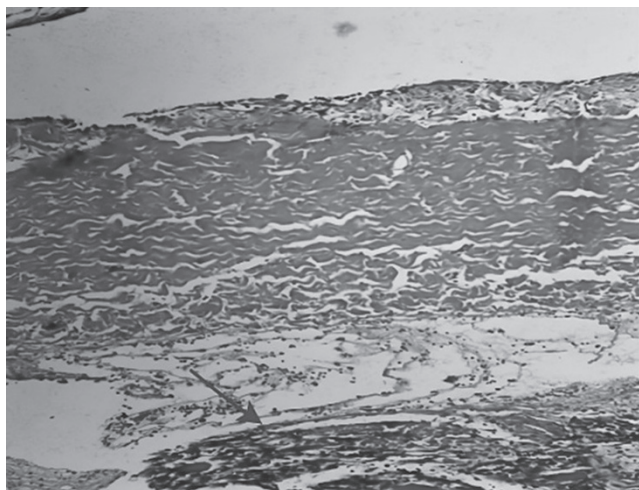


Рис. 2. Тканевая реакция вокруг фрагмента биологического сосудистого протеза из бычьего ксеноперикарда на 3-и сутки эксперимента (перипротезная воспалительная инфильтрация (стрелка). Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 100

гантские многоядерные клетки инородных тел (5,5 [4,8—6,3] клеток/ПЗ) и многочисленные нейтрофилы (11,5 [7,0—13,8] клеток/ПЗ).

На 7-е сутки после имплантации материал биологического сосудистого протеза имеет однородную структуру в виде параллельно ориентированных пучков ксеноперикарда с легкой волнообразной деформацией. Фрагмент протеза окружен тонким инфильтрационным валом (рис. 4, а). Клеточный состав инфильтрата представлен лимфоцитами (20,0 [16,5—21,3] клеток/ПЗ), макрофагами (12,0 [11,0—13,3] клеток/ПЗ) и фибробластами (10,7±1,6 клеток/ПЗ). В зоне непосредственного контакта преобладали макрофаги и эпителиоидные клетки (5,0 [4,5—6,0] клеток/ПЗ), которые осуществляли начальный лизис имплантированного фрагмента (рис. 4, б).

Вокруг имплантированного фрагмента протеза выявлены признаки созревающей грануляционной ткани с многочисленными тонкостенными сосудами, коллагенизацией стромы

Таблица 1

Клеточный состав инфильтрата на 3-и сутки эксперимента

Клетки	1-я группа (клеток/ПЗ)	2-я группа (клеток/ПЗ)	P
Нейтрофилы	6,5 [5,8—9,5]	8,5 [4,8—15,3]	0,752
Лимфоциты	19,0 [16,8—20,3]	14,5 [12,5—16,0]	0,007
Плазмоциты	7,5 [5,8—8,3]	7,5 [4,75—8,25]	0,559
Макрофаги	20,0 [17,3—20,3]	16,5 [14,5—20,3]	0,671
ГМКИТ	5,0 [4,8—6,0]	6,0 [4,0—6,3]	0,480

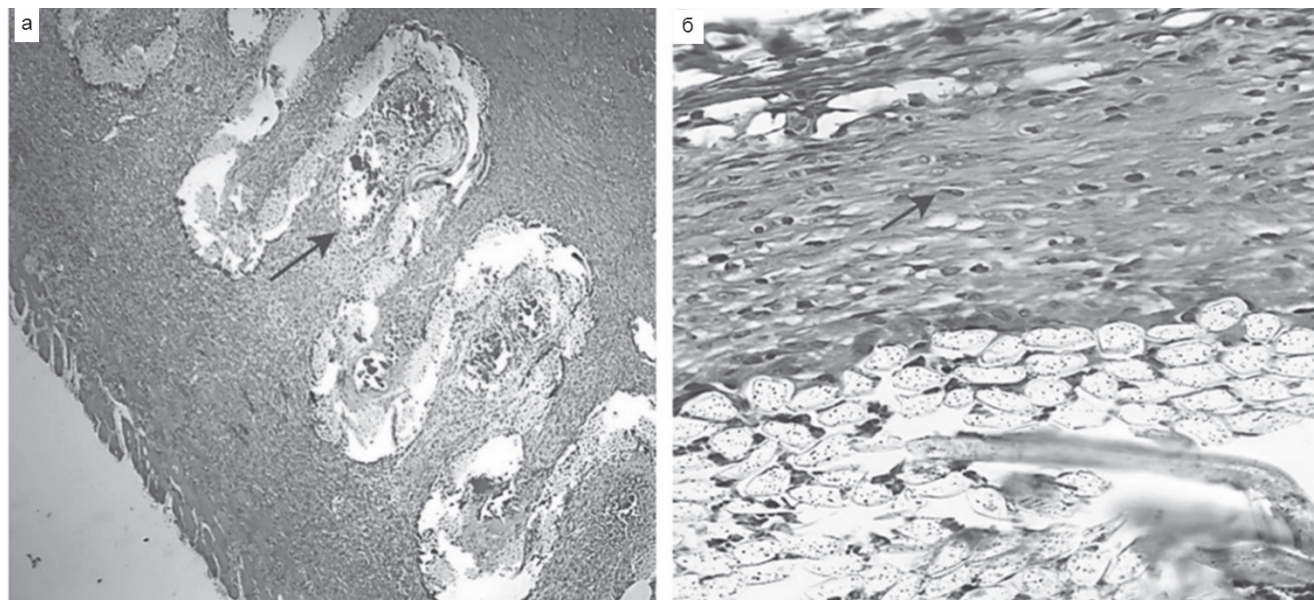


Рис. 3. Морфологические изменения в тканях животных с имплантированным фрагментом СП на 7-е сутки эксперимента: а — созревание грануляционной ткани (стрелка). Ув. 40; б — фибробласты в соединительнотканной капсуле (стрелка). Ув. 400. Окраска гематоксилином и эозином

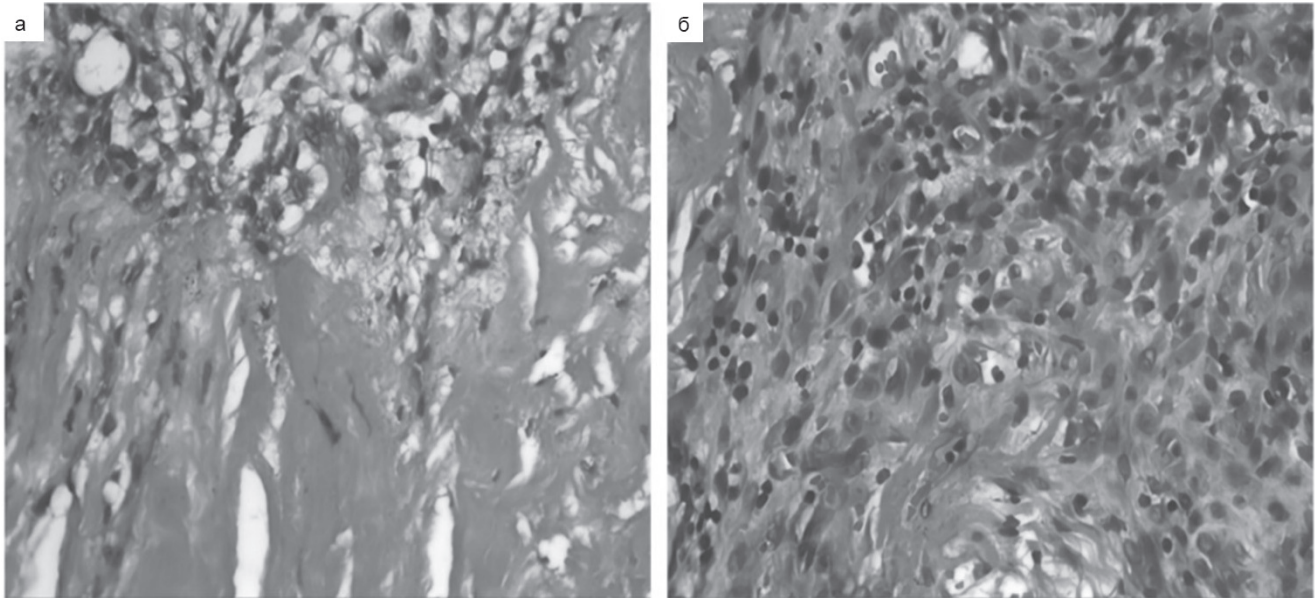


Рис. 4. Клеточный состав инфильтрата вблизи фрагмента СП из ксеноперикарда на 7-е сутки после имплантации: а — воспалительная инфильтрация ксеноперикарда; б — начальные признаки лизиса имплантированного фрагмента ксеноперикарда. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400

и умеренно выраженной воспалительной инфильтрацией.

Качественная и количественная характеристика клеточного состава окружающей ткани вокруг исследуемых сосудистых протезов на 7-е сутки представлена в табл. 2.

Спустя 14 сут после операции в исследуемых срезах в зоне СП отмечали формирование соединительнотканной капсулы с распространением на всю толщу мышечной пластинки с признаками продуктивной фазы воспаления (рис. 5).

Таблица 2

Клеточный состав инфильтрата на 7-е сутки эксперимента

Клетки	1-я группа (клеток/ПЗ)	2-я группа (клеток/ПЗ)	P
Нейтрофилы	4,0 [2,0—6,5]	11,5 [7,0—13,8]	0,023
Лимфоциты	20,0 [16,5—21,3]	12,0 [11,0—14,3]	0,008
Плазмоциты	5,5 [4,3—7,3]	7,5 [5,0—8,3]	0,395
Макрофаги	12,0 [11,0—13,3]	17,0 [11,8—20,3]	0,164
ГМКИТ	5,0 [4,5—6,0]	5,5 [4,8—6,3]	0,480

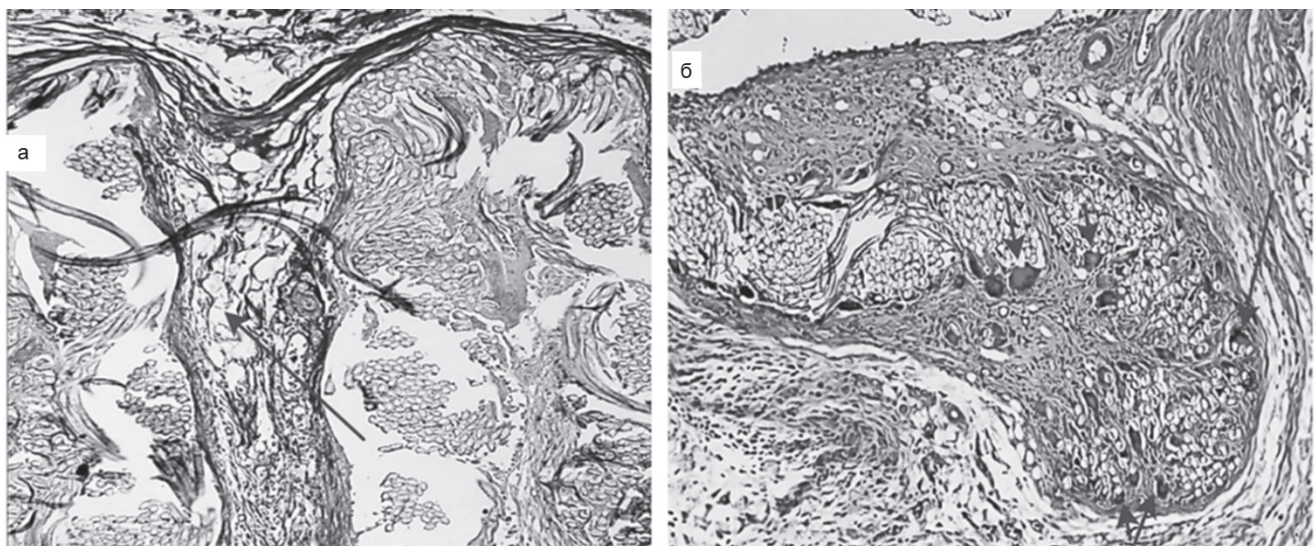


Рис. 5. Морфологические изменения в тканях на 14-е сутки после имплантации фрагмента СП: а — отечная фиброзная капсула. Ув. 100. Окраска по Маллори; б — ГМКИТ. Ув. 100. Окраска гематоксилином и эозином

В воспалительном инфильтрате обнаружены нейтрофилы (6,5 [4,3—9,5] клеток/ПЗ), лимфоциты (8,5 [7,0—10,3] клеток/ПЗ), фибробласты (21,3±1,5 клеток/ПЗ), ГМКИТ (7,5 [6,8—8,0] клеток/ПЗ) и макрофаги (18,5 [15,8—20,3] клеток/ПЗ) (рис. 6).

При исследовании микропрепаратов секционного материала крыс, которым был имплантирован фрагмент БП, на 14-е сутки выявлена выраженная лимфогистиоцитарная инфильтрация ксеноперикарда с включением эпителиоидных клеток и гигантских многоядерных клеток инородных тел непосредственно около пучков протеза. Клеточный состав инфильтрата: макрофаги (12,5 [11,0—13,5] клеток/ПЗ), лимфоциты (11,5 [9,8—13,0] клеток/ПЗ), ГМКИТ (7,0 [6,0—8,0] клеток/ПЗ) и нейтрофилы (4,0 [3,8—5,0] клеток/ПЗ) (рис. 7).

Качественная и количественная характеристика клеточного состава окружающей ткани в зоне исследуемых протезов на 14-е сутки представлена в табл. 3.

На 21-е сутки при гистологическом исследовании материала животных, которым был имплантирован фрагмент СП, во всех исследованных образцах присутствовали классические

макрофагально-гигантоклеточные гранулемы, окруженные слоем параллельно ориентированных плотноупакованных коллагеновых волокон. Клеточность инфильтрата была менее выражена и представлена ГМКИТ (8,0 [7,8—9,0] клеток/ПЗ), макрофагами (11,5 [9,8—17,0] клеток/ПЗ), нейтрофилами (5,5 [2,8—6,3] клеток/ПЗ) и лимфоцитами (8,0 [7,0—9,5] клеток/ПЗ). Некоторые макрофаги имели включения гемосидерина. Отмечали признаки активной пролиферации фибробластов (21,7±1,7 клеток/ПЗ) (рис. 8).

Клеточный состав воспалительного инфильтрата на 21-е сутки у животных с имплантированным БП представлен макрофагами (12,5 [11,0—16,3] клеток/ПЗ), лимфоцитами (9,0 [6,5—11,0] клеток/ПЗ), фибробластами (12,7±1,9 клеток/ПЗ) и нейтрофилами (2,5 [2,0—4,5] клеток/ПЗ). В области непосредственного контакта с материалом преобладали макрофаги, а также ГМКИТ (7,0 [6,0—7,3] клеток/ПЗ). По периферии воспалительного инфильтрата обнаружены пролиферирующие фибробласты с фокусами новообразованных коллагеновых волокон (рис. 9).

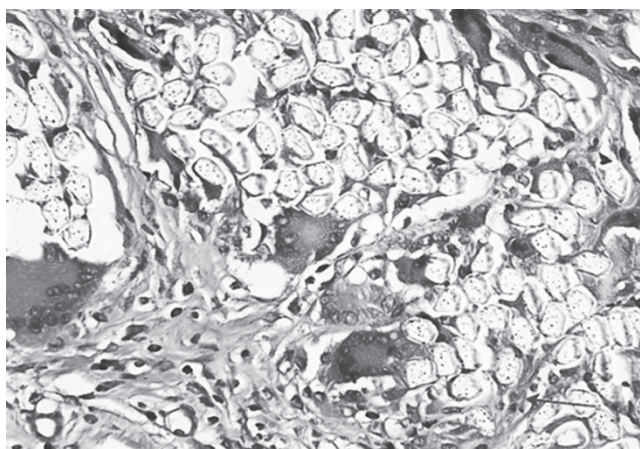


Рис. 6. Фагоцитоз фрагментов протеза гигантскими многоядерными клетками инородных тел. Ув. 400. Окраска гематоксилином и эозином

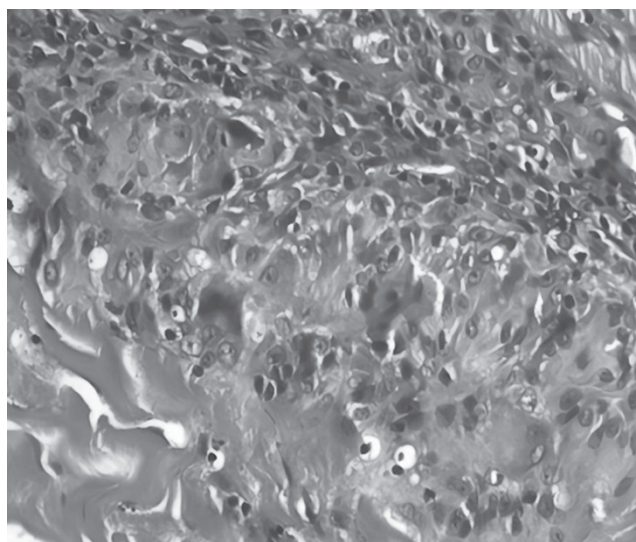


Рис. 7. Воспалительный инфильтрат на 14-е сутки после имплантации фрагмента БП. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400

Таблица 3

Клеточный состав инфильтрата на 14-е сутки эксперимента

Клетки	1-я группа (клеток/ПЗ)	2-я группа (клеток/ПЗ)	P
Нейтрофилы	4,0 [3,8—5,0]	6,5 [4,3—9,5]	0,203
Лимфоциты	11,5 [9,8—13,0]	8,5 [7,0—10,3]	0,034
Плазмocyты	2,5 [1,8—3,0]	3,0 [2,0—4,3]	0,483
Макрофаги	12,5 [11,0—13,5]	18,5 [15,8—20,3]	0,003
ГМКИТ	7,0 [6,0—8,0]	7,5 [6,8—8,0]	0,443

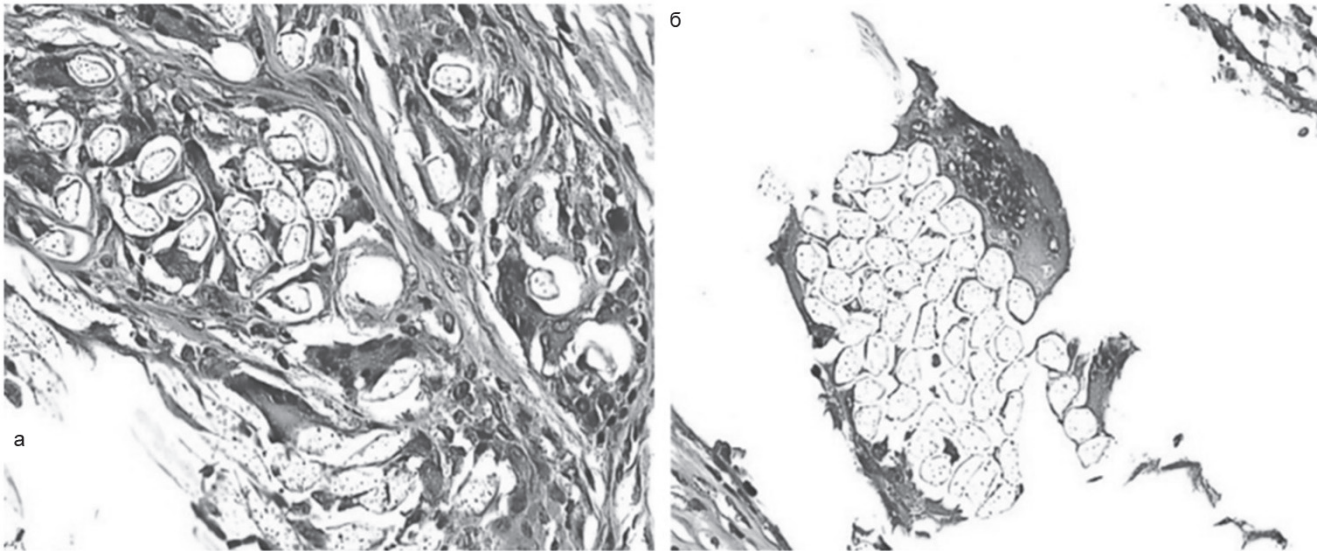


Рис. 8. Гистологическая картина тканей животных на 21-е сутки после имплантации СП: а — клеточный состав гранулемы; б — гигантская многоядерная клетка инородных тел фагоцитирует фрагменты протеза. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400

Характеристика клеточного состава окружающей ткани вокруг исследуемых сосудистых протезов на 21-е сутки представлена в табл. 4.

К 30-м суткам в гистологических срезах у всех животных с СП парапротезно была сформиро-

вана фиброзная капсула. Наружная ее часть представлена плотноупакованными упорядоченными коллагеновыми волокнами. Во внутреннем слое коллагеновые волокна менее оксифильны и расположены более рыхло. Клеточный

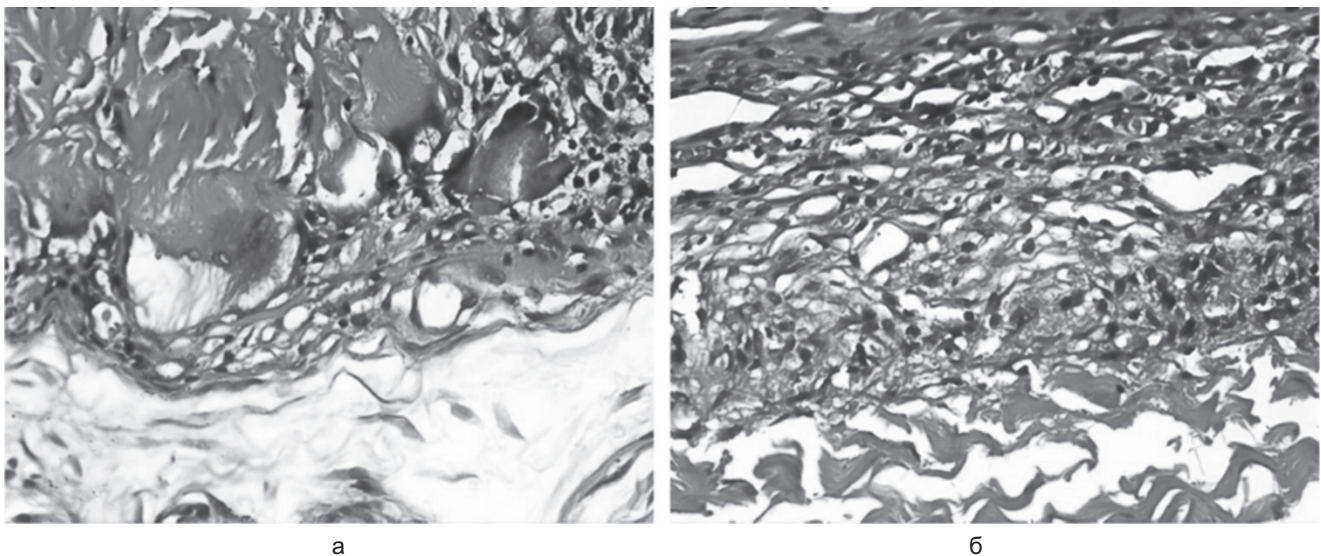


Рис. 9. Состав воспалительного инфильтрата на 21-е сутки после имплантации фрагмента БП: а — макрофаги и гигантские многоядерные клетки инородных тел в области непосредственного контакта с волокнами ксеноперикарда; б — пролиферирующие фибробласты и очаги новообразованного коллагена. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400

Таблица 4

Клеточный состав инфильтрата на 21-е сутки эксперимента

Клетки	1-я группа (клеток/ПЗ)	2-я группа (клеток/ПЗ)	P
Нейтрофилы	2,5 [2,0—4,5]	5,5 [2,8—6,3]	0,240
Лимфоциты	9,0 [6,5—11,0]	8,0 [7,0—9,5]	0,873
Плазмоциты	2,0 [0,8—2,3]	4,5 [3,0—5,3]	0,017
Макрофаги	12,5 [11,0—16,3]	11,5 [9,8—17,0]	0,523
ГМКИТ	7,0 [6,0—7,3]	8,0 [7,8—9,0]	0,077

состав инфильтрата во внутреннем слое капсулы: гигантские многоядерные клетки инородных тел ($3,0 [3,0—4,5]$ клеток/ПЗ), макрофаги ($5,0 [3,0—7,0]$ клеток/ПЗ), фибробласты ($28,9 \pm 1,5$ клеток/ПЗ) и нейтрофилы ($0,0 [0,0—1,0]$ клеток/ПЗ) (рис. 10).

На 30-е сутки после имплантации БП фрагмент последнего имел однородную структуру. В составе инфильтрата определяли преимущественно макрофаги ($15,0 [11,5—18,5]$ клеток/ПЗ), лимфоциты ($5,0 [3,0—6,0]$ клеток/ПЗ), плазматические клетки ($2,0 [1,0—4,5]$ клеток/ПЗ) и

эпителиоидные клетки. Перифокально обнаружены клетки фибробластического ряда ($15,6 \pm 1,5$ клеток/ПЗ), соединительнотканые волокна и сосуды (рис. 11).

Характеристика клеточного состава окружающей ткани вокруг исследуемых протезов на 30-е сутки представлена в табл. 5.

На 30-е сутки эксперимента также была проведена полуколичественная оценка степени выраженности воспалительного ответа и тканевой реакции на имплантацию фрагментов исследуемых сосудистых протезов (табл. 6).

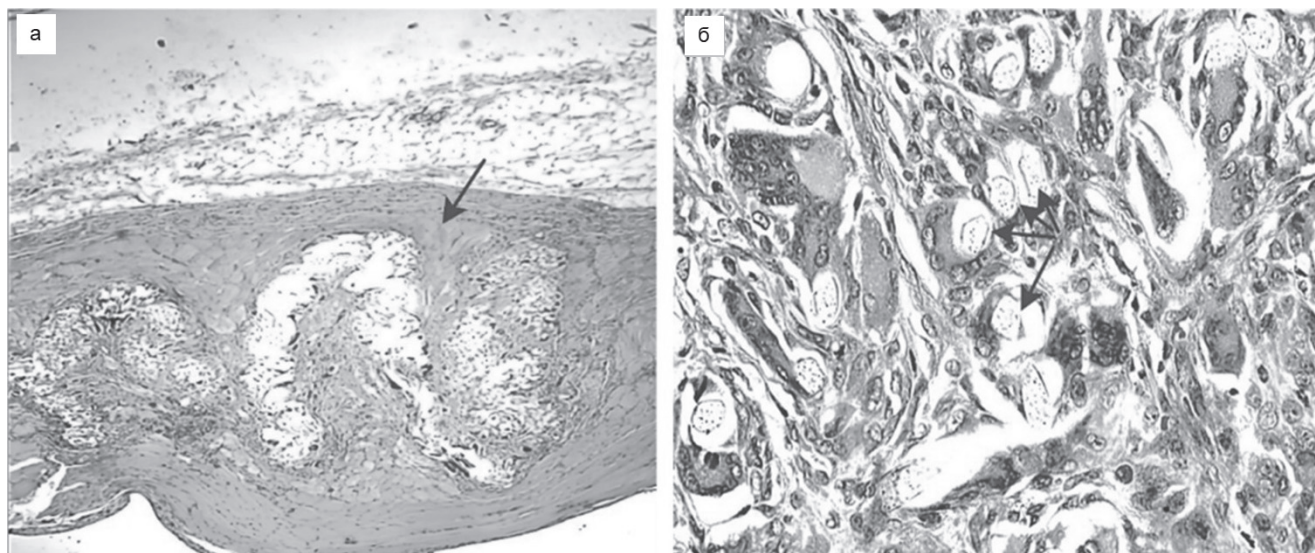


Рис. 10. Морфологические изменения в исследуемых тканях на 30-е сутки после имплантации СП: а — фиброзная капсула вокруг протеза. Ув. 40; б — обилие многоядерных гигантских клеток, осуществляющих фагоцитоз. Ув. 400. Окраска гематоксилином и эозином

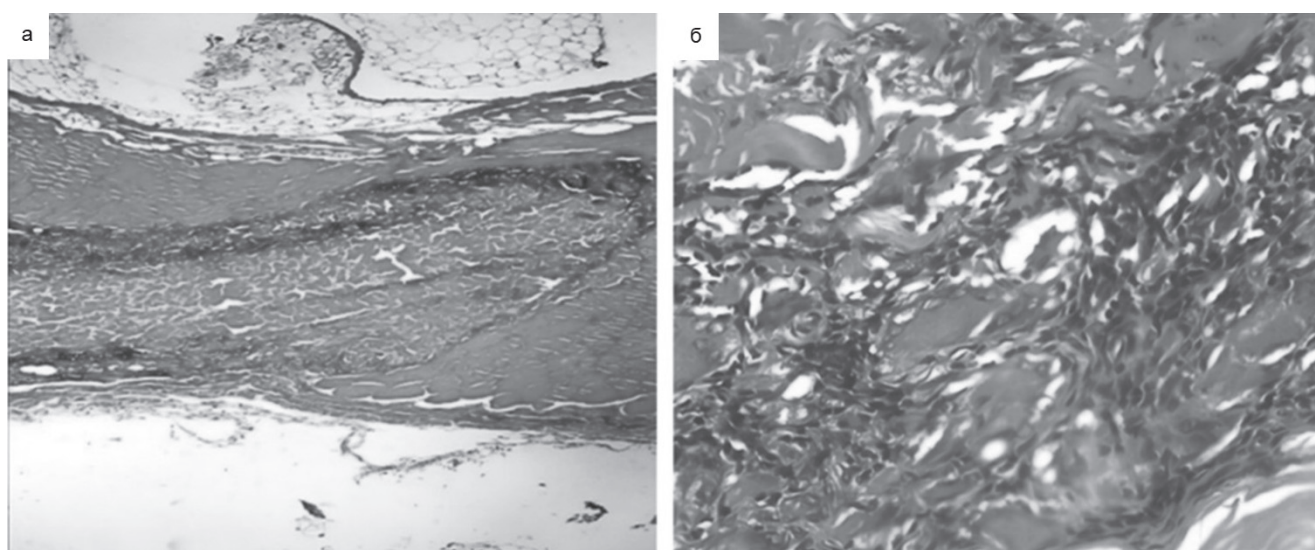


Рис. 11. Тканевая реакция в зоне имплантации фрагмента БП на 30-е сутки; а — волокна ксеноперикарда ограничены воспалительным валом от мышц брюшной стенки. Ув. 40; б — клеточный состав воспалительного инфильтрата. Ув. 400. Окраска гематоксилином и эозином

Таблица 5

Клеточный состав инфильтрата на 30-е сутки эксперимента

Клетки	1-я группа (клеток/ПЗ)	2-я группа (клеток/ПЗ)	P
Нейтрофилы	1,0 [0,5—2,0]	0,0 [0,0—1,0]	0,077
Лимфоциты	5,0 [3,0—6,0]	3,0 [2,0—6,0]	0,357
Плазмоциты	2,0 [1,0—4,5]	3,0 [2,0—4,5]	0,542
Макрофаги	15,0 [11,5—18,5]	5,0 [3,0—7,0]	<0,001
ГМКИТ	5,0 [4,0—6,5]	3,0 [3,0—4,5]	0,032

Таблица 6

Балльная оценка местного биологического действия фрагментов синтетического и биологического сосудистых протезов на 30-е сутки после имплантации

Показатель, балл	1-я группа	2-я группа	p
Воспаление	28,40 ± 2,17	27,00 ± 3,58	0,378
Тканевая реакция	3,53 ± 0,74	2,75 ± 0,77	0,011
Всего	31,93 ± 2,66	29,75 ± 3,91	0,141
Средний показатель	2,18		

В результате проведенной морфологической оценки установлено, что исследуемый образец биологического сосудистого протеза из ксеноперикарда является нераздражающим (2,18 балла) по сравнению с зарегистрированным синтетическим сосудистым протезом.

Определение биосовместимости при разработке новых изделий медицинского назначения для сердечно-сосудистой хирургии способствует расширению знаний о характере взаимодействия синтетических или биологических материалов с тканями живого организма [5].

Некоторые исследователи считают, что одной из причин различий воспалительного ответа и характера тканевой реакции на имплантацию сосудистых протезов является иммунный ответ организма на материал сосудистого протеза, а также на компоненты в составе его покрытия [6, 7]. Например, в исследовании Z. Wang и соавт. было показано, что интенсивность и характер тканевой реакции зависят от скорости биодеградации покрытия сосудистого протеза [8]. У крыс морфологически подтверждено, что биодеградация значительной части покрытия на основе желатина наступает уже к 5-м суткам после имплантации сосудистого протеза, а к 10—14-м суткам появляются признаки продуктивной фазы воспаления и его интенсивность начинает постепенно снижаться [9].

Полученные результаты морфологической оценки тканей при применении синтетического сосудистого протеза сопоставимы с данными ранее проведенных экспериментальных исследований. Вместе с тем результаты морфологического анализа при использовании биологи-

ческого сосудистого протеза, изготовленного из ксеноперикарда, указывают на менее выраженную клеточную реакцию окружающих тканей организма крыс по сравнению с синтетическим сосудистым протезом из дакрона. При этом повышенное содержание лимфоцитов может быть показателем иммунологической активности организма в ответ на используемый биологический материал.

Контактная информация:

Попель Геннадий Адольфович — к. м. н., доцент, зав. лабораторией хирургии сосудов. Республиканский научно-практический центр «Кардиология». Ул. Р. Люксембург, 110 Б, 220036, г. Минск. Сл. тел.: +375 17 201-28-08.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Г. А. П.
Сбор и обработка материала: Г. А. П., И. А. М., Р. Р. Ж., С. Н. Р.
Написание текста: Г. А. П., И. А. М.
Редактирование текста: Г. А. П., И. А. М.

Конфликт интересов отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990—2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020; 396 (10258): 1204—22.
2. Kazemzadeh G. H., Jirofti N., Mohebbi-Kalhor D. et al. Assessment of tissue reaction of rat to materials used in vascular grafts. *Biomedical Research*. 2018; 29 (13): 2794—6.
3. Faul F., Erdfelder E., Buchner A. et al. Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav. Res. Methods*. 2009; 41 (4): 1149—60.
4. ГОСТ ISO 10993-6-2011 Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 6. Исследование местного действия после имплантации. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.
5. Pinto Tde J., Saito T., Glerean A. Biocompatibilidade de materiais empregados na confecção de próteses

cardiovasculares: comparacao entre pericardio bovine e Dacron. *Rev. Saude Publica*. 1993; 27 (3): 185—9.

6. Chiba Y., Muraoka R., Ihaya A. et al. Postoperative inflammatory reactions of impregnated Dacron grafts. *Surg. Today*. 1999; 29 (11): 1225—8.

7. Kohler R., Pohl C., Walschus U. et al. Association of systemic antibody response against polyethylene terephthalate with inflammatory serum cytokine profile following implantation of differently coated vascular prostheses in a rat animal model. *J. Biomed. Mater. Res. A*. 2022; 110 (1): 52—63.

8. Wang Z., Wang S., Marois Y. et al. Evaluation of biodegradable synthetic scaffold coated on arterial prostheses implanted in rat subcutaneous tissue. *Biomaterials*. 2005; 26 (35): 7387—401.

9. Drury J. K., Ashton T. R., Cunningham J. D. et al. Experimental and clinical experience with a gelatin impregnated Dacron prosthesis. *Ann. Vasc. Surg.* 1987; 1 (5): 542—7.

REFERENCES

1. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990—2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020; 396 (10258): 1204—22.

2. Kazemzadeh G. H., Jirofti N., Mohebbi-Kalhari D. et al. Assessment of tissue reaction of rat to materials used in vascular grafts. *Biomedical Research*. 2018; 29 (13): 2794—6.

3. Faul F., Erdfelder E., Buchner A. et al. Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav. Res. Methods*. 2009; 41 (4): 1149—60.

4. State Standard 10993-6-2011 Medical devices. Assessment of the biological effect of medical devices. Part 6. Investigation of local action after implantation. Moscow: Standartinform Publ.; 2013. [(in Russian)]

5. Pinto Tde J., Saito T., Glerean A. Biocompatibilidade de materiais empregados na confecção de próteses cardiovasculares: comparação entre pericárdio bovino e Dacron. *Rev. Saude Publica*. 1993; 27(3): 185—9.

6. Chiba Y., Muraoka R., Ihaya A. et al. Postoperative inflammatory reactions of impregnated Dacron grafts. *Surg. Today*. 1999; 29(11): 1225—8.

7. Kohler R., Pohl C., Walschus U. et al. Association of systemic antibody response against polyethylene terephthalate with inflammatory serum cytokine profile following implantation of differently coated vascular prostheses in a rat animal model. *J. Biomed. Mater. Res. A*. 2022; 110 (1): 52—63.

8. Wang Z., Wang S., Marois Y. et al. Evaluation of biodegradable synthetic scaffold coated on arterial prostheses implanted in rat subcutaneous tissue. *Biomaterials*. 2005; 26 (35): 7387—401.

9. Drury J. K., Ashton T. R., Cunningham J. D. et al. Experimental and clinical experience with a gelatin impregnated Dacron prosthesis. *Ann. Vasc. Surg.* 1987; 1 (5): 542—7.

Поступила 05.10.2023.

Принята к печати 22.12.2023.