

УДК 004.925.84:615.4:616.34

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОСПАЕЧНЫХ СВОЙСТВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ,  
ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ФТОРПОЛИМЕРА МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
В КАЧЕСТВЕ ЭНДОПРОТЕЗА ДЛЯ ГЕРНИОПЛАСТИКИ**

А.О. Воробьев, А.Е. Лейман

Научный руководитель: к.т.н., Е.Н. Больбасов, д.м.н., Е.Ю. Варакута  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [aov4@tpu.ru](mailto:aov4@tpu.ru)

**THE STUDY OF ADHESIVE PROPERTIES OF 3D PRINTED INDIVIDUAL IMPLANTS MADE  
OF FLUOROPOLYMER FOR USE AS ENDOPROSTHESIS FOR HERNIOPLASTY**

A.O. Vorobyev, A.E. Leiman

Scientific Supervisor: PhD., E.N. Bolbasov, Dr., E.Y. Varakuta  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [aov4@tpu.ru](mailto:aov4@tpu.ru)

***Abstract.** In the presented study, personalized polymeric adhesion barrier was fabricated of a copolymer of vinylidene fluoride with tetrafluoroethylene (VDF-TeFE) via 3D fused deposition modeling (FDM) technology. Investigation with the use of 3T3L1 fibroblast cell culture confirms that fabricated membranes do not produce cytotoxic compounds. In vivo study shows that VDF-TeFE membranes are highly biocompatible, bioinert, do not cause inflammatory effect or rejection.*

**Введение.** Любое повреждение брюшины или наличие инородных тел сопровождается местной воспалительной реакцией и образованием плотной волокнистой соединительной ткани (спаек), которые вызывают хронические боли в животе и кишечную непроходимость [1]. Сегодня, практикующие хирурги для герниопластики используют сетчатые имплантаты из поливинилиденфторида (ПВДФ) и полипропилена (ПП). Основными недостатками таких имплантатов является высокий риск развития спаечной болезни брюшной полости, что значительно ухудшает качество жизни пациентов, приводя к хроническим тазовым болям, а также провоцирует развитие отдалённых хирургических осложнений, таких как странгуляционная кишечная непроходимость и перитонит. Решением существующих проблем стандартных сетчатых имплантатов, является изготовление индивидуальных имплантируемых изделий методами 3D печати. Перспективным отечественным полимером для изготовления индивидуальных сетчатых имплантатов для профилактики спаечной болезни является сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ). Однако в настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют данные о влиянии размера пор на интеграцию имплантатов, изготовленных по технологии 3D печати из сополимера ВДФ-ТеФЭ с нативными тканями, что затрудняет клиническое использование этих перспективных медицинских изделий. Таким образом основной целью настоящего исследования стало изучение влияния размера пор на взаимодействие с тканями брюшной полости индивидуального имплантата из сополимера ВДФ-ТеФЭ изготовленных методом 3D печати.

**Экспериментальная часть.** Используя технологию 3D печати, были изготовлены индивидуальные имплантаты из сополимера ВДФ-ТеФЭ в виде тонких эндопротезов 70x40 толщиной 0.3 мм. Для изготовления имплантов использовали следующие параметрах печати: диаметр сопла – 0,3 мм, температура сопла – 230 °С, температура стола – 60 °С, скорость печати – 10 мм/с, высота слоя – 250 мкм, плотность заполнения – 50 %, структура заполнения – гироид. Основные сведения о структуре и размере пор эндопротезов, напечатанных на 3D-принтере, показаны на рисунке 1.

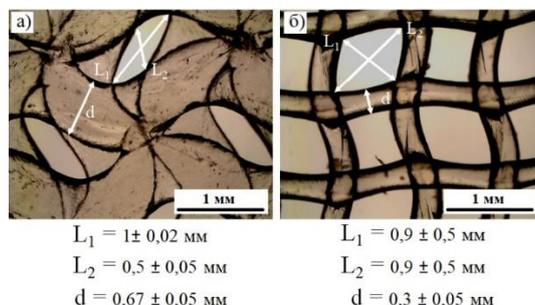


Рис. 1. Внутренняя архитектура эндопротезов для герниопластики изготовленных медом 3D печати из сополимера ВДФ-ТеФЭ: а) эндопротез № 1; б) эндопротез № 2

Стерилизацию имплантата проводили в паровом автоклаве (Tuttnauer, Германия) при температуре 120 °С в течении 40 мин при давлении – 2 атм. Изучение цитотоксичности эндопротезов для герниопластики проводили с использованием фибробластов линии 3T3L1. Имплантацию разработанных подготовленных индивидуальных сеток осуществляли на внутреннюю поверхность передней брюшной стенки кроликам породы шиншилла. На 21 сутки после имплантации животных выводили из эксперимента, фиксировали место имплантации на цифровую камеру, забирали окружающие ткани вместе с имплантатом для проведения гистологических исследований.

**Результаты.** Исследования жизнеспособности и пролиферативной активности *in vitro* демонстрируют, что эндопротезы, изготовленные из сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом (ВДФ-ТеФЭ) как до, так и после стерилизации не содержат токсичных соединений способных экстрагироваться в питательную среду и подавлять рост культуры фибробластов 3T3L1, о чем свидетельствует отсутствие достоверных отличий в показателях между контрольной и исследуемыми группами на всех сроках наблюдения (Рис. 2).

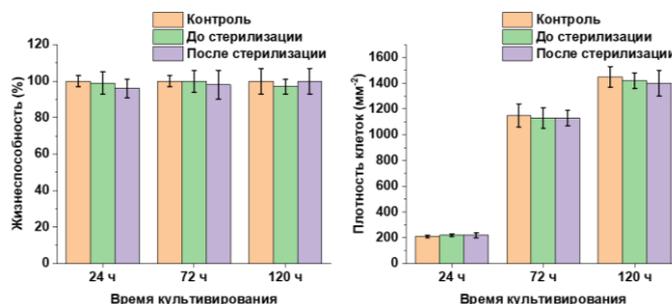


Рис. 2. Жизнеспособность фибробластов при культивировании в экстрактах изготовленных эндопротезов для герниопластики

Результаты *in vivo* показали, что исследуемые эндопротезы для герниопластики успешно адгезировались к тканям передней брюшной стенки, однако в зависимости от размера пор, механизм

интеграции мембран отличается. Из-за низкой пористости, эндопротез № 1 адгезировалась к окружающим тканям за счет фиброзной инкапсуляции без их интеграции в структуру имплантата, в то время как развитая открытая пористость эндопротеза № 2 позволила окружающим тканям интегрироваться в его структуру. Со стороны внутренних органов наблюдалось образование тонких тяжей, размер которых составлял до 1 x 3 мм, и нежных прозрачных пленок соединительной ткани, которые разрывались самопроизвольно при аутопсии и поддавались диссекции тупым путем (Рис. 3). Прилежащая к эндопротезу париетальная и висцеральная брюшины имели физиологическую окраску, свободной жидкости в брюшной полости не было обнаружено.

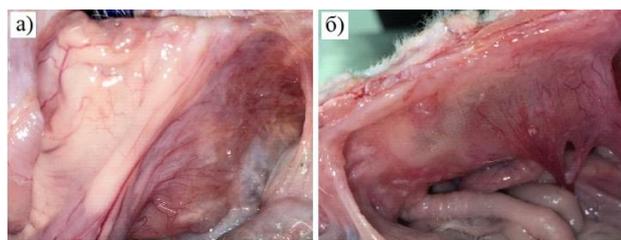


Рис. 3. Изображение интеграции тканей с исследуемыми мембранами с разной пористостью: а) эндопротез № 1; б) эндопротез № 2

Гистологическое исследование образцов тканей (мышцы передней брюшной стенки, эндопротез с окружающей его соединительной тканью, спайки, участок кишки вместе контакта со спайкой), взятых в области имплантации эндопротеза представлены на рисунке 3. На микроскопическом уровне обнаружены организованные пучки плотной волокнистой соединительной ткани с развитой капиллярной сетью.

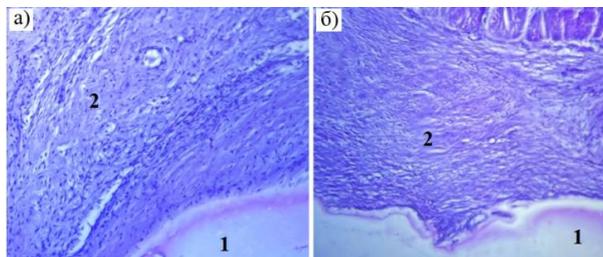


Рис. 4. Гистология образцов тканей в месте имплантации исследуемых эндопротезов с разной пористостью: а) эндопротез № 1; б) эндопротез № 2. 1 – эндопротез, 2 – соединительная ткань

**Заключение.** В работе представлена возможность изготовления индивидуальных имплантатов с противоспаечными свойствами для герниопластики методом 3D печати на основе сополимера винилиденфторида. Исследовано влияние размера пор на интеграцию окружающих тканей. Исследование *in vivo* демонстрирует, что все исследуемые мембраны обладают высокой биосовместимостью, инертностью, не вызывает реакций отторжения и выраженного воспаления окружающих тканей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gere S. diZerega, Joseph D. Campeau. Peritoneal repair and post-surgical adhesion formation // Human Reproduction Update. – 2001. – Vol. 7. – P. 547-555.