

Исследование процесса интеграции имплантатов на субмикроскопическом уровне в ранние сроки после операции

М.Г. Федорова, О.В. Калмин, В.А. Ларионова

Пензенский государственный университет
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

Резюме

Процессы биологической интеграции имплантата и регенерации окружающих тканей после операции недостаточно изучены. Более детальное исследование морфологических изменений на разных стадиях имплантации и послеоперационного периода может способствовать выявлению возможных причин появления негативных реакций на конкретный вид имплантатов, модификации уже имеющихся материалов, а следовательно, улучшению качества лечения и прогноза жизни пациентов. Цель исследования – изучение процесса интеграции синтетического и биологического имплантата на субмикроскопическом уровне в ранние сроки после операции. **Материал и методы.** Проведены операции по внедрению синтетической сетки и ксеноперикардиальной пластины в переднюю брюшную стенку и стенку тонкой кишки 10 половозрелым самцам кроликов породы «Шиншилла». Через 14 дней после операции фрагменты тканей с внедренными имплантатами были направлены на исследование с применением детектора обратнорассеянных электронов при помощи сканирующего электронного микроскопа. **Результаты и их обсуждение.** Пропиленовая сетка формирует менее стабильную структуру, так как при ее биоинтеграции образуются «заломы» и «пустые» участки, не заполненные новой соединительной тканью. Устойчивость ксеноперикардиальной пластины обеспечивается схожим направлением собственных волокон и новообразованных коллагеновых волокон. **Заключение.** Полипропиленовые имплантаты могут становиться подвижными в окружающих тканях, что снижает результативность проведенной операции. Ксеноперикард в ранние сроки лучше фиксируется к тканям, в которые он был внедрен.

Ключевые слова: электронно-микроскопическое исследование, ксеноперикардиальная пластина, синтетические сетки, биоинтеграция имплантатов, биологические имплантаты, синтетические имплантаты.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки. Ларионова В.А., e-mail: larionova.valeria.workakk@yandex.ru

Для цитирования. Федорова М.Г., Калмин О.В., Ларионова В.А. Исследование процесса интеграции имплантатов на субмикроскопическом уровне в ранние сроки после операции. *Сиб. науч. мед. ж.* 2025;45(4):134–139. doi: 10.18699/SSMJ20250414

Study of the process of implant integration at the submicroscopic level in the early stages after surgery

M.G. Fedorova, O.V. Kalmin, V.A. Larionova

Penza State University
440026, Penza, Krasnaya st., 40

Abstract

The processes of biological integration of the implant and regeneration of surrounding tissues after surgery are sufficiently studied. A more detailed study of morphological changes at different stages of implantation and the postoperative period can contribute to: identifying possible causes of negative reactions to a particular type of implants, modifying existing materials, and, consequently, improving the quality of treatment and prognosis for patients. The aim of study is to investigate the integration process of synthetic and biological implants at the submicroscopic level in the early stages after surgery. **Material and methods.** Surgeries were performed to implant a synthetic mesh and a xenopericardial plate into the anterior abdominal wall and the wall of the small intestine in 10 sexually mature male Chinchilla rabbits. Fourteen days after the surgery, tissue fragments with the implanted implants were sent for examination using a backscattered

electron detector using a scanning electron microscope. **Results and discussion.** Propylene mesh forms a less stable structure, since its iointegration results in “kinks” and “empty” areas not filled with new connective tissue. The stability of the xenopericardial plate is ensured by the similar direction of its own fibers and newly formed collagen fibers. **Conclusions.** Polypropylene implants can become mobile in the surrounding tissues, which reduces the effectiveness of the surgery. In the early stages, the xenopericardium is better fixed to the tissues into which it was implanted.

Key words: electron microscopic examination, xenopericardial plate, synthetic meshes, biointegration of implants, biological implants, synthetic implants.

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

Correspondence author. Larionova V.A., e-mail: larionova.valeria.workakk@yandex.ru

Citation. Fedorova M.G., Kalmin O.V., Larionova V.A. Study of the process of implant integration at the submicroscopic level in the early stages after surgery. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2025;45(4):134–139. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20250414

Введение

С каждым годом возрастает потребность в усовершенствовании материалов, используемых в реконструктивной хирургии. Выделяют несколько видов имплантатов: ауто-, алло-, синтетические и ксенотрансплантаты, у каждой разновидности выявлен ряд достоинств и недостатков. В данном исследовании рассматриваются следующие типы имплантатов: синтетические сетки и ксеноперикардальные пластины [1]. Синтетические сетки, материалом которых выступает пропилен или латекс, как правило, относительно недороги гипоаллергенны, но при этом обладают низким уровнем биоинтеграции и чаще отторгаются организмом [2]. Ксеноперикардальная пластина – это имплантат, созданный на основе химико-ферментативно обработанного париетального листка перикарда теленка. Для изготовления пластин используют животных определенного вида, прошедших строгий отбор и ветеринарно-санитарную экспертизу. Данный тип имплантатов обладает более высоким уровнем биосовместимости по сравнению с синтетическими сетками [3].

Несмотря на подробное описание свойств различных видов имплантатов, к сожалению, процессы биологической интеграции устройства и регенерации окружающих тканей после операции недостаточно изучены. Более детальное исследование морфологических изменений на разных стадиях установки и послеоперационного периода может способствовать выявлению причин появления негативных реакций на конкретный вид имплантатов, модификации уже имеющихся материалов, а следовательно, улучшения качества лечения и прогноза жизни пациентов.

Цель исследования – на субмикроскопическом уровне исследовать процесс интеграции синтетического и биологического имплантата в ранние сроки после операции.

Материал и методы

Проведены операции по внедрению синтетического (полипропиленовая сетка) и биологического (ксеноперикард) имплантатов в переднюю брюшную стенку и стенку тонкой кишки 10 половозрелым кроликам-самцам породы «Шиншилла». Фрагменты соединительной ткани, полученные через 14 суток после проведения операции из апоневроза передней брюшной стенки и кишечной стенки, с имплантированными участками ксеноперикардальной пластины и синтетической сетки направлены на электронно-микроскопическое исследование в Центр коллективного пользования «Визуализация высокого разрешения» Сколковского института науки и технологий. Исследование проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Quattro S (Thermo Fisher Scientific, США), выполнено исследование морфологии поверхности образца с применением детектора обратнорассеянных электронов.

Результаты и их обсуждение

При изучении фрагментов апоневроза передней брюшной стенки и кишечной стенки с имплантированной синтетической сеткой выявлен ряд схожих особенностей. На снимках в обоих случаях полипропиленовая сетка представлена грубой волокнистой структурой (толщина волокна составляет 100 мкм). Волокна сетки окружены участками новообразованной соединительной ткани (рис. 1, а). Собственная соединительная ткань неплотно оплетает волокна пропиленовой сетки, образуя «пустые» области диаметром 100–200 мкм (рис. 1, б). Часть волокон сетки имеет заостренный конец. Данные фрагменты не окружены новообразованными соединительнотканными волокнами и свободно погружены в окружающие ткани (рис. 1, в, г). Некоторые волокна сетки формируют «заломы», т.е. участки,

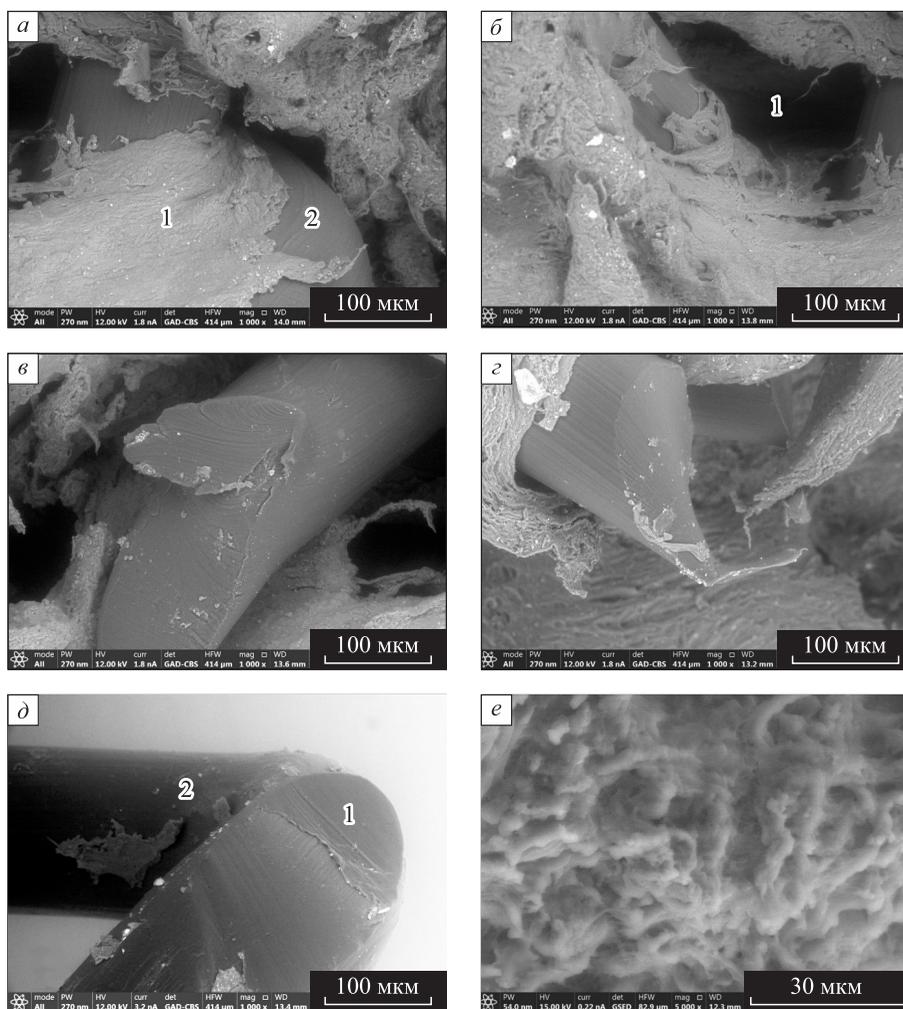


Рис. 1. Пропиленовая сетка в зоне имплантации. а – кишечная стенка. Собственная соединительная ткань (1), врастающая между волокнами синтетической сетки (2). 1000×. б – апоневроз передней брюшной стенки. Участки апоневроза брюшной стенки в центре ячеек пропиленовой сетки, не заполненные волокнами соединительной ткани (1). 1000×. в – кишечная стенка. Заостренные концы полипропиленового волокна. 1000×. з – апоневроз передней брюшной стенки. Заостренные концы полипропиленового волокна. 1000×. д – кишечная стенка. «Залом» полипропиленовой нити (1) с незначительными фрагментами волокон соединительной ткани (2). 1000×. е – кишечная стенка. Скопление слабоспирализованных коллагеновых волокон в зоне имплантации полипропиленовой сетки. 5000×

Fig. 1. Propylene mesh in the implantation area. а – intestinal wall. Own connective tissue (1) growing between the fibers of the synthetic mesh (2). 1000×. б – aponeurosis of the anterior abdominal wall. Areas of the aponeurosis of the abdominal wall in the center of the cells of the propylene mesh that are not filled with connective tissue fibers (1). 1000×. в – intestinal wall. Pointed ends of the polypropylene fiber. 1000×. з – aponeurosis of the anterior abdominal wall. Pointed ends of the polypropylene fiber. 1000×. д – intestinal wall. “Kink” of the polypropylene thread (1) with minor fragments of connective tissue fibers (2). 1000×. е – intestinal wall. accumulation of weakly spiraled collagen fibers in the area of polypropylene mesh implantation. 5000×

располагающиеся вне основного пласта новообразованной соединительной ткани. На фрагменте имплантата видны только единичные хаотично расположенные соединительнотканые волокна (рис. 1, д). Для формирующегося в зоне имплантации волокнистого компонента соединительной ткани характерен ряд особенностей: его большую часть составляют толстые коллагеновые волокна с низкой степенью спирализации, количество эле-

стических элементов значительно снижено (рис. 1, е). При большем увеличении в фрагментах имплантации пропиленовой сетки, полученных из апоневроза передней брюшной стенки, соединительная ткань представлена разнонаправленными слабоспирализованными коллагеновыми волокнами толщиной 5–10 мкм.

У образцов с участками ксеноперикардальной пластины, имплантированной в апоневроз

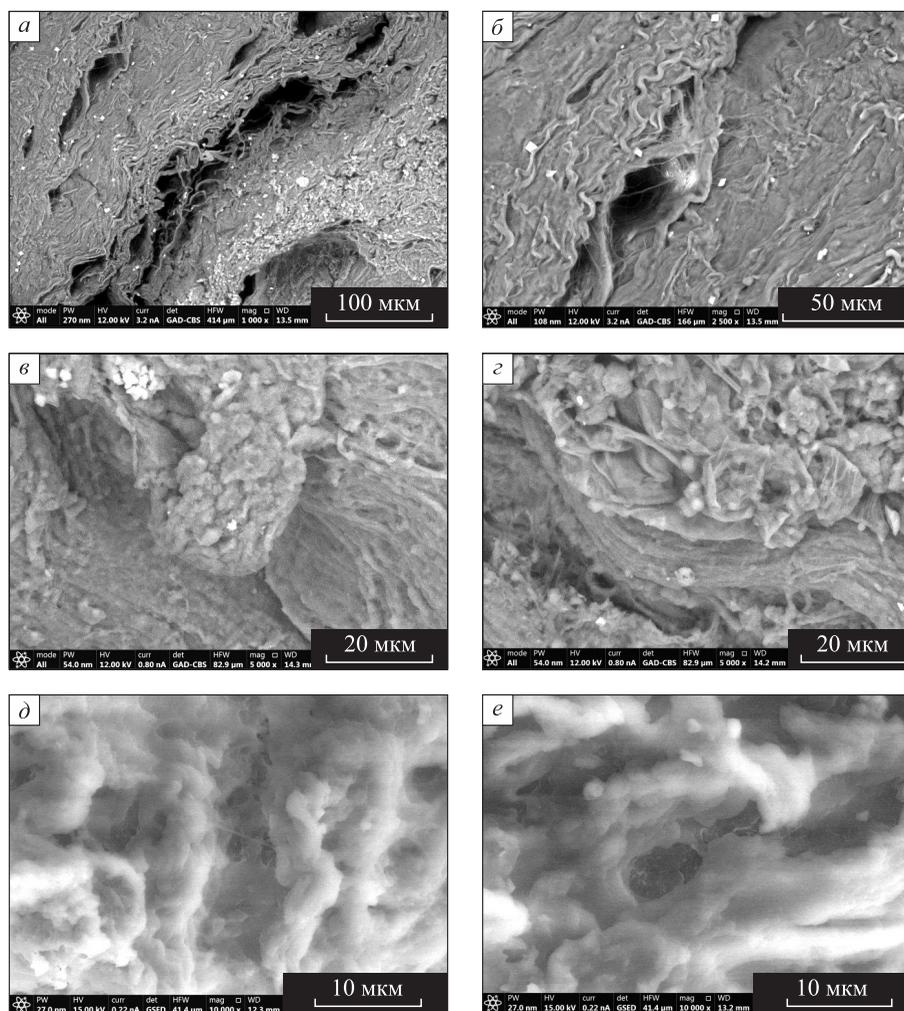


Рис. 2. Ксеноперикардальная пластина в зоне имплантации. а – кишечная стенка. Ксеноперикардальная пластина. 1000×. б – собственные коллагеновые и эластические волокна среди ксеноперикардальных. 2500×. в – апоневроз передней брюшной стенки. Новообразованные коллагеновые волокна в зоне имплантации ксеноперикардальной пластины. 5000×. г – кишечная стенка. Больше количество эластических волокон в зоне имплантации ксеноперикарда. 10000×. д – апоневроз передней брюшной стенки. Эластические волокна в зоне имплантации ксеноперикарда. 10000×. е – кишечная стенка. Извитые новообразованные волокна собственной соединительной ткани и волокна ксеноперикардальной пластины. 5000×

Fig. 2. Xenopericardial plate in the implantation area. а – intestinal wall. Xenopericardial plate. 1000×. б – native collagen and elastic fibers among xenopericardial ones. 2500×. в – aponeurosis of the anterior abdominal wall. Newly formed collagen fibers in the area of implantation of the xenopericardial plate. 5000×. г – intestinal wall. A greater number of elastic fibers in the area of implantation of the xenopericardium. 10000×. д – aponeurosis of the anterior abdominal wall. Elastic fibers in the area of implantation of the xenopericardium. 10000×. е – intestinal wall. Twisted newly formed fibers of proper connective tissue and fibers of the xenopericardial plate. 5000×

передней брюшной стенки и кишечной стенки, выявлены следующие особенности. У волокон имплантата складчатая структура (рис. 2, а), новообразованные волокна соединительной ткани располагаются между волокнами ксеноперикардальной пластины (рис. 2, б). Ее стабильность обеспечивается отсутствием так называемых «пустых» участков и более плотным, упорядоченным расположением новообразованных воло-

кон соединительной ткани. Часть коллагеновых волокон, толщина которых составляет 5–10 мкм, повторяет направление волокон ксеноперикарда. Эластические волокна (толщина 2–3 мкм) располагаются более хаотично, выполняют фиксирующую функцию, соединяя волокна собственной соединительной ткани и нити ксеноперикардальной пластины (рис. 2, в). В фрагментах, полученных из апоневроза передней брюшной

и кишечной стенки, видно большое количество эластических волокон (рис. 2, з, д).

В целом результаты исследований совпали с немногочисленными данными. В публикациях, посвященных особенностям оперативного лечения разного рода патологий, описывалось более благоприятное течение раннего послеоперационного периода при применении биологического протеза по сравнению с синтетическим. Полипропиленовые имплантаты могут становиться подвижными в окружающих тканях, что снижает результативность проведенной операции [4]. Ксеноперикард в ранние сроки лучше фиксируется к тканям, в которые он был внедрен. Это может быть обусловлено его более плотным прорастанием волокнами собственной соединительной ткани. Такие результаты описаны как в публикациях, посвященных абдоминальной хирургии [5–7], так и при оперативных вмешательствах в урологии и сосудистой хирургии [8–10]. В нашей работе получено морфологическое обоснование упомянутых клинических результатов.

Заключение

Сравнительный анализ процессов биологической интеграции двух видов имплантатов, ксеноперикардиальной пластины и синтетической сетки, показал, что на 14-й день после проведения операции фрагмент имплантата начинает прорастать соединительнотканью волокнами (незрелыми, слабоспирализованными коллагеновыми и эластическими). Полипропиленовая сетка неплотно зафиксирована собственной соединительной тканью, так как в данном виде имплантата ее волокна образуют внутри ячеек фрагменты сетки, лишённые новообразованной ткани; количество коллагеновых и эластических волокон значительно меньше, чем в ксеноперикардиальной пластине. При имплантации ксеноперикардиальной пластины волокна соединительной ткани не образуют «пустых» участков, расположение коллагеновых и эластических волокон более плотное и упорядоченное.

Список литературы

1. Калмин О.В., Венедиктов А.А., Никишин Д.В., Живаева Л.В. Изучение свойств ксеноперикардиальной пластины, обработанной модифицированным химико-ферментативным методом. *Бюл. мед. интернет-конф.* 2015;(5):1038–1043.
2. Letsch R., Schmidt J., Domagk A., Kaplunov O.A. К истории оперативного восстановления крестообразных связок коленного сустава. *Травматол. и ортопедия России.* 2007;(1):74–81.

3. Шумаков В.И., Севастьянов В.И. Биополимерные матрицы для искусственных органов и тканей. *Здравоохран. и мед.техника.* 2003;(4):30–33.

4. Митрошин А.Н., Пиксин И.Н., Баулин А.В., Нестеров А.В., Зюлькин Г.А., Мозеров С.А. Возможность применения эндопротезов из полиэфира в хирургии грыж брюшной стенки. *Мед. альм.* 2008;S:198–201.

5. Подолужный В.И., Гордеев М.С., Павленко В.В., Кармадонов А.В. Использование модифицированного ксеноперикарда при хирургическом лечении. *Политравма.* 2011;(4):51–61.

6. Баулин А.В., Середин С.А., Митрошин А.Н., Зюлькин Г.А., Баулин В.А., Баулин А.А. Разработка новых способов герниопластики. *Изв. вузов. Поволж. регион. Мед. науки.* 2012;(2):33–41.

7. Ооржак О.В., Краснов О.А., Павленко В.В., Лесников С.М., Постников Д.Г. Использование современных технологий в лечении больных с ущемленными грыжами передней брюшной стенки. *Вестн. Нац. мед.-хирург. центра им. Н.И. Пирогова.* 2014;9(1):54–57.

8. Артымук Н.В., Ламонова С.С., Чернова О.О., Черновская Ю.Г., Харенкова Е.Л., Климчук И.Н., Карелина О.Б. Опыт применения ксеноперикардиальной хирургической сетки для коррекции переднеапикального пролапса гениталий у женщин. *Мать и дитя в Кузбассе.* 2024;(3):41–48. doi: 10.24412/2686-7338-2024-3-41-49

9. Кузьмин А.Л., Пузырев М.О., Терехов А.Н., Чернявин М.П., Самохин Н.В., Демидов В.И., Конкина Е.А. Структурно-функциональная оценка эффективности экстравазального армирования сонных артерий в эксперименте. *Мед. вестн. Башкортостана.* 2014;9(5):140–148.

10. Фадеева И.С., Соркомов М.Н., Звягина А.И., Бритиков Д.В., Сачков А.С., Евстратова Я.В., Фадеев Р.С., Муратов Р.М., Акатов В.С. Исследование биоинтеграции и прочностных свойств нового биоматериала, изготовленного из ксеногенного перикарда, для реконструктивной сердечно-сосудистой хирургии. *Бюл. эксперим. биол. и мед.* 2019;167(4): 483–487. doi: 10.1007/s10517-019-04558-1

References

1. Kalmin O.V., Venediktov A.A., Nikishin D.V., Zhivaeva L.V. Studying the properties of a xenopericardial plate treated with a modified chemical-enzymatic method. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy = Bulletin of Medical Internet Conferences.* 2015;(5):1038–1043. [In Russian].
2. Letsch R., Schmidt J., Domagk A., Kaplunov O.A. About the history of surgical restoration of knee crucial ligaments. *Travmatologiya i ortopediya Rossii = Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2007;(1):74–81. [In Russian].

3. Shumakov V.I., Sevastyanov V.I. Biopolymer matrices for artificial organs and tissues. *Zdravookhraneniye i meditsinskaya tekhnika = Healthcare and Medical Technology*. 2003;(4):30–33. [In Russian].
4. Mitroshin A.N., Piksin I.N., Baulin A.V., Nestorov A.V., Zylkin G.A., Mozerov S.A. The ability of using of endoprotheses from polyether in surgery of abdominal wall' hernias. *Meditsinskiy al'manakh = Medical Almanac*. 2008;S:191–201. [In Russian].
5. Podoluzhny V.I., Gordeev M.S., Pavlenko V.V., Karmadonov A.V. Usage of modified xenopericardium in surgical treatment of external abdominal hernia. *Poli-travma = Polytrauma*. 2011;(4):51–61. [In Russian].
6. Baulin A.V., Seredin S.A., Mitroshin A.N., Zylkin G.A., Baulin V.A., Baulin A.A. Development of new methods of hernioplasty. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskiye nauki = University Proceedings. Volga Region. Medical Sciences*. 2012;(2):33–41. [In Russian].
7. Oorzhak O.V., Krasnov O.A., Pavlenko V.V., Lesnikov S.M., Postnikov D.G. The modern ways in treatment patients with srrangulated hernia of abdominal wall. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra imeni Nikolaya Ivanovicha Pirogova = Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2014;9(1):54–57. [In Russian].
8. Artymuk N.V., Lamonova S.S., Chernova O.O., Chernovskaya Yu.G., Kharenkova E.L., Klimchuk I.N., Karelina O.B. Experience of using xenopericardial surgical mesh for correction of anterapical genital prolapse in women. *Mat' i ditya v Kuzbasse = Mother and baby in Kuzbass*. 2024;(3):41–48. [In Russian]. doi: 10.24412/2686-7338-2024-3-41-49
9. Kuzmin A.L., Puzyrev M.O., Terekhov A.N., Chernyavin M.P., Samokhin N.V., Demidov V.I., Konkina E.A. Structural-functional evaluation of the effectiveness of extravasal reinforcement of the carotid arteries under experiment. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana = Medical Herald of Bashkrtostan*. 2014;9(5):140–148. [In Russian].
10. Fadeeva I.S., Sorkomov M.N., Zvyagina A.I., Britikov D.V., Sachkov A.S., Evstratova Ya.V., Fadeev R.S., Muratov R.M., Akatov V.S. Study of biointegration and elastic-strength properties of a new xenopericardium-based biomaterial for reconstructive cardiovascular surgery. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny = Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019;167(4):496–499. [In Russian]. doi: 10.1007/s10517-019-04558-1

Сведения об авторах:

Федорова Мария Геннадьевна, к.м.н., ORCID: 0000-0003-4177-8460, e-mail: fedorovamerry@gmail.com
Калмин Олег Витальевич, д.м.н., проф., ORCID: 0000-0002-4084-967X, e-mail: ovkalmin@gmail.com
Ларионова Валерия Александровна, ORCID: 0000-0002-7864-1524, e-mail: larionova.valeria.workakk@yandex.ru

Information about the authors:

Maria G. Fedorova, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0003-4177-8460, e-mail: fedorovamerry@gmail.com
Oleg V. Kalmin, doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0002-4084-967X, e-mail: ovkalmin@gmail.com
Valeria A. Larionova, ORCID: 0000-0002-7864-1524, e-mail: larionova.valeria.workakk@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.02.2025

После доработки 04.023.2025

Принята к публикации 15.06.2025

Received 14.02.2025

Revision received 04.023.2025

Accepted 15.06.2025