

DOI: 10.15825/1995-1191-2020-2-151-157

ЛОКАЛЬНЫЙ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЙ ОТВЕТ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШОВНОГО МАТЕРИАЛА В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Т.Н. Акентьева, Д.К. Шишкова, А.Ю. Бураго, Ю.А. Кудрявцева

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация

Цель. Изучить влияние различных видов шовного материала, потенциально пригодных для сердечно-сосудистой хирургии, на результаты оперативного вмешательства в эксперименте. **Материалы и методы.** В работе использовали нить на основе полипропилена «Prolene» 6/0, нити из никелида титана (TiNi) (6/0) и рассасывающийся шовный материал «Monoplus» 6/0 (полидиоксанон). Исследования *in vivo* проводили на крысах-самцах субпопуляции «Wistar». Изучали влияние шовного материала на развитие спаечного процесса в брюшной полости, процесс кальцификации *in vivo*, а также оценивали реакцию компонентов крови при контакте с шовным материалом *in vitro*. **Результаты.** Реакция на шовный материал является негативной, а степень ее выраженности зависит от вида используемого материала. Шовный материал на основе полипропилена вызывает максимальную воспалительную реакцию, что провоцирует массивное спайкообразование. Помимо этого, при подкожной имплантации крысам образцов биоматериала, прошитых нитью «Prolene», были выявлены крупные кальциевые депозиты, как в области шовного материала, так и в толще биоматериала. Шовный материал на основе никелида титана TiNi продемонстрировал высокие гемо- и биосовместимые свойства. Нить «Monoplus» вызывала минимальную воспалительную реакцию и в меньшей степени провоцировала кальцификацию биоматериала. **Заключение.** Полученные результаты доказывают, что шовный материал может оказывать существенное влияние на результаты хирургического вмешательства и может быть одной из причин послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: шовный материал, сердечно-сосудистая хирургия, спайкообразование, кальцификация, гемосовместимость.

LOCAL INFLAMMATORY RESPONSE TO SUTURE MATERIAL IN SURGICAL PRACTICE: EXPERIMENTAL DATA

T.N. Akentyeva, D.K. Shishkova, A.Yu. Burago, Yu.A. Kudryavtseva

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

Objective: to study the effect of various types of suture materials, potentially suitable for cardiovascular surgery, on experimental surgical outcomes. **Materials and methods.** Polypropylene sutures (Prolene 6/0), titanium nickelide (TiNi) sutures (6/0) and absorbable polydioxanone sutures (Monoplus 6/0) were used in the study. Male Wistar rats were used for *in vivo* studies. The effect of suture materials on abdominal adhesions was studied. *In vivo* calcification process was examined, and response of blood components in contact with suture materials was also assessed *in vitro*. **Results.** There is a negative inflammatory response to suture materials. The severity of this response depended on the type of material used. Polypropylene sutures demonstrated the most severe inflammatory response provoking massive adhesion formation. In addition, large calcium deposits were found both in the suture area and in the thickness of the biomaterial, stitched with prolene and implanted subcutaneously in the rats. Titanium nickelide sutures showed high hemocompatibility and biocompatibility. The Monoplus sutures caused minimal inflammatory response and provoked calcification of the biomaterial to a lesser degree. **Conclusion.** The suture material could have significant effects on surgical outcomes and could cause postoperative complications.

Keywords: suture material, cardiovascular surgery, adhesion, calcification, hemocompatibility.

Для корреспонденции: Кудрявцева Юлия Александровна. Адрес: 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, 6. Тел. (3842) 64-42-38. E-mail: kudrua@kemcardio.ru

Corresponding author: Yulia Kudryavtseva. Address: 6, Sosnovy Boulevard, Kemerovo, 650002, Russian Federation. Tel. (3842) 64-42-38. E-mail: kudrua@kemcardio.ru

ВВЕДЕНИЕ

Среди нерешенных проблем в сердечно-сосудистой хирургии остаются осложнения, тесно связанные с качеством используемого шовного материала [1–5]. Поскольку тканевая реакция на шовный материал схожа с реакцией на имплантацию инородного тела, то закономерно, что неудовлетворительное качество нитей может привести к послеоперационным осложнениям. После контакта шовного материала с окружающими тканями разворачивается классическая патофизиологическая реакция на инородное тело, суть которой заключается в воспалительной реакции [6, 7]. Интенсивность данной реакции, ее последствия во многом зависят от химического состава и структуры шовного материала [1, 3, 6]. При использовании шовного материала в сосудистой хирургии уже через несколько минут после наложения анастомоза, на границе «протез – артерия пациента», сорбируется большое количество белков крови, таких как альбумины, γ -глобулины, фибриноген [7–9]. Далее следует активация коагуляционной системы и системы комплемента, что в дальнейшем может привести к тромбообразованию и асептическому воспалению [7, 8].

В России с каждым годом увеличивается количество реконструктивных операций на различных сосудистых бассейнах, и в частности, отмечается значительный рост артериальных реконструкций. Общее количество повторных операций в 2016 году значительно превысило число таковых в предыдущих годах и составило 71 810, что на 20% больше, чем в 2014 году, и на 26%, чем в 2012 г. [9, 10]. Наиболее частым осложнением данных операций является тромбоз сосудистого протеза. К причинам, способствующим образованию тромба в зоне анастомоза, можно отнести повреждение стенок сосуда, особенно интимы, а также наличие хирургического шовного материала, выступающего в просвет сосуда, который способен лишь усугублять эту ситуацию [11, 12]. В связи с этим к шовным материалам, контактирующим непосредственно с кровью, предъявляют особые требования – они не должны оказывать отрицательное воздействие на кровь и ее компоненты, т. е. должны быть максимально гемосовместимыми.

В сердечно-сосудистой хирургии применяют рассасывающиеся и нерассасывающиеся шовные материалы, но наиболее часто используется шовный материал из группы полиолефинов – полипропилен, который считается высокоинертным и прочным. В то же время некоторые исследователи приводят данные о том, что полипропиленовые нити способны вызывать местную асептическую воспалительную реакцию, которая может переходить в хронический воспалительный процесс в зоне сосудистого анастомоза и являться причиной развития гиперплазии неоинтимы [4, 5].

Помимо развития гиперплазии неоинтимы существует целый ряд жизнеугрожающих осложнений после хирургического вмешательства на сердечно-сосудистой системе. К ним можно отнести такие процессы, как кальцификация и спайкообразование, которые также являются результатом хронического воспаления в области оперативного вмешательства [13]. При изучении отдаленных результатов применения клапаносодержащих биологических кондуитов были отмечены признаки кальцификации по линии фиксации биопротезов, что свидетельствует о возможном влиянии шовного материала на процесс минерализации [14]. Помимо всего вышеперечисленного шовный материал может вызывать выраженный спаечный процесс в средостении, который, в свою очередь, может приводить к спаянию сердца и крупных магистральных сосудов с задней поверхностью грудины. Данное осложнение в сердечно-сосудистой хирургии значительно увеличивает риск серьезных осложнений в случае повторной операции [15, 16].

Цель исследования: провести сравнительный анализ влияния биодеградируемого и небиодеградируемого шовного материала на развитие послеоперационных осложнений в сердечно-сосудистой хирургии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящей работе использовали нить на основе полипропилена «Prolene» 6/0 (Ethicon, США), которая наиболее часто используется в сердечно-сосудистой хирургии. В сравнении оценивали свойства рассасывающегося шовного материала из полидиоксанона «Monoplus» 6/0 (B. Braun, Германия), рекомендованного для применения в детской сердечно-сосудистой хирургии [2].

Исследования *in vivo* проводили на крысах-самцах субпопуляции «Wistar», по 10 животных в каждой группе. Все манипуляции лабораторным животным проводили под ингаляционным наркозом изофлурана (2,0%) в условиях чистой операционной согласно Межгосударственному стандарту, Руководству по содержанию и уходу за лабораторными животными, с соблюдением Правил содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами ГОСТ 33216-2014, а также с соблюдением правил оборудования помещений и организации процедур ГОСТ 33215-2014.

Моделирование спаечного процесса

Для изучения роли шовного материала в развитии спаечного процесса на париетальную сторону брюшины животных (весом 200–250 г) в стерильных условиях накладывали 3–4 стежка рассасывающимся и нерассасывающимся шовным материалом. Животных выводили из эксперимента через 7, 14 и 28 суток. Удаленные комплексы «брюшина – шовный материал – спайка» были исследованы методом све-

товой микроскопии Axio Imager.A1 (Zeiss, Германия). Окраску гистологических препаратов осуществляли гематоксилин-эозином и по Ван-Гизону.

Моделирование процесса ускоренной кальцификации

Моделирование кальцификации осуществляли с использованием створок аортального клапана свиньи, консервированных диглицидиловым эфиром этиленгликоля (ДЭЭ), на которые накладывали несколько стежков исследуемыми шовными материалами. После этого образцы биоматериала имплантировали в подкожные карманы крысам (весом 55–65 г) на 60 суток. Количество кальция в удаленных образцах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре Lambda-5100 (PerkinElmer, США) и рассчитывали на 1 мг сухой ткани. Структуру биоматериала после подкожной имплантации изучали методом световой микроскопии, с окраской гистологических препаратов гематоксилин-эозином и по Ван-Гизону.

Моделирование системного кровотока *in vitro*

Реакцию компонентов крови при контакте с шовным материалом оценивали в эксперименте *in vitro*. Для этого сегменты внутренней грудной артерии крупного рогатого скота, консервированные ДЭЭ, сшивали шовным материалом на основе полипропилена и полидиоксанона (формировали сосудистый анастомоз). Далее образцы анастомозов ($L = 6$ см; $d = 4$ мм) закрепляли на штуцерах магистралей многоканального перистальтического насоса 205CA (Watson-Marlow, Англия). Магистралы с фиксированными образцами заполняли свежей цитратной донорской кровью. Скорость циркуляции крови составила 0,04 л/мин при температуре 37 °С, время контакта – 30 мин. Микроскопическую оценку зоны анастомоза после контакта с кровью изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе S-3400N (Hitachi, Япония). Для этого на поверхность исследуемых образцов методом ионного распыления наносили золото-палладиевое покрытие, используя вакуумный пост EmitechSC 7640 (Quorum Technologies, Англия).

Обработку количественных данных осуществляли общепринятыми методами статистики при помощи пакета прикладной программы для обработки медицинской и биологической информации «STATISTICA 6.0» (StatSoft Inc., USA). Характер распределения в выборках оценивали при помощи критерия Колмогорова–Смирнова. В группах наблюдали распределение, отличное от нормального ($p < 0,01$). Данные представлены как среднее значение и ошибка среднего. Статистическую значимость различий между двумя независимыми группами оценивали с

помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни, достоверными считали различия при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Макроскопическое описание

Через 7 суток после оперативного вмешательства в брюшной полости животных были сформированы спайки, плотно прилегающие к шовному материалу. Спайки соответствовали фазе молодых сращений и имели рыхлую структуру. Наиболее выраженная воспалительная реакция окружающих тканей была отмечена при использовании полипропиленовой нити – спайки имели более плотную структуру, разделялись только острым способом (рис. 1, а). Значительно меньшую воспалительную реакцию наблюдали при использовании биодеградируемой нити «Monoplus» (рис. 1, б). Спаечный процесс при использовании нити из полидиоксанона менее выражен во всей исследуемой группе. Спайки имели пленчатую, некогезионную структуру, отделить которые можно было тупым разделением.

Макроскопическое исследование удаленных створок, консервированных ДЭЭ и прошитых нитями «Prolene» и «Monoplus», показало наличие кальциевых отложений в толще биоматериала. Кальцификацию наблюдали во всех опытных образцах, однако размеры кальциатов варьировали и зависели от вида используемого шовного материала. В интактных образцах, консервированных ДЭЭ (контроль), кальций отсутствовал, что свидетельствует о том, что именно шовный материал стал причиной обызвествления опытных образцов.

Гистологическое исследование

Гистологическое исследование удаленных фрагментов показало, что вокруг нитей образовалось большое количество грануляционной ткани, была отмечена массивная лимфоцитарная инфильтрация с образованием сосудов. На гистологических срезах были обнаружены гладкомышечные клетки. Особенно характерна данная картина при использовании нитей «Prolene» (рис. 2, а). Коллагеновые волокна были фрагментированы, имели рыхлую фиброзную капсулу с большим количеством капилляров, что свидетельствует о выраженном воспалительном процессе вокруг шовного материала. Применение биодеградируемых нитей на основе полидиоксанона позволило минимизировать разрушение коллагеновых волокон и уменьшить количество воспалительных клеток в перилигатурной зоне (рис. 2, б).

При микроскопическом исследовании ткани створок были выявлены крупно- и мелкогранулярные отложения кальция, в основном в перилигатурной зоне. Окраска образцов гематоксилин-эозином подтвер-

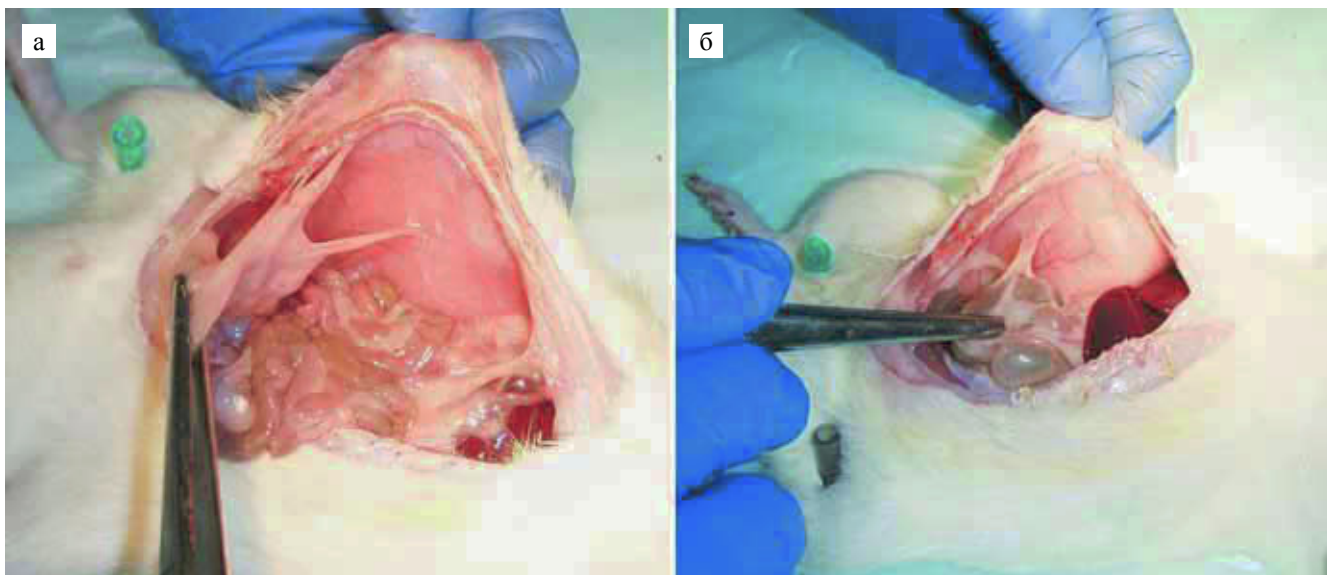


Рис. 1. Интенсивность спайкообразования после использования различного шовного материала: а – Prolene; б – Monoplus

Fig. 1. The rate of adhesion formation after using a different suture material: а – Prolene; б – Monoplus

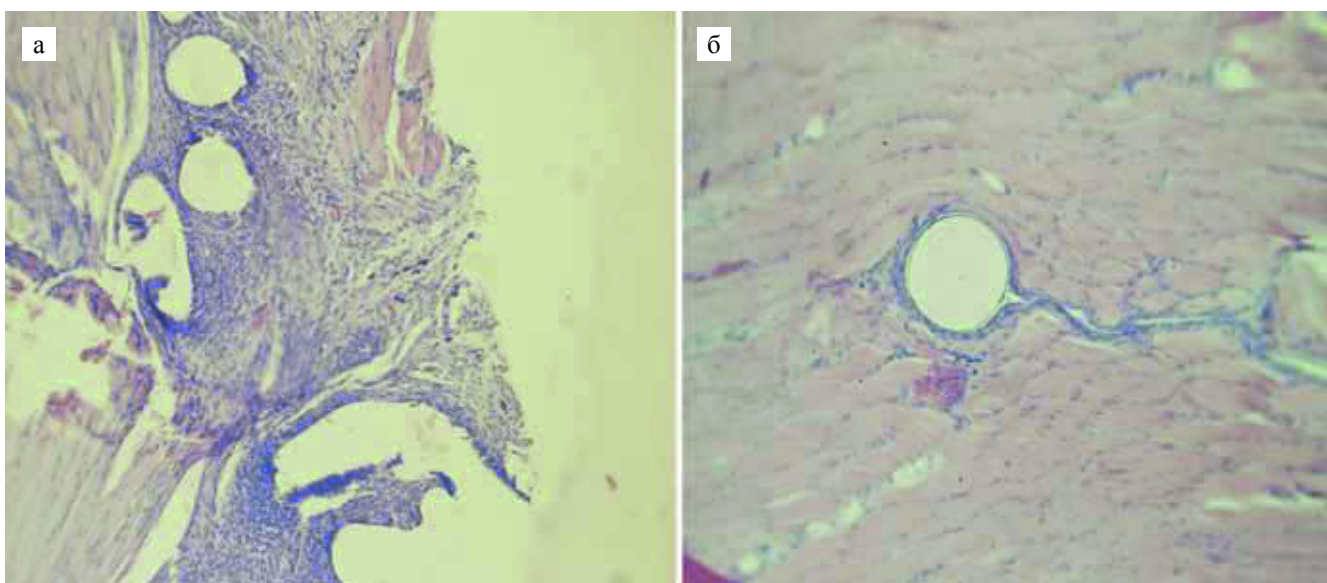


Рис. 2. Гистологические срезы комплексов «спайка-брюшина», сформированные при использовании различного шовного материала: а – Prolene; б – Monoplus. Окраска гематоксилином-эозином, ×200

Fig. 2. Histological sections of the adhesion-peritoneum following the use of different suture material: а – Prolene; б – Monoplus. Stained with hematoxylin-eosin, ×200

дила наличие фосфорнокислого кальция. В образцах, прошитых нитью «Monoplus», были выявлены мелкозернистые отложения кальция, преимущественно вокруг шовного материала и в спонгиозном слое (рис. 3, б). За пределами кальцинатов коллагеновые волокна сохраняли извитость и компактное расположение. При использовании нити «Prolene» были выявлены крупные кальциевые депозиты, как в области шовного материала, так и в толще биоматериала (рис. 3, а). При крупных кальциевых отло-

жениях коллагеновые волокна приобретали рыхлое расположение, местами были фрагментированы.

Количественная оценка уровня кальция в эксплантированных образцах

Через 2 месяца после имплантации количественное определение уровня кальция в исследуемых образцах подтвердило, что использование полипропиленовой нити в значительной мере провоцирует накопление кальция в биоматериале. В образцах, вы-

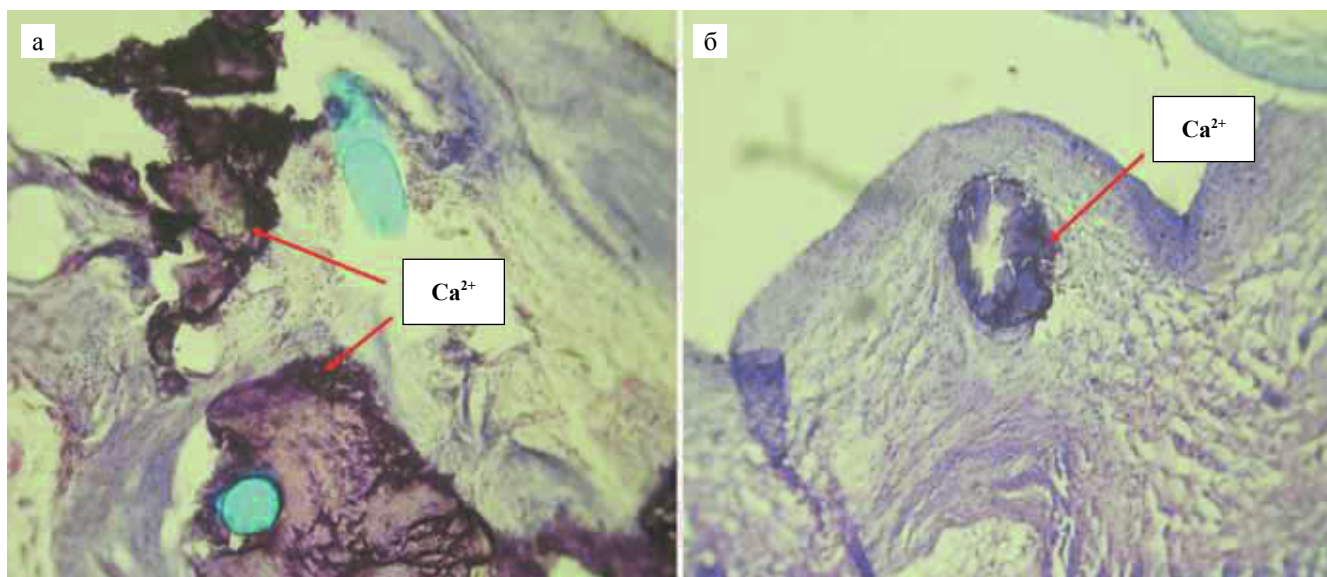


Рис. 3. Формирование кальцификатов вокруг шовного материала: а – Prolene; б – Monoplus. Окраска препаратов гематоксилином-эозином, $\times 200$

Fig. 3. Formation of calcification around retained suture material: а – Prolene; б – Monoplus. Stained with hematoxylin-eosin, $\times 200$

полненных нитью «Prolene» уровень кальция был равен $151,2 \pm 4,8$ мг/г, при этом в контрольных образцах створок, консервированных ДЭЭ без шовного материала, уровень кальция незначительно превысил метаболический и составил $2,4 \pm 0,35$ мг/г ($p < 0,05$). При использовании шовного материала «Monoplus» уровень кальция в биоматериале был значительно ниже, чем при использовании нити «Prolene», и составил $36,0 \pm 3,1$ мг/г ($p < 0,05$).

Сканирующая электронная микроскопия

При исследовании зоны анастомозов после контакта с кровью, выполненных двумя видами шовных материалов методом сканирующей электронной микроскопии, была обнаружена заметная разница в структуре белковых отложений. Полученные данные после 30 мин контакта образцов с кровью показали, что в области анастомозов появляются отложения белков с форменными элементами крови. При использовании нити «Prolene» белковые отложения были наиболее массивны, с рыхлой и грубой структурой (рис. 4, а). Анастомоз, выполненный нитью на основе полидиоксанона, имел менее рыхлые белковые отложения (рис. 4, б).

Наиболее четко выражены различия в реакции клеточных элементов крови на шовный материал при увеличении в 500 раз (рис. 5). На поверхности и в окружении полипропиленовой нити выявлены значительные скопления фибрина и эритроцитов, которые частично трансформированы в сфероциты и эхиноциты (рис. 5, а). Изменение дисковидной формы эритроцита в сфероцит или эхиноцит обусловле-

но негативным воздействием, в частности, реакцией эритроцитов на инородное тело, при этом трансформированная мембрана измененного эритроцита имеет склонность к гемолизу [19].

На поверхности нити из полидиоксанона наблюдали тонкую сеть фибриновых волокон, на которой адгезированы эритроциты, частично трансформированные в эхиноциты и сфероциты (рис. 5, б).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный сравнительный анализ двух видов хирургического шовного материала показал преимущество биodeградируемой нити перед нитью из полипропилена. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, в которых было показано, что полипропиленовая нить вызывала более интенсивную воспалительную реакцию по сравнению с биodeградируемым шовным материалом [2, 13, 18]. Выраженный спаечный процесс, кальцификация, трансформация эритроцитов в эхиноциты, спровоцированные шовным материалом на основе полипропилена, свидетельствуют о негативном влиянии нити. Трансформация эритроцитов в эхиноциты свидетельствует о низких гемосовместимых свойствах полипропиленовой нити, поскольку подобные изменения эритроцитов наблюдаются в основном при обширных хирургических вмешательствах [19] и могут привести к нарушениям агрегационных характеристик крови, увеличивая ее вязкость, и как следствие, увеличивают риск тромбоза зоны сосудистого анастомоза.

Применение биodeградируемого шовного материала на основе полидиоксанона привело к меньшей

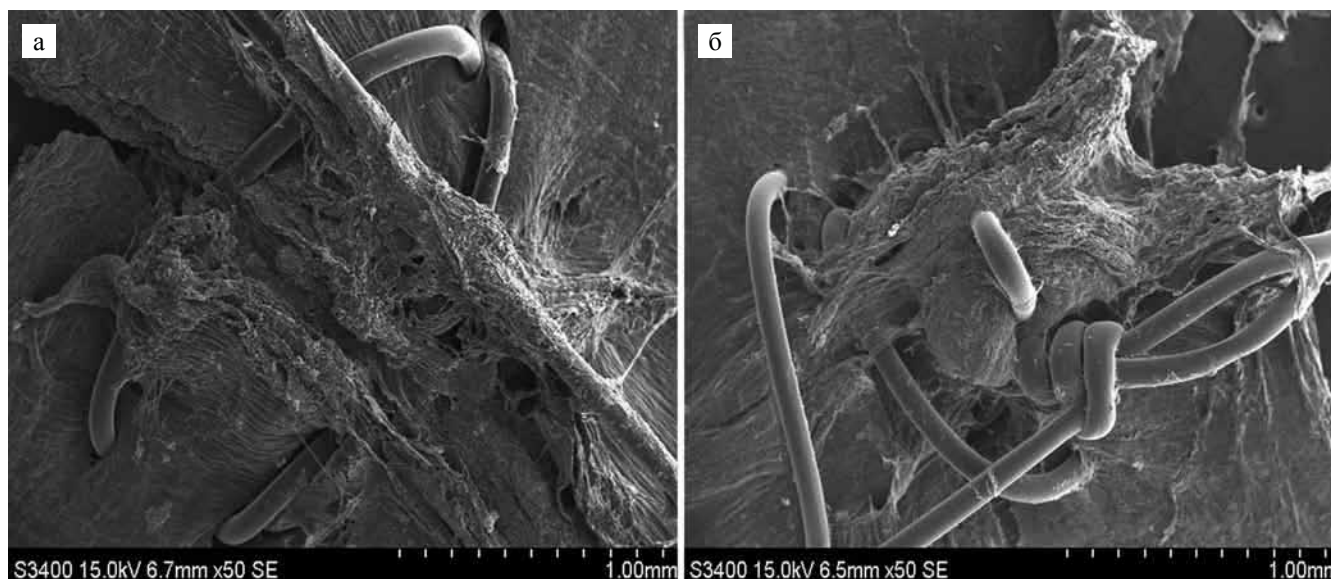


Рис. 4. Сканирующая электронная микроскопия зоны анастомоза, выполненного: а – Prolene; б – Monoplus, ×50

Fig. 4. Scanning electron microscopy of anastomotic sutures: a – Prolene; б – Monoplus, ×50

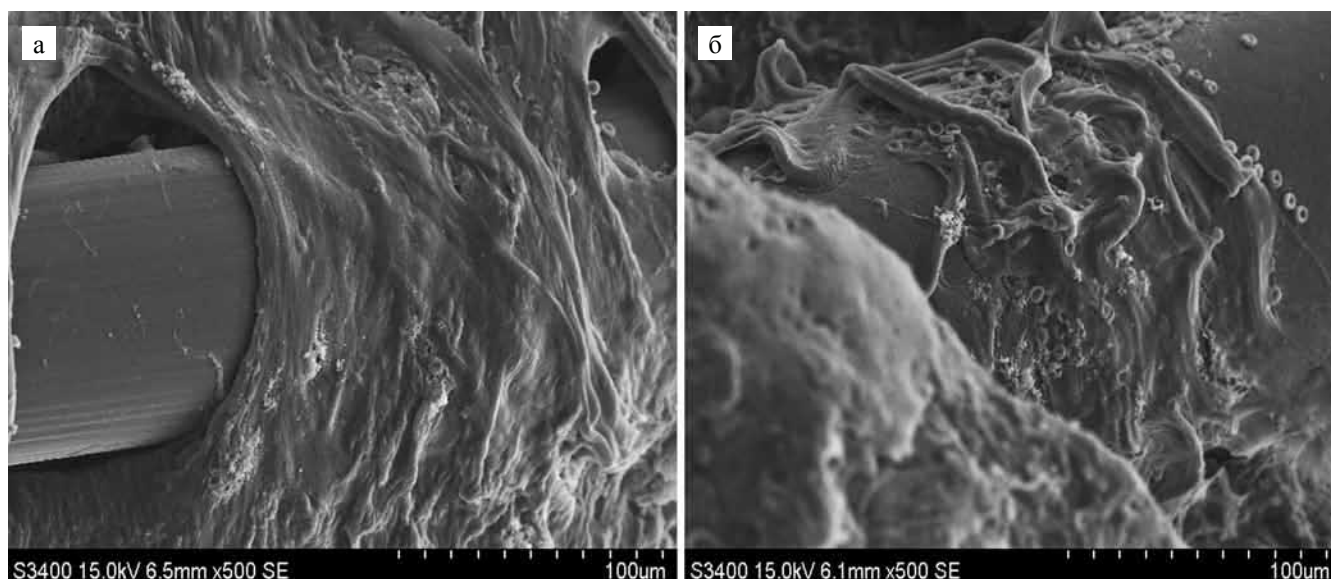


Рис. 5. Сканирующая электронная микроскопия зоны анастомоза, выполненного: а – Prolene; б – Monoplus, ×500

Fig. 5. Scanning electron microscopy of anastomotic sutures: a – Prolene; б – Monoplus, ×500

воспалительной реакции, и как следствие, меньшему кальцинированию тканей в перилигатурной зоне. Спаечный процесс, в основе которого лежит травмирование тканей, а также реакция на шовный материал, показал существенное преимущество биодеградируемого шовного материала перед полипропиленовой нитью. Оценка влияния нити «Monoplus» на сорбцию белка в зоне сосудистого анастомоза не продемонстрировала значительных преимуществ перед полипропиленовой нитью, тем не менее отсутствие трансформированных форменных элементов

крови свидетельствует о более высоких гемосовместимых свойствах нитей из полидиоксанона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что реакция на шовный материал является негативной, а степень ее выраженности зависит от вида используемого материала. Наиболее яркую воспалительную реакцию продемонстрировал шовный материал на основе полипропилена, при том что именно полипропиленовая нить широко используется в сердечно-сосудистой хирургии. Полипропиленовая

нить также значительно усиливает воспалительную реакцию, спайкообразование и кальцификацию окружающих тканей. Биodeградируемый шовный материал на основе полидиоксана продемонстрировал значительные преимущества перед полипропиленовой нитью. Нить «Monoplus» вызывает меньшую воспалительную реакцию, кальцификацию и спайкообразование.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Holzheimer RG. Adverse events of sutures: possible interactions of biomaterials? *Eur J Med Res.* 2005; 10 (12): 521–526.
- Gasbarro V, Traina L, Mascoli F, Coscia V, Buffone G, Grande R et al. Absorbable suture material in carotid surgery. *Vasa.* 2015; 44 (6): 451–457. doi: 10.1024/0301-1526/a000468.
- Lock AM, Gao R, Naot D, Coleman B, Cornish J, Musson DS. Induction of immune gene expression and inflammatory mediator release by commonly used surgical suture materials: an experimental *in vitro* study. *Patient Saf Surg.* 2017; 11: 16. doi: 10.1186/s13037-017-0132-2.
- Белоярцев ДФ, Талыблы ОЛ, Волков СК. Состояние бифуркации сонной артерии после операции с применением рассасывающегося шовного материала. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2015; 21 (4): 192–197. Beloyarcev DF, Talybly OL, Volkov SK. Sostoyanie bifurkacii sonnoj arterii posle operacii s primeneniem rassasyvayushchegosya shovnogo materiala. *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya.* 2015; 21 (4): 192–197.
- Bae S, DiBalsi MJ, Meilinger N, Zhang C, Beal E, Korneva G. et al. Heparin-eluting Electrospun Nanofiber Yarns for Antithrombotic Vascular Sutures. *ACS Applied Materials a Interfaces.* 2018; 10 (10): 8426–8435. doi: 10.1021/acsami.7b14888.
- Selvi F, Cakarar S, Can T, Kirli Topcu Sİ, Palancioglu A, Keskin B et al. Effects of different suture materials on tissue healing. *J Istanb Univ Fac Dent.* 2016; 50 (1): 35–42. doi: 10.17096/jiufd.79438.
- Anderson JM, Rodriguez A, Chang DT. Foreign body reaction to biomaterials. *Semin Immunol.* 2008; 20 (2): 86–100. doi: 10.1016/j.smim.2007.11.004.
- Moore LB, Kyriakides TR. Molecular Characterization of Macrophage-Biomaterial Interactions. *Adv Exp Med Biol.* 2015; 865: 109–122. doi: 10.1007/978-3-319-18603-0_7.
- Кудрявцева ЮА, Зинченко СС, Журавлева ИЮ, Иванов СВ, Барбараш ЛС. Сорбционные и контактно-активационные свойства зоны анастомоза «биопротез–артерия»: влияние шовного материала (сообщение II). *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2008; 14 (1): 113–117. Kudryavceva YuA, Zinchenko SS, Zhuravleva IYu, Ivanov SV, Barbarash LS. Sorbcionnyye i kontaktno-aktivacionnyye svojstva zony anastomoza «bioprotez–arteriya»: vliyanie shovnogo materiala (soobshchenie II). *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya.* 2008; 14 (1): 113–117.
- Покровский АВ, Ивандаев АС. Состояние сосудистой хирургии в России в 2016 году. *Российское общество ангиологов и сосудистых хирургов.* 2017: 5. Pokrovskij AV, Ivandaev AS. Sostoyanie sosudistoj hirurgii v Rossii v 2016 godu. *Rossijskoe obshchestvo angiologov i sosudistyh hirurgov.* 2017: 5.
- Thevenot P, Hu W, Tang L. Surface chemistry influences implant biocompatibility. *Curr Top Med Chem.* 2008; 8 (4): 270–280. doi: 10.2174/156802608783790901.
- Курьянов ПС, Разуваев АС, Вавилов ВН. Гиперплазия интимы в зоне сосудистого анастомоза. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2008; 14 (4): 146–151. Kur'yanov PS, Razuvaev AS, Vavilov VN. Giperplaziya intimy v zone sosudistogo anastomoza. *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya.* 2008; 14 (4): 146–151.
- Kastellorizios M, Tipnis N, Burgess DJ. Foreign Body Reaction to Subcutaneous Implants. *Adv Exp Med Biol.* 2015; 865: 93–108. doi: 10.1007/978-3-319-18603-0_6.
- Латыпов АК. Клинико-функциональная оценка биологических клапаносодержащих кондуитов в послеоперационном периоде у детей: дис. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 2005, 23 с. Latypov AK. Kliniko-funkcional'naya ocenka biologicheskikh klapanosoderzhashchih konduitov v posleoperacionnom periode u detej. [Dissertation]. Novosibirsk, 2005, 23.
- Krane M, Bauernschmitt R, Hiebinger A, Wottke M, Voss B, Badiu CC et al. Cardiac reoperation in patients aged 80 years and older. *Ann Thorac Surg.* 2009; 87 (5): 1379–1385. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.01.045.
- Свободов АА, Зеленикин МА. Способ безопасной рестернотомии. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия.* 2008; 1: 66–67. Svobodov AA, Zelenikin MA. Sposob bezopasnoj resternotomii. *Grudnaya i serdechno-sosudistaya hirurgiya.* 2008; 1: 66–67.
- Гюнтер ВЭ, Ходоренко ВН, Чекалкин ТЛ, Олесова ВН, Дамбаев ГЦ, Сысолятин ПГ и др. Медицинские материалы с памятью формы. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Т. 1. Томск, 2011, 534 с. Gyunter VEh, Hodorenko VN, Chekalkin TL, Olesova VN, Dambaev GC, Sysolyatin PG i dr. Medicinskie materialy s pamyat'yu formy. Medicinskie materialy i implantaty s pamyat'yu formy. Т. 1. Tomsk, 2011, 534.
- Ye X, Wang Z, Zhang X, Zhou M, Cai L. Hemocompatibility research on the micro-structure surface of a bionic heart valve. *Biomed Mater Eng.* 2014; 24 (6): 2361–2369. doi: 10.3233/BME-141049.
- Shen X, Su F, Dong J, Fan Z, Duan Y, Li S. *In vitro* biocompatibility evaluation of bioresorbable copolymers prepared from L-lactide, 1, 3-trimethylene carbonate, and glycolide for cardiovascular applications. *J Biomater Sci Polym Ed.* 2015; 26 (8): 497–514. doi: 10.1080/09205063.2015.1030992.

*Статья поступила в редакцию 6.12.2018 г.
The article was submitted to the journal on 6.12.2018*