

Результаты экспериментального исследования *in vitro* новой модели протеза роговой оболочки глаза для сквозного одноэтапного кератопротезирования

В.Р. Манцова¹С.А. Борзенок^{1,2}А.В. Головин¹Д.С. Островский¹А.В. Шацких¹, М.Х. Хубецова¹, А.Г. Шичкова³, А.Е. Мочалова³, А.А. Трошина¹

¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Долгоруковская, 4, Москва, 127006, Российская Федерация

³ ООО «Предприятие «Репер-НН»
ул. Баррикад, 1, литер БЯ, офис 5, г. Нижний Новгород, 603003, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2026;23(2):437–448

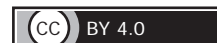
Цель: изучить клеточно-тканевую реакцию на интеграцию и фиксацию новой конструкции кератопротеза для сквозного кератопротезирования с помощью метода органотипического культивирования кадаверной роговицы человека в сравнении с одноэтапной имплантацией кератопротеза Федорова — Зуева. **Материал и методы.** Новая модель кератопротеза для одноэтапного сквозного кератопротезирования, разработанная совместно специалистами компании «Репер-НН» и сотрудниками ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, состоит из следующих частей: наружной пластины с оптическим цилиндром и внутренней пластины с центральной резьбовой втулкой для последующего закручивания оптического цилиндра. В данной работе была проведена серия экспериментально-морфологических исследований, включавших эксперимент *in vitro*, в рамках которого проводили иммуногистохимическое и гистологическое исследование, а также электронную сканирующую микроскопию, в ходе которого сравнивали две опытные группы: 1-я группа ($n = 5$) — роговица с имплантированной новой сквозной моделью кератопротеза; 2-я группа ($n = 5$) — роговица с имплантированным кератопротезом Федорова — Зуева вместе с оптическим цилиндром. **Результаты.** В ходе выполнения ряда экспериментальных исследований была подтверждена биоинертность исследуемой модели кератопротеза, доказана биосовместимость материала и допустимость применения данной модели для одноэтапного кератопротезирования в клинической практике, в отличие от кератопротеза Федорова — Зуева, предназначенного преимущественно для этапной имплантации. **Заключение.** Поиск оптимальной модели кератопротеза для пациентов с дистрофическим бельмом с целью экономии донорского материала и ускорения зрительной реабилитации является важным и актуальным направлением исследования. Разработанная модель сквозного кератопротеза для одномоментного кератопротезирования в ходе проведенного экспериментального исследования показала свою эффективность, биосовместимость и безопасность конструкции, что по сравнению с существующей моделью Федорова — Зуева, при условии одномоментного выполнения оптического этапа, является более безопасной и предсказуемой конструкцией в плане послеоперационной стабильности и вероятности осложнений.

Ключевые слова: кератопротезирование, органотипическое культивирование, сканирующая электронная микроскопия, иммуногистохимия

Для цитирования: Манцова В.Р., Борзенок С.А., Головин А.В., Островский Д.С., Шацких А.В., Хубецова М.Х., Шичкова А.Г., Мочалова А.Е., Трошина А.А. Результаты экспериментального исследования *in vitro* новой модели протеза роговой оболочки глаза для сквозного одноэтапного кератопротезирования. *Офтальмология*. 2026;23(2):437–448. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-437-448>

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.



Results of an *in vitro* Experimental Study of a New Eye Corneal Prosthesis Model for Penetrating Single-stage Keratoprosthetics

V.R. Mantsova¹, S.A. Borzenok^{1,2}, A.V. Golovin¹, D.S. Ostrovsky¹, A.V. Shatskikh¹, M.Hh. Hhubetsova¹, A.G. Shichkova³, A.E. Mochalova³, A.A. Troshina¹

¹ The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Beskudnikovskiy Blvd, 59A, Moscow, 127486, Russian Federation

² Russian University of Medicine
Dolgorukovskaya str., 4, Moscow, 127006, Russian Federation

³ LLC Enterprise "Reper-NN"
Barrikad str., 1, letter BYA, office 5, Nizhny Novgorod, 603003, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2026;23(2):437–448

Objective: To study the cellular and tissue response to the integration and fixation of a new keratoprosthesis design for penetrating keratoprosthetics using the method of organotypic cultivation of human cadaveric cornea in comparison with one-stage implantation of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis. **Material and methods.** Together with the engineers of the company "Reper-NN" and researchers of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, a new model of keratoprosthesis for one-stage keratoprosthesis has been developed. It consists of two main parts: an outer plate with an optical cylinder and an inner plate with a central threaded sleeve for subsequent tightening of the optical cylinder. In this study, a series of experimental and morphological studies were conducted, including *in vitro* experiment, immunohistochemical and histological studies, and electron microscopy, in which two experimental groups were compared: Group 1 ($n = 5$) — corneas with an implanted new penetrating keratoprosthesis; and Group 2 ($n = 5$) — corneas with an implanted Fedorov-Zuev keratoprosthesis together with an optical cylinder. **Results.** During a series of experimental studies, the biointactness of the new keratoprosthesis model was confirmed, the biocompatibility of the material and the admissibility of using this model for single-stage keratoprosthetics in clinical practice were proven, in contrast to the Fedorov-Zuev keratoprosthesis, which is intended primarily for staged implantation. **Conclusion.** Finding an optimal keratoprosthesis model for patients with degenerative leukomas, with the aim of conserving donor material and accelerating visual rehabilitation, is an important and relevant area of research. The developed model of penetrating keratoprosthesis for single-stage keratoprosthetics demonstrated its effectiveness, biocompatibility and safety of the design during the experimental study, which is a safer and more predictable in terms of postoperative stability and the likelihood of complications, compared to the existing Fedorov-Zuev model.

Keywords: keratoprosthesis, organotypic cultivation, scanning electron microscopy, immunohistochemistry

For citation: Mantsova V.R., Borzenok S.A., Golovin A.V., Ostrovsky D.S., Shatskikh A.V., Hhubetsova M.Hh., Shichkova A.G., Mochalova A.E., Troshina A.A. Results of an *in vitro* Experimental Study of a New Eye Corneal Prosthesis Model for Penetrating Single-stage Keratoprosthetics. *Ophthalmology in Russia*. 2026;23(2):437–448. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2026-2-437-448>

Financial Disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Одним из актуальных вопросов современной офтальмологии является лечение пациентов с сосудистым бельмом роговицы различной этиологии. Сквозная кератопластика в таких случаях осложняется неоваскуляризацией трансплантата и оказывается неэффективной вследствие иммунных реакций, приводящих к помутнению роговицы. На сегодняшний день единственным способом восстановления зрения у пациентов с сосудистым бельмом остается протезирование роговицы [1].

За долгие годы развития кератопротезирования предложено множество моделей кератопротезов, различающихся размером, формой, материалом, типом фиксации и этапностью вмешательства. В Российской Федерации доминирующее положение занимает кератопротез Федорова — Зуева (1972) [2, 3]. Данная модель, получившая международное признание наряду с Бостонским

кератопротезом и остеодонто-кератопротезом, представляет собой сборную конструкцию из титановой опорной пластины размером 5,5×8,0 мм и оптического цилиндра из полиметилметакрилата [3, 4].

Однако, несмотря на широкое внедрение и подтвержденную клинко-функциональную эффективность, проблема отторжения кератопротеза сохраняет свою актуальность. По данным литературы, частота этого осложнения варьирует в широких пределах (10–75%), что связано с развитием асептического некроза тканей вокруг опорной пластины, что, в свою очередь, обусловлено неспособностью титана к интеграции в ткани, в отличие от синтетического материала [5, 6].

Кроме того, имплантация кератопротеза Федорова — Зуева осуществляется в два этапа, что оправдано при тяжелых послеожоговых васкуляризованных бельмах, но при терминальных дистрофических или врожденных

В.Р. Манцова, С.А. Борзенок, А.В. Головин, Д.С. Островский, А.В. Шацких, М.Х. Хубецова...

помутнениях роговицы двухэтапная тактика становится нецелесообразной: отсутствие необходимости в реконструктивных вмешательствах делает два этапа избыточными и удлиняет сроки зрительной реабилитации. Кроме того, в клинической практике одноэтапная имплантация данной модели кератопротеза создает риск затекания внутриглазной жидкости (ВГЖ) в сформированное стромальное ложе и ее истечения наружу с последующей послеоперационной гипотонией глазного яблока и присоединением инфекционного процесса [7].

В мировой практике одним из наиболее востребованных является разборный кератопротез Boston KPRO с экстракорнеальной фиксацией. Эта конструкция включает две пластины, фиксирующие между собой роговицу, и оптический цилиндр диаметром 3 мм. Основным преимуществом данной модели является одноэтапность оптико-реконструктивного вмешательства, что ускоряет реабилитацию пациентов. Однако существенным ограничением служит отсутствие возможности замены оптического цилиндра из-за особенностей конструкции — защелкивающегося механизма соединения оптики с опорными элементами, что особенно критично при развитии послеоперационных осложнений (катаракта, зарастание оптического цилиндра, ретропротезная мембрана, дефект оптики) [8, 9].

Таким образом, разработка модели для одноэтапного сквозного кератопротезирования с резьбовым типом фиксации и возможностью замены оптического цилиндра в отдаленном периоде является актуальным направлением кератопротезирования.

Цель: изучить клеточно-тканевую реакцию на интеграцию и фиксацию новой конструкции кератопротеза для сквозного кератопротезирования с помощью метода органотипического культивирования кадаверной рого-

вицы человека в сравнении с одноэтапной имплантацией кератопротеза Федорова — Зуева.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Совместно компанией «Репер-НН» (г. Нижний Новгород) и сотрудниками ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (г. Москва) разработана новая модель кератопротеза для одноэтапного сквозного кератопротезирования, которая состоит из двух основных частей: наружной пластины с оптическим цилиндром и внутренней пластины. Наружная пластина выполнена из гидрофобного акрила диаметром 5 мм с учетом кривизны и диаметра роговицы. Центральная часть наружной пластины содержит оптический цилиндр диаметром до 2,75 мм, выполненный из полиметилметакрилата (ПММА), и является вместе с наружной пластиной кератопротеза единой деталью. Оптический цилиндр выстоит над наружной пластиной на 0,3 мм в центральной зоне.

На торцевой части оптического цилиндра нанесена резьба, которая конгруэнтна резьбе втулки, расположенной на внутренней пластине кератопротеза. Резьба берет начало от дистального интраокулярного конца цилиндра и доходит до внутренней части наружной пластины, что дает возможность индивидуально регулировать степень фиксации роговицы между опорными пластинами в зависимости от ее толщины и степени отека. Общая длина резьбовой части оптического цилиндра составляет 1,3 мм (рис. 1).

Внутренняя пластина имеет диаметр 5 мм, выполнена из гидрофобного акрила и содержит фенестры диаметром по 0,6 мм, основная задача которых — осуществлять питание задних слоев роговицы за счет возможности контакта эндотелия с влагой передней камеры. В торцевую часть

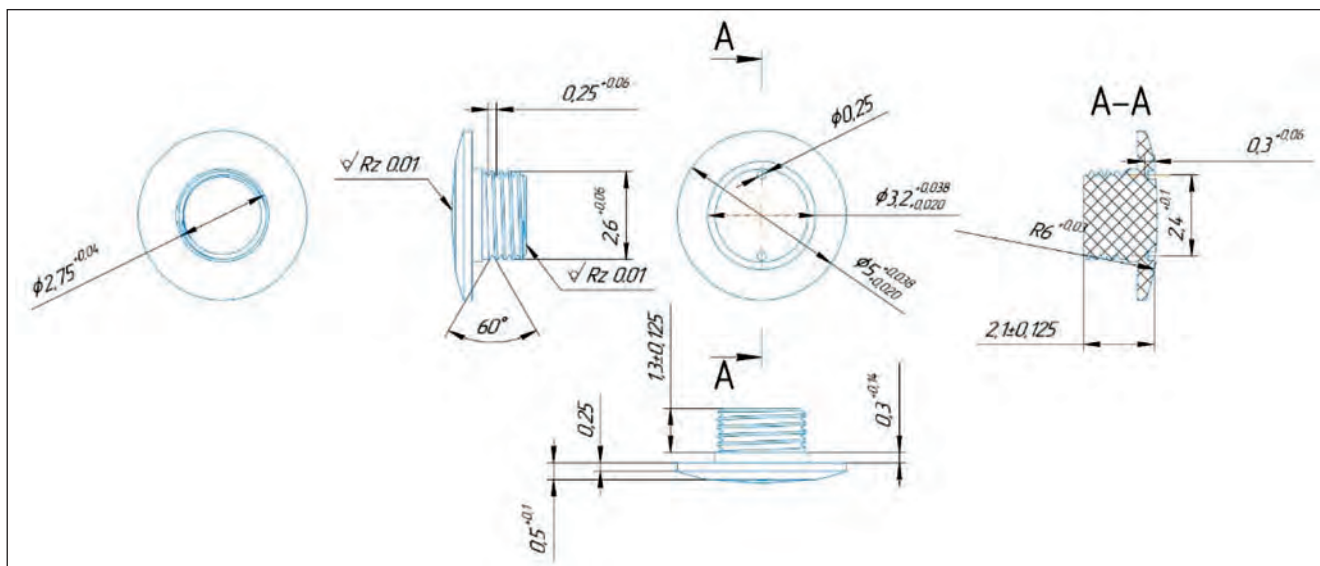


Рис. 1. Чертеж наружной пластины новой модели кератопротеза

Fig. 1. Drawing of the outer plate of the new keratoprosthesis model

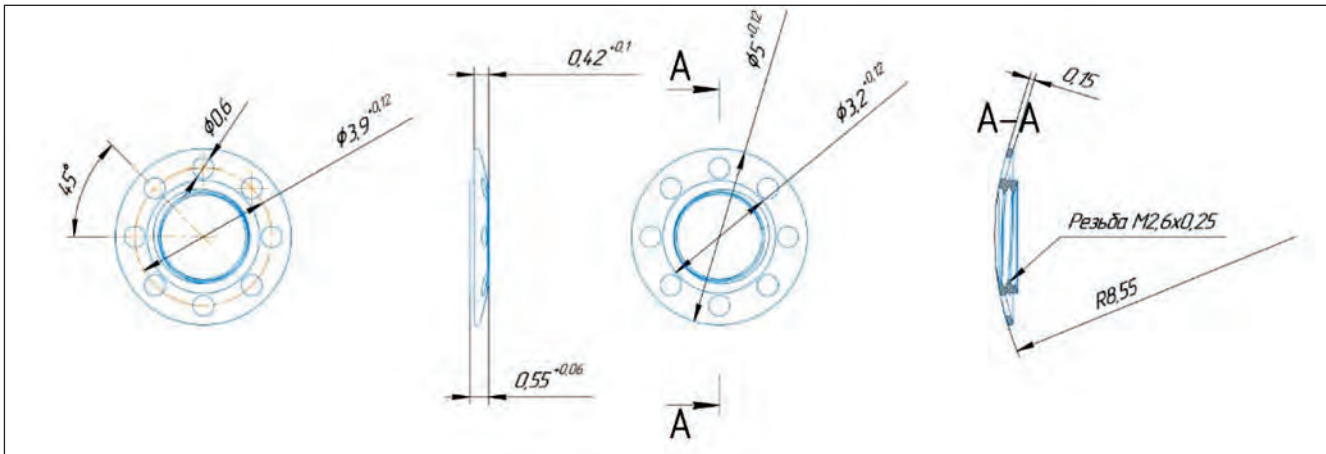


Рис. 2. Чертеж внутренней пластины новой модели кератопротеза

Fig. 2. Drawing of the inner plate of the new keratoprosthesis model

центрального отверстия внутренней пластины вколочена втулка с резьбой, которая конгруэнтна резьбе интраокулярной части оптического цилиндра (рис. 2).

Между пластинами за счет резьбового типа соединения фиксируют донорскую роговицу и заготавливают роговично-протезный комплекс (рис. 3).

Следует отметить, что размеры данной конструкции кератопротеза были утверждены с учетом параметров роговицы кролика для проведения эксперимента *in vivo* в соответствии с предварительно разработанной математической моделью. Размеры опорных пластин и длина оптического цилиндра главным образом влияют на стабильность конструкции в динамике послеоперационного периода в клинической практике, но, учитывая, что эксперимент проводили на кадаверных глазах, цели наблюдения за стабильностью положения кератопротеза в настоящем эксперименте не было. Ввиду этого разработанная модель для эксперимента *in vivo* может быть имплантирована, и в эксперименте *in vitro* для доказательства биоинертности и интегративных свойств материала были изучены особенности разработанной конструкции и создание механизма одноэтапной имплантации новой модели кератопротеза с винтовым типом соединения.

В качестве источника биоматериала для экспериментального исследования был использован донорский материал (кадаверная роговица). Перед включением глаза донора-трупа в эксперимент проводили его серологическую диагностику на инфицированность вирусами ВИЧ I/II, гепатита В и С, сифилисом, представляющими потенциальную угрозу для персонала, после этого сотрудник

Глазного тканевого банка проводил оценку морфофункционального показателя трансплантативности по классификации С.А. Борзенка.

Критериями отбора для дальнейшего эксперимента были возраст доноров до 66 лет, время от момента смерти донора до начала экспериментальных исследований не более 18 часов, показатели адреналиновой пробы А и В, морфологические показатели роговицы 2 и 3 по классификации С.А. Борзенка.

В данной работе была проведена серия экспериментально-морфологических исследований, включавших эксперимент *in vitro*. Для этого было использовано 10 кадаверных роговиц: 1-я группа ($n = 5$) — роговица с имплантированной новой сквозной моделью кератопротеза; 2-я группа ($n = 5$) — роговица с имплантированной

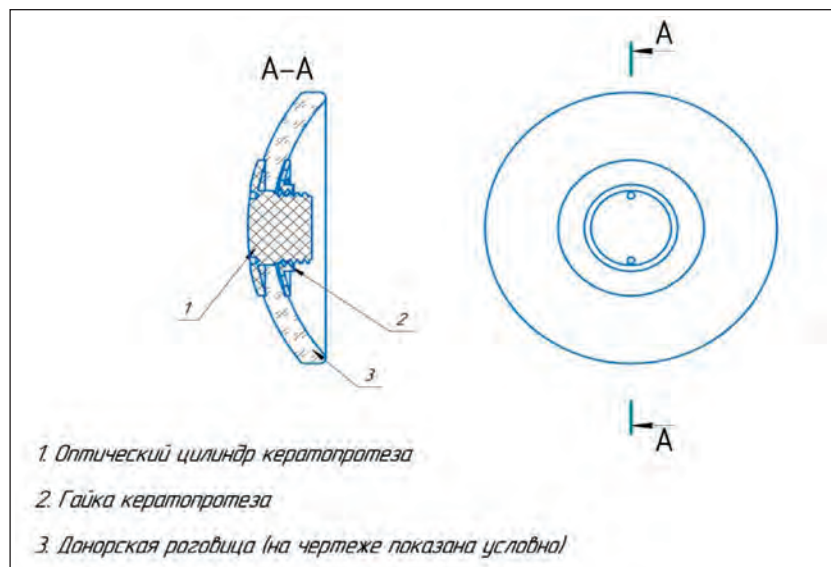


Рис. 3. Схема расположения конструкции кератопротеза с фиксированной роговицей донора.

Fig. 3. Scheme of the keratoprosthesis arrangement with the fixed donor cornea

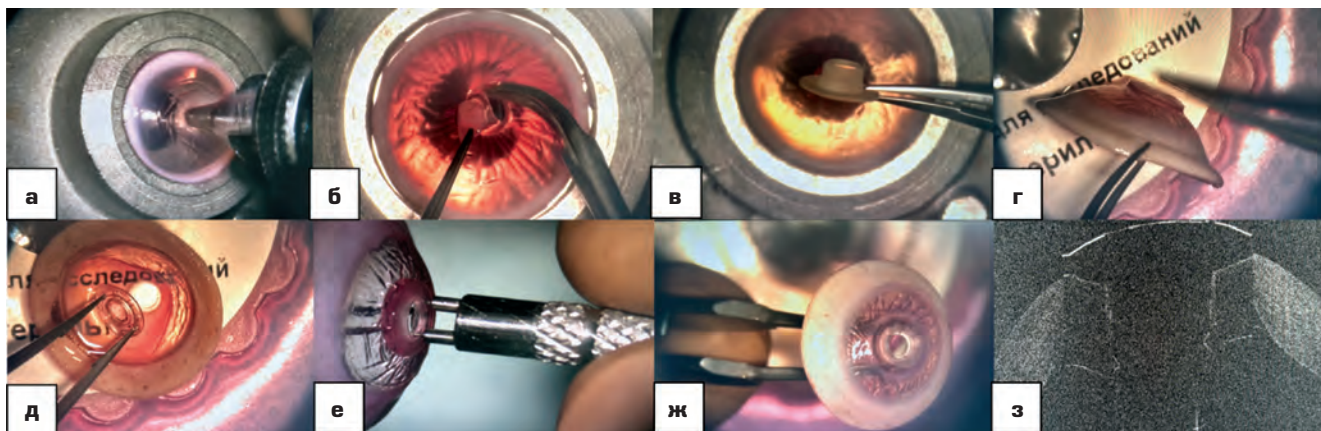


Рис. 4. Этапы формирования роговично-протезного комплекса с использованием новой сквозной модели кератопротеза: а — этап трепанации роговицы; б — дорезание перемычек и формирование трепанационного отверстия; в, г — нанизывание наружной пластины с цилиндром на донорскую роговицу; д — этап фиксации внутренней пластины; е — вкручивание оптического цилиндра во внутреннюю пластину кератопротеза; ж — внешний вид сформированного роговично-протезного комплекса; з — интраоперационная ОКТ после формирования роговично-протезного комплекса

Fig. 4. Stages of the cornea–prosthesis complex formation using a new keratoprosthesis model: а — corneal trepanation stage; б — cutting of the bridges and formation of a trepanation hole; в, г — threading the outer plate with a cylinder onto the donor cornea; д — stage of internal plate fixation; е — screwing of the optical cylinder into the internal plate of the keratoprosthesis; ж — view of the formed corneal-prosthetic complex; з — intraoperative OCT after formation of the cornea–prosthesis complex

моделью кератопротеза Федорова — Зуева одноэтапно с оптическим цилиндром кератопротеза.

После прохождения серологической диагностики и оценки морфофункциональных показателей трансплантатности до этапа культивирования выполняли заготовку роговично-протезных комплексов.

У части роговиц ($n = 5$) была имплантирована новая сквозная модель кератопротеза. Заготовка комплекса проводилась следующим образом. Корнеосклеральный диск помещали в чашку Петри со средой для консервации роговицы, затем проводили трепанацию центра роговицы трепаном диаметром 2,5 мм. Далее на корнеосклеральный диск со стороны Боуеновой мембраны через трепанационное отверстие нанизывали наружную пластину с оптическим цилиндром, а со стороны эндотелия к дистальному концу оптического цилиндра присоединяли внутреннюю пластину. В завершение, используя ключ и вязальный пинцет, внутреннюю пластину накручивали на оптический цилиндр до тех пор, пока хирург не встречал сопротивление, тем самым формируя прочный роговично-протезный комплекс (рис. 4).

В качестве сравнения в остальные роговицы ($n = 5$) был имплантирован кератопротез Федорова — Зуева одноэтапно с оптическим цилиндром.

На первом этапе для имплантации кератопротеза Федорова — Зуева корнеосклеральный диск помещали в искусственную переднюю камеру, выполняли разметку зоны расположения интрастромального кармана (ИСК) и далее под интраоперационным контролем ОКТ вручную выполняли формирование ИСК и имплантировали в него опорную пластину кератопротеза, а зону разреза фиксировали узловыми швами.

На втором этапе с помощью лезвия и ножниц удаляли ткани роговицы над областью заглушки, затем ее выкручивали и удаляли ткани за областью заглушки. В завершение в сформированное трепанационное отверстие дозированно вкручивали оптический цилиндр кератопротеза, соблюдая принцип конгруэнтности с внутренней резьбой заглушки (рис. 5).

Экспериментальные исследования на модели органотипического культивирования были направлены на изучение особенности взаимодействия ткани роговицы человека с исследуемым кератопротезом. Для этой цели проводили имплантацию кератопротеза в роговицу кадаверного глаза с последующим органотипическим культивированием в стандартной ростовой среде в условиях нормотермии.

Для органотипического культивирования применяли среду, включающую DMEM/F12 («ПанЭко», Россия), эмбриональную телячью сыворотку 5 % (HyClone, США), смесь антибиотиков 1 % (Sigma Aldrich, Канада), L-глутамин 2 ммоль/л («ПанЭко», Россия).

Культивирование роговиц кадаверных глаз проводили в CO_2 инкубаторе NU-5510 (NuAire, США) с концентрацией CO_2 5 % при температуре +37 °С в течение 1 месяца. Замену среды производили каждые трое суток в связи с изменением показателя pH в сторону закисления и соответствующего ему изменения pH индикатора среды.

После окончания органотипического культивирования роговицы промывали в фосфатно-солевом буфере (Phosphate buffered saline, PBS) трижды по 10 мин. и фиксировали в 10 % нейтральном растворе формалина в течение 24 ч (141328, AppliChem, Германия). Затем роговицы фрагментировали и подготавливали к последующим

исследованиям: иммуногистохимии (ИГХ), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и световой микроскопии (СМ).

ИГХ и СЭМ проводились на базе Центра фундаментальных и прикладных медико-биологических проблем ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России под руководством д.м.н. С.А. Борзенка в соответствии с официально принятыми процедурами и специальным разрешением в рамках законодательства РФ, на основании лицензии Федеральной государственной службы по надзору за здравоохранением № 129-ФЗ от 01.05.2022, которая позволяет использовать ткани, выделенные из трупных человеческих глаз, для целей трансплантации и научных исследований.

Для подготовки образцов к СЭМ роговично-склеральные диски извлекали из фиксирующего раствора (10 % формалин), далее с помощью лезвия и ножниц были подготовлены фрагменты роговиц и кератопротезов, представляющие наибольший интерес. На этапе подготовки образцов применяли методику обезвоживания с использованием ацетоновой батареи (10, 20, 30, 50, 70, 90, 100 %) 3-кратно по 10 минут в каждом растворе с последующим вакуумным высушиванием в критической точке (K850 Critical Point Dryer, Quorum, Великобритания).

Далее все образцы фиксировали на алюминиевых предметных держателях (по одному для каждого образца) с помощью карбонового скотча таким образом, чтобы исследуемая поверхность стромы роговицы была обращена наружу. После фиксации производили напыление образцов золотом (проба 999, толщина слоя 5 нм) на установке JEOL Company Smart Coater (Япония) для создания электронно-проводящего слоя на поверхности исследуемых объектов. Затем образцы помещали в камеру двулучевого сканирующего электронного микроскопа JSM-6000 PLUS (JEOL Company, Япония) и анализировали в условиях высокого вакуума при ускоряющем напряжении 10 кВ и увеличениях 20, 100, 400, 1000, 2000×.

После извлечения фрагментов роговиц из фиксирующего раствора ту часть роговиц, которая шла на ИГХ, замораживали в криостате (HM525NX, Thermo Fisher Scientific, США) в криосреде (6502, Thermo Fisher Scientific, США). Криосрезы толщиной 5 мкм на предметном стекле (J1800AMNZ, MenzelGlaser, Германия) были инкубированы с 0,3 % раствором Triton X-100 (A4975, AppliChem, Германия) в фосфатно-солевом буфере (PBS) в течение 15 мин. Далее образцы переносили в блокиру-

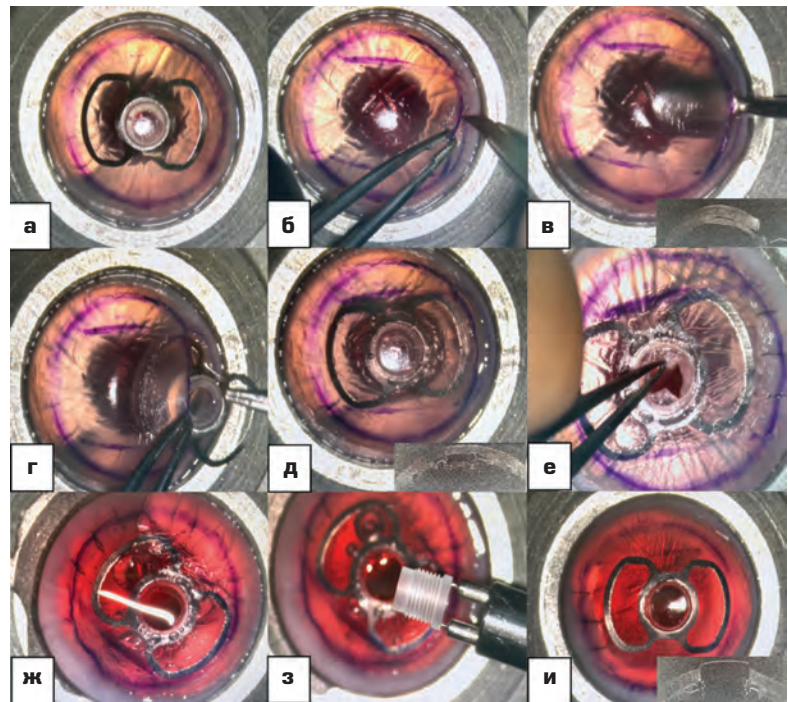


Рис. 5. Этапы имплантации кератопротеза Федорова — Зуева: а — разметка зоны расположения ИСК; б — формирование входного отверстия в ИСК; в — этап расслаивания стромы роговицы с формированием ИСК под интраоперационным контролем ОКТ; г, д — имплантация опорной пластины кератопротеза Федорова — Зуева; е — иссечение тканей вокруг заглушки с ее последующим выкручиванием; ж — иссечение тканей за областью заглушки и формирование отверстия оптического цилиндра кератопротеза; з — вкручивание оптического цилиндра кератопротеза; и — наложение на область входного отверстия узловых швов

Fig. 5. Stages of Fedorov-Zuev keratoprosthesis implantation: а — marking the intrastromal pocket location area; б — forming the entry hole into the intrastromal pocket; в — stage of corneal stroma delamination with formation of the intrastromal pocket under intraoperative OCT control; г, д — implantation of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis support plate; е — excision of tissue around the plug with its subsequent twisting; ж — excision of tissue behind the plug area and formation of the opening hole of the keratoprosthesis optical cylinder; з — screwing in the keratoprosthesis optical cylinder; и — suturing the entry hole area

ющий раствор (1 % бычьего сывороточного альбумина (LY-0081.050, «ПанЭко», Россия) с 0,1 % Twin 20 (A4974, AppliChem, Германия)). Затем срезы окрашивали первичными антителами, разведенными в PBS: Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti- α -SMA ab5694 (Rabbit), Collagen I, Collagen III, Aldehyde Dehydrogenase, Ki-67 Antigen, и инкубировали в течение 60 мин. во влажной камере при комнатной температуре.

Затем предметные стекла трижды промывали в PBS в течение 5 мин. и далее инкубировали с вторичными антителами (Goat Anti-Rabbit IgG ab150077 (AF 488), Goat Anti-Mouse IgG ab150116 (AF 594)) во влажной камере в течение 60 мин. при комнатной температуре в темноте. Затем предметные стекла трижды промывали в PBS в течение 5 мин., а ядра докрасивали Hoechst 33342 (0,2 мкг/мл в дистиллированной воде) (ab228551, Abcam, Великобритания) в течение 2 мин. Наконец, срезы промывали дистиллированной водой и заключали

в среде (VitroGel, 12-001, BioVitrum, Россия) под покровным стеклом толщиной 0,13 мм (BV018024A1, Menzel Glaser, Германия). Анализ производился на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (Fluoview FV10i, Olympus, Япония).

СМ полученных образцов была выполнена в Лаборатории патологической анатомии и гистологии глаза ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, зав. лабораторией к.м.н. А.В. Шацких.

Для гистологического исследования фиксированный в формалине материал промывали проточной водой, обезжизивали в спиртах восходящей концентрации и заливали в парафин. Выполняли серии гистологических срезов с применением окраски гематоксилин-эозин. Препараты изучали под микроскопом Leica DM LB2 (Германия) при $\times 50$, $\times 100$, $\times 200$, $\times 400$, $\times 630$ -кратном увеличении с последующей фоторегистрацией на слайд-сканере Leica Aperio CS2 (США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первым этапом после выведения роговиц из органо-типического культивирования выполняли СЭМ фрагментов роговицы и конструкций кератопротезов. Целью проведения СЭМ было обнаружение клеток и новообразованных волокнистых соединительнотканых элементов на изучаемых поверхностях.

В первой группе поверхности опорных пластин, находящиеся в непосредственном контакте с роговицей, и дистальная часть резьбы оптического цилиндра содержали фрагменты внеклеточного матрикса, что свидетельствует о нетоксичности материала нового сквозного кератопротеза и биосовместимости конструкции, допускающей имплантацию данной модели протеза роговой оболочки. Передняя поверхность оптического цилиндра после культивирования осталась чистой, без признаков наползания клеточных элементов, что говорит о достаточной высоте экстраокулярной части и является положительным критерием, так как прозрачность цилиндра должна оставаться полной (рис. 6).

На передней и задней поверхностях опорной пластины кератопротеза Федорова — Зуева (2-я группа) признаков клеточных элементов не было обнаружено, что, вероятнее всего, связано с особенностью материала, из которого выполнена пластина, а также свободным расположением пластины в ИСК. В параоптической области наблюдалась адгезия внеклеточного матрикса, что может являться предиктором зарастания оптического цилиндра, учитывая несоблюдение этапности имплантации данной модели кератопротеза (рис. 7).

После удаления кератопротезов изучали поверхности роговиц, которые контактировали с опорными элементами. В первой группе на передней и задней поверхностях роговиц наблюдали наличие волокнистых соединительнотканых структур. Признаков повреждения эндотелиальных клеток не обнаружено,

что, в свою очередь, говорит о допустимой компрессии в момент формирования роговично-протезного комплекса с использованием новой сквозной модели протеза и правильной работе фенестр во внутренней опорной пластине (рис. 8).

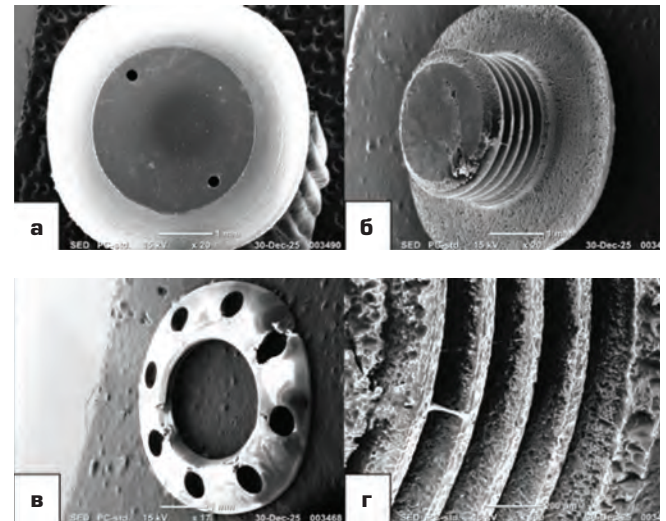


Рис. 6. Серия снимков сканирующей электронной микроскопии новой сквозной модели кератопротеза: а — передняя поверхность оптического цилиндра и наружной пластины кератопротеза, ув. $\times 20$; б — задняя поверхность наружной пластины кератопротеза, ув. $\times 20$; в — передняя поверхность внутренней пластины кератопротеза, ув. $\times 17$; г — дистальная часть резьбы оптического цилиндра, ув. $\times 100$

Fig. 6. A series of scanning electron microscopy images of a new keratoprosthesis model: а — anterior surface of the optical cylinder and outer plate of the keratoprosthesis, magnification $\times 20$; б — posterior surface of the outer plate of the keratoprosthesis, magnification $\times 20$; в — anterior surface of the inner plate of the keratoprosthesis, magnification $\times 17$; г — distal part of the optical cylinder thread, magnification $\times 100$

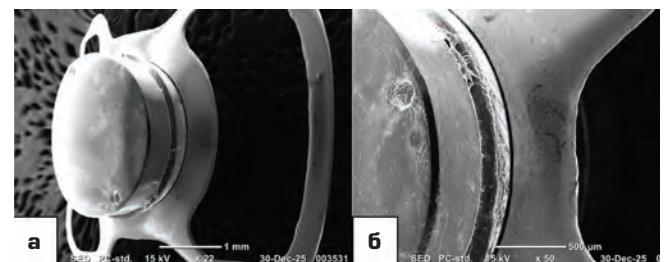


Рис. 7. Серия снимков сканирующей электронной микроскопии кератопротеза Федорова — Зуева: а — передняя поверхность опорной пластины кератопротеза Федорова — Зуева с имплантированным оптическим цилиндром, ув. $\times 20$; б — параоптическая область кератопротеза с волокнами соединительной ткани в зоне перехода оптики в опорную пластину, ув. $\times 50$

Fig. 7. A series of scanning electron microscopy images of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis: а — the anterior surface of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis support plate with an implanted optical cylinder, magnification $\times 20$; б — the paraoptical area of the keratoprosthesis with connective tissue fibers in the transition zone of the optics into the support plate, magnification $\times 50$

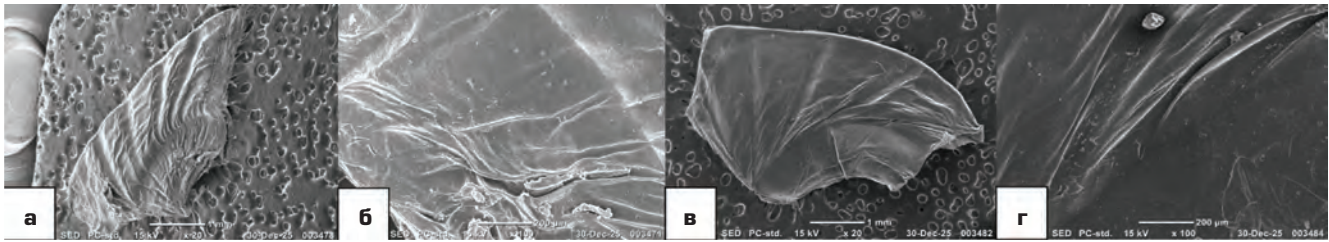


Рис. 8. Серия снимков сканирующей электронной микроскопии роговицы донора после имплантации новой сквозной модели кератопротеза: а — верхняя поверхность роговицы, ув. $\times 20$; б — верхняя поверхность роговицы, ув. $\times 100$; в — нижняя поверхность роговицы, ув. $\times 20$; г — нижняя поверхность роговицы, ув. $\times 100$

Fig. 8. A series of scanning electron microscopy images of the donor cornea after implantation of a new penetrating keratoprosthesis model: а — upper surface of the cornea, $\times 20$ magnification; б — upper surface of the cornea, $\times 100$ magnification; в — lower surface of the cornea, $\times 20$ magnification; г — lower surface of the cornea, $\times 100$ magnification

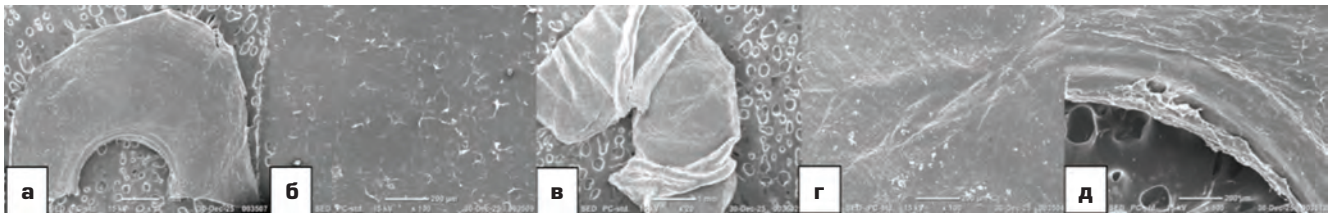


Рис. 9. Серия снимков сканирующей электронной микроскопии роговицы донора после имплантации кератопротеза Федорова — Зуева: а — крышка ИСК, ув. $\times 20$; б — крышка ИСК, ув. $\times 100$; в — ложе ИСК, ув. $\times 20$; г — ложе ИСК, ув. $\times 100$; д — параоптическая область с забросом эндотелия, ув. $\times 100$

Fig. 9. A series of scanning electron microscopy images of the donor cornea after implantation of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis: а — intrastromal pocket cap, magnification $\times 20$; б — intrastromal pocket cap, magnification $\times 100$; в — intrastromal pocket space, magnification $\times 20$; г — intrastromal pocket space, magnification $\times 100$; д — paraoptical area with endothelial reflux, magnification $\times 100$

Во второй группе после удаления кератопротеза Федорова — Зуева были изучены поверхности ИСК и параоптическая область (рис. 9). Ложе и крышка кармана по данным СЭМ не имели грубых зазубрин, несмотря на механическое расслаивание. В параоптической области наблюдали заброс клеток эндотелия, наличие которых недопустимо, что свидетельствует о сложностях формирования отверстия оптического цилиндра сразу после имплантации опорной пластины и травматизации тканей с попаданием значительного фрагмента эндотелия в резьбу при вкручивании оптического цилиндра, что, в свою очередь, является отрицательным фактом для одноэтапной имплантации кератопротеза Федорова — Зуева, так как в клинической практике это создает риск затекания ВГЖ в сформированное стромальное ложе и ее истечения наружу с последующей послеоперационной гипотонией глазного яблока и присоединением инфекционного процесса. Кроме того, риск фильтрации ВГЖ является предпосылкой протрузии протеза и осложнений со стороны заднего отрезка глаза, таких как отслойка сосудистой оболочки и сетчатки.

Следующим этапом экспериментального исследования было проведение ИГХ, целью которой послужило изучение пролиферативной активности и адгезивных свойств клеток роговицы после удаления кератопротеза.

Срезы выполнялись таким образом, чтобы в первой группе можно было визуализировать полость, на месте которой была расположена фенестра внутренней опорной пластины, а во второй группе — фрагмент ИСК.

Активность кератоцитов наблюдалась и в первой, и во второй группе, однако в первой группе — только в зоне контакта роговицы с опорными элементами и оптическим цилиндром, а во второй — равномерно во всей роговице, что является ожидаемым результатом для обеих групп и предположительно связано с разными способами фиксации опорных элементов. Данные заключения были сделаны в результате анализа экспрессии антител Aldehyde Dehydrogenase — маркера функциональной активности и сохранности кератоцитов и Collagen I, Collagen III — маркеров коллагенообразования.

Пролиферативная активность клеток значительно больше отмечалась во второй группе, что для нее является предпочтительным ввиду интрастромального расположения кармана, присутствия в строме инородного тела, а также реакции клеток стромы на материал (по данным экспрессии Ki-67 Antigen — маркера пролиферативной активности), что также доказывается наличием незначительных признаков перерождения кератоцитов в данной группе (Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti-a-SMA ab5694 (Rabbit) — маркеры перерождения кератоцитов) (рис. 10, 11).

По данным ИГХ, с учетом различного механизма фиксации опорных элементов и материала клеточная реакция была разной, однако в обоих случаях положительной и ожидаемой, что свидетельствует о безопасности имплантации обеих конструкций кератопротеза и биоинертности материала. Однако данный факт требует дальнейшего изучения исследуемых изделий в условиях *in vivo*.

Завершающим этапом эксперимента стало гистологическое исследование препаратов методом СМ. По данным СМ, в первой группе четко визуализировалась граница между структурой роговицы в составе роговично-протезного комплекса, которая подверглась компрессии, и зона интактной роговицы.

Профиль гистологического среза был конгруэнтен фиксации элементу кератопротеза. Структура роговицы была сохранной, эпителизированной. Новообразованный эпителий равномерным пластом, состоящим из 1–2 рядов клеток, покрывал роговицу, что может свидетельствовать об отсутствии травматического

эффекта кератопротеза и стабильности его фиксации. Стромальные волокна не были повреждены, изменился лишь их ход с волнообразного на прямолинейный. Признаков отека стромы не обнаружено, как и участков дегидратационных нарушений, что говорит о сохранении равномерной гидратации роговицы и правильной работе фенестр внутренней опорной пластины. По данным гистологических препаратов оценить состояние эндотелия не представлялось возможным.

Во второй группе визуализировали интрастромальный карман, который повторяет форму и размер опорной пластины кератопротеза, содержит в области ложа и крышки умеренный клеточный компонент, что может являться предиктором капсулообразования, также наблюдался правильный ход коллагеновых волокон в стро-ме вокруг ИСК (рис. 12).

Результаты СМ в отношении новой модели сквозного кератопротеза показывают техническую возможность его имплантации с сохранением морфофункционального состояния роговицы, что позволяет перейти

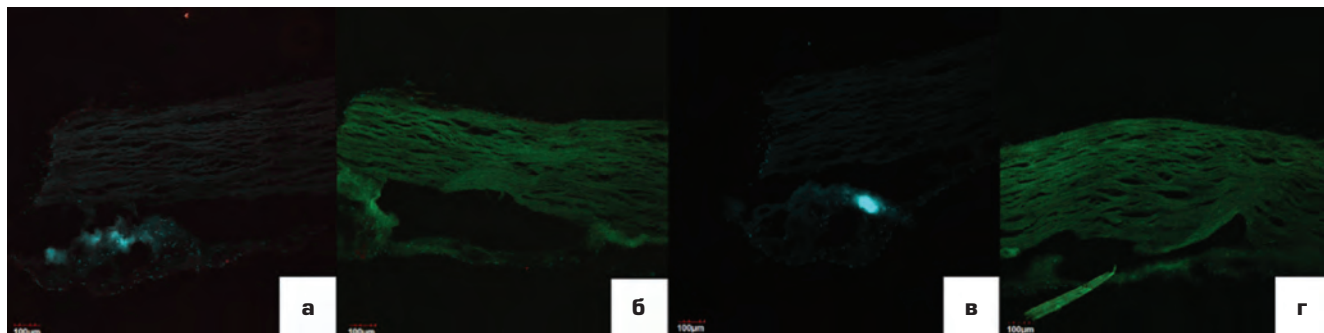


Рис. 10. Серия снимков фрагментов донорской роговицы после удаления новой модели кератопротеза, выполненная на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе: а — Aldehyde Dehydrogenase; б — Collagen I, Collagen III; в — Ki-67 Antigen; г — Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti-a-SMA ab5694 (Rabbit)

Fig. 10. Images of the donor cornea fragments after removal of the new keratoprosthesis model, taken on a confocal laser scanning microscope: а — Aldehyde Dehydrogenase; б — Collagen I, Collagen III; в — Ki-67 Antigen; г — Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti-a-SMA ab5694 (Rabbit)

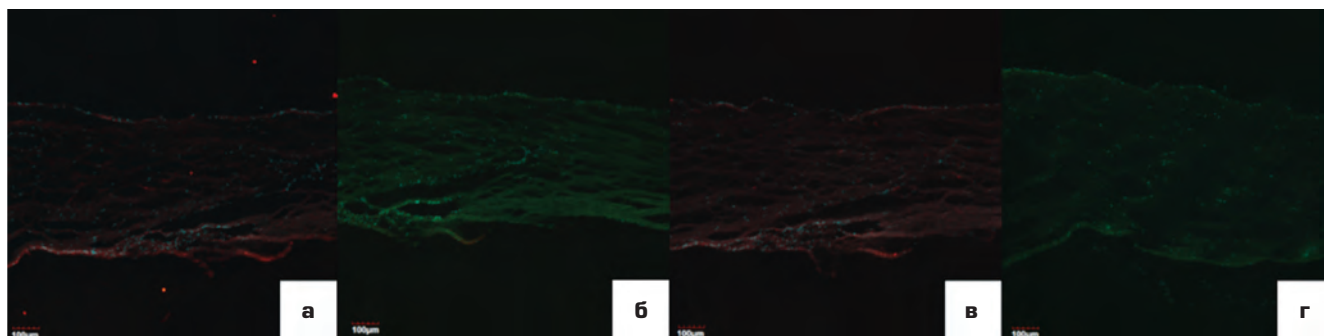


Рис. 11. Серия снимков фрагментов донорской роговицы после удаления кератопротеза Федорова — Зуева, выполненная на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе: а — Aldehyde Dehydrogenase; б — Collagen I, Collagen III; в — Ki-67 Antigen; г — Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti-a-SMA ab5694 (Rabbit)

Fig. 11. Images of the donor cornea fragments after removal of the Fedorov-Zuev keratoprosthesis, taken on a confocal laser scanning microscope: а — Aldehyde Dehydrogenase; б — Collagen I, Collagen III; в — Ki-67 Antigen; г — Vimentin ARG 52469 (Mouse), Anti-a-SMA ab5694 (Rabbit)

к следующему этапу доклинического исследования в эксперименте *in vivo*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из приоритетных вопросов кератопротезирования является разработка оптимальной конструкции кератопротеза, его параметров, размеров и материала изготовления. От выбранной модели кератопротеза напрямую зависит хирургическая техника, сроки выполнения операции, характер интра- и послеоперационных осложнений, а также стабильность положения конструкции в различные сроки послеоперационного периода. Как свидетельствуют данные исследований, именно конструкция кератопротеза в значительной степени определяет стабильный послеоперационный результат и эффективность зрительной реабилитации пациентов [10, 11].

На сегодняшний день сквозное кератопротезирование подразделяется в зависимости от способа фиксации опорной пластины на экстракорнеальное и интраламеллярное. Основным представителем интраламеллярного способа фиксации, получившим широкое распространение во всем мире, является кератопротез Федорова — Зуева в классическом исполнении, который состоит из титановой опорной пластины и оптического цилиндра [3, 4, 12].

Тем не менее данная модель кератопротеза имеет ряд недостатков, в частности риск развития асептического некроза тканей в ответ на материал опорной пластины и, как следствие, протрузия кератопротеза. Кроме того, большой диаметр опорной пластины (8,5–6,5 мм) требует выкраивания соответствующего по размеру ИСК у пациента, что не всегда представляется возможным. Постожеговые бельма зачастую неравномерны по своей толщине, что в значительной степени осложняет формирование ИСК, увеличивая риск перфорации бельма [13, 14].

Использование данной модели кератопротеза оправдано в случае тяжелых повреждений переднего отрезка глазного яблока, в частности термических и химических ожогов, минно-взрывных ранений, травмы глаза и токсико-аллергических реакций (синдром Лайела, синдром Стивенса — Джонсона, рубцующий пемфигоид), т.е. в случаях с осложненными бельмами, когда интрастромальное положение опорного элемента снижает вероятность воспалительных и асептических воздействий на конструкцию протеза.

Если бельмо является неосложненным, толщина роговицы равномерна, а структуры угла передней камеры не имеют грубых повреждений, допускается возможность имплантации опорных элементов одновременно с оптическим этапом, что значительно ускоряет зрительную реабилитацию пациентов. К данной группе

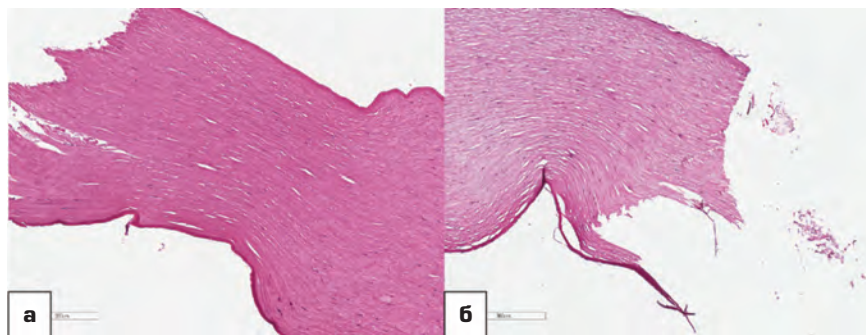


Рис. 12. Гистологические препараты донорских корнеосклеральных дисков после экспериментального моделирования с использованием кератопротезов: а — новой сквозной модели кератопротеза; б — кератопротеза Федорова — Зуева

Fig. 12. Histological preparations of donor corneoscleral discs after experimental modeling using keratoprotheses: a — a new penetrating model of keratoprosthesis; b — Fedorov-Zuev keratoprosthesis

относится Бостонский кератопротез, являющийся одним из наиболее часто используемых в мире. Однако на территории Российской Федерации ни один из аналогичных по конструкции протезов не имеет регистрации и не используется для имплантации. Кроме того, отсутствует возможность эксплантации оптической части и ее замены для данной группы протезов, что делает весьма перспективными направления по разработке резьбового типа соединения оптического компонента [8, 9, 15].

В настоящий момент единственным доступным кератопротезом на территории Российской Федерации является кератопротез Федорова — Зуева, который подразумевает длительное ожидание второго этапа кератопротезирования даже в тех случаях, когда сосудистое бельмо не осложнено наличием сопутствующих патологий. Данный тип протеза не исключает одноэтапный тип имплантации, однако формирование ИСК и сквозное трепанирование оптической части создают предпосылки к затеканию ВГЖ в сформированное стромальное ложе и ее истечению наружу с возможными рисками послеоперационной гипотонии и присоединения инфекционного процесса [16].

Кроме того, фильтрация ВГЖ является фактором риска протрузии протеза и осложнений со стороны заднего отрезка глаза (отслойка сосудистой оболочки и сетчатки). Следует также отметить, что одноэтапная имплантация имеет ряд других недостатков: нестабильное положение опорной пластины в ИСК, риск попадания тканей в зону резьбы, что, в свою очередь, создает трудности при вкручивании оптического цилиндра; невозможность корректного расчета диоптрийной силы оптического цилиндра; отсутствие возможности подбора высоты экстраокулярной части оптического цилиндра, что рано или поздно приведет к замене оптики в результате ее зарастания [17, 18].

Тем не менее в литературе описаны единичные случаи одноэтапной имплантации кератопротеза Федорова — Зуева, однако для этого требовались определенные

показания: необходимость витреоретинального вмешательства в ускоренном порядке (наличие свежей отслойки сетчатки, витреомакулярной тракции, субтотального или тотального гемофтальма), а также невозможность повторного визита пациента для выполнения второго этапа [19].

В отличие от кератопротеза Федорова — Зуева, Бостонская модель кератопротеза предполагает принципиально иной подход. Отличительной особенностью и преимуществом этого кератопротеза является возможность проведения одноэтапного оптико-реконструктивного вмешательства, что обеспечивает быструю зрительную реабилитацию пациентов. Однако существенным ограничением данной модели выступает невозможность замены оптического цилиндра, а также отсутствие цилиндров с удлинённой экстраокулярной частью, что, в свою очередь, приводит к необходимости полного удаления конструкции кератопротеза в случае развития послеоперационных осложнений и повторной пересадки роговично-протезного комплекса [15, 16, 20–22].

С учетом анализа всего предшествующего опыта кератопротезирования авторами настоящей статьи совместно с ООО «Репер-НН» (Нижний Новгород, РФ) была разработана новая модель разборного кератопротеза из гидрофобного акрила для одномоментного сквозного кератопротезирования. Резьбовой тип фиксации предполагает возможность замены оптического цилиндра в отдалённом послеоперационном периоде в случае необходимости.

На данном этапе работы была проведена серия экспериментально-морфологических исследований, включавших эксперимент *in vitro*, с целью изучения особенностей реакции роговицы на полимерный материал и конструкцию новой модели кератопротеза в отличие от одноэтапной имплантации кератопротеза Федорова — Зуева.

В результате выполненного клеточного культивирования была установлена биосовместимость и нетоксичность новой модели кератопротеза с сохранением пролиферативной активности клеток роговицы и их способности к адгезии на поверхности кератопротеза, что говорит о его потенциальной пригодности к имплантации. В месте компрессии ход коллагеновых волокон

был сохранен, правильным, а наличие внеклеточных пространств наравне с интактной роговицей косвенно свидетельствует о возможности правильной гидратации роговицы через фенестры. Наличие наползающих с лимбальной зоны эпителиальных структур и интактный эндотелий в зоне расположения пластин свидетельствуют об отсутствии травматического эффекта фиксации кератопротеза, что подтверждается данным СМ.

Тем не менее требуется дальнейшее изучение исследуемых изделий в условиях *in vivo* с целью доработки технических характеристик новой модели кератопротеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск оптимальной модели кератопротеза для пациентов с дистрофическим бельмом с целью экономии донорского материала и ускорения зрительной реабилитации является важным и актуальным направлением исследования. Разработанная модель сквозного кератопротеза для одноэтапного кератопротезирования в ходе проведенного экспериментального исследования показала свою эффективность, биосовместимость и безопасность конструкции. По сравнению с существующей моделью кератопротеза Федорова — Зуева, при условии одномоментного выполнения оптического этапа, новый кератопротез будет являться более безопасной и предсказуемой конструкцией в плане послеоперационной стабильности и вероятности осложнений.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Манцова В.Р. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование; Борзенко С.А. — проведение сканирующей электронной микроскопии и иммуногистохимии, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Головин А.В. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Островский Д.С. — проведение сканирующей электронной микроскопии и иммуногистохимии, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Шацких А.В. — проведение гистологического исследования, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Хубецова М.Х. — проведение сканирующей электронной микроскопии и иммуногистохимии, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Шичкова А.Г. — разработка и изготовление опытной модели кератопротеза, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Мочалова А.Е. — разработка и изготовление опытной модели кератопротеза, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации; Трошина А.А. — написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Нероев ВВ, Гундорова РА, Макаров ПВ. Ожоги глаз. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2013. Neroyev VV, Gundorova RA, Makarov PV. Burns to the eyes. Moscow: GEOTAR-Media; 2013 (In Russ.).
2. Ghaffariyeh A, Honarpisheh N, Karkhaneh A, Abudi R, Moroz ZI, Peyman A, Faramarzi A, Abasov F. Fyodorov-Zuev keratoprosthesis implantation: long-term results in patients with multiple failed corneal grafts. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2011 Jan;249(1):93–101. doi: 10.1007/s00417-010-1493-8.
3. Федоров СН, Мороз ЗИ, Зуев ВК. Кератопротезирование. М.: Медицина; 1982:144. Fedorov SN, Moroz ZI, Zuev VK. Keratoprosthetics. Moscow: Medicine; 1982:44 (In Russ.).
4. Мороз ЗИ, Власова ВА, Ковшун ЕВ. История кератопротезирования в МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова. Офтальмохирургия. 2013;4:50–55. Moroz ZI, Vlasova VA, Kovshun EV. History of keratoprosthetics in S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2013;4:50–55 (In Russ.).
5. Малюгин БЭ, Борзенко СА, Ковшун ЕВ. Морфологические изменения роговицы кролика при имплантации новой модели опорной пластинки кератопротеза. Вестник офтальмологии. 2020;136(5):77–86. Malyugin BE, Borzenok SA, Kovshun EV. Morphological changes in rabbit cornea after implantation of a new keratoprosthesis supporting plate. Russian Annals of Ophthalmology. 2020;136(5):77–86. (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202013605177.
6. Karkhaneh A, Mirzadeh H, Ghaffariyeh A, Ebrahimi A, Honarpisheh N, Hosseinzadeh M, Heidari MH. Novel materials to enhance corneal epithelial cell migration on keratoprosthesis. Br J Ophthalmol. 2011 Mar;95(3):405–409. doi: 10.1136/bjo.2009.178632. Epub 2010 Jul 31.
7. Макаров ПВ, Петрова АО, Ченцова ЕВ, Оганесян ОГ, Серов ЮА, Луговкина КВ. Случай спонтанного непроникающего кератопротезирования в процессе многоэтапной имплантации протеза Федорова — Зуева у пациента с тяжёлым химическим ожогом глаз. Российский офтальмологический журнал. 2021;14(2):59–62. Makarov PV, Petrova AO, Chentsova EV, Oganesyanyan OG, Serov YuA, Lugovkina KV. A case of spontaneous non-penetrating keratoprosthesis during multi-

- stage implantation of a Fedorov — Zuev prosthesis in a patient with a severe chemical eye burn. Russian Ophthalmological Journal. 2021;14(2):59–62 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2021-14-2-59-62.
8. Saeed HN, Shanbhag S, Chodosh J. The Boston keratoprosthesis. Curr Opin Ophthalmol. 2017 Jul;28(4):390–396. doi: 10.1097/ICU.0000000000000373.
 9. Dohlman C. The Boston Keratoprosthesis—The First 50 Years: Some Reminiscences. Annu Rev Vis Sci. 2022;8:1–32. doi: 10.1146/annurev-vision-100820-021253.
 10. Avadhanam VS, Smith HE, Liu C. Keratoprostheses for corneal blindness: a review of contemporary devices. Clin Ophthalmol. 2015 Apr 16;9:697–720. doi: 10.2147/OPRN.S27083.
 11. Грищенко МВ, Мясникова ВВ, Нефедов ДА. Протезирование роговицы: от прошлого к будущему. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16(3):141–146. Grishchenko MV, Myasnikova VV, Nefedov DA. Keratoprostheses: from the past to the future. Russian Ophthalmological Journal. 2023;16(3):141–146. (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2023-16-3-141-146.
 12. Мороз ЗИ, Зув ВК, Глазко ВИ. Сравнительная оценка трех видов кератопротезов, имплантированных в ожоговые бельма. Оптикореconstructивные операции и аллопластика в офтальмологии. М., 1974:39–43. Moroz ZI, Zuv VK, Glazko VI. Comparative evaluation of three types of keratoprostheses implanted in burn leukomas // Optical reconstructive operations and alloplasty in ophthalmology. Moscow, 1974:39–43 (In Russ.).
 13. Ghaffariyeh A, Honarpisheh N, Karkhaneh A, Abudi R, Moroz ZI, Peyman A, Faramarzi A, Abasov F. Fyodorov-Zuev keratoprosthesis implantation: long-term results in patients with multiple failed corneal grafts. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2011;249(1):93–101. doi: 10.1007/s00417-010-1493-8.
 14. Пучковская НА, Якименко СА, Голубенко ЕА. Отдаленные результаты кератопротезирования. Офтальмологический журнал. 1979;7:388–391. Puchkovskaya NA, Yakimenko SA, Golubenko EA. Long-term results of keratoprosthetics. Ophthalmological journal. 1979;7:388–391 (In Russ.).
 15. Harissi-Dagher M, Colby KA. Cataract extraction after implantation of a type I Boston keratoprosthesis. Cornea. 2008;27:220–222. doi: 10.1097/ICO.0b013e31815b7d69.
 16. Головин АВ, Колесник АИ, Попов АВ, Манцова ВР, Трошина АА, Прошко АВ. Дифференцированный подход к хирургическому лечению ретропротезной мембраны у пациентов после кератопротезирования. Офтальмология. 2025;22(2):273–281. Golovin AV, Kolesnik AI, Popov AV, Mantsova VR, Troshina AA, Proshko AV. Differentiated Approach in Surgical Treatment of Retroprosthetic Membrane in Patients with Keratoprosthesis. Ophthalmology in Russia. 2025;22(2):273–281 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2025-2-273-281.
 17. Головин АВ, Борзенко СА, Латыпов ИА, Манцова ВР, Трошина АА, Прошко АВ, Кечин ЕВ. Клинико-функциональные результаты имплантации модифицированной опорной пластины кератопротеза Федорова — Зуева пациентам с ожоговыми и терминальными дистрофическими бельмами. Офтальмохирургия. 2025;2s(145): 136–146. doi: 10.25276/0235-4160-2025-2S-136-146. Golovin AV, Borzenok SA, Latypov IA, Mantsova VR, Troshina AA, Proshko AV, Kechin EV. Clinical and functional results of modified Fyodorov — Zuev keratoprosthesis intralaminar plate implantation in patients with corneal leukomas due to burns and severe forms of corneal dystrophies. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2025;2s(145): 136–146. (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2025-2S-136-146.
 18. Головин АВ, Манцова ВР, Трошина АА, Кечин ЕВ, Прошко АВ. Алгоритм расчета диоптрийной силы оптического цилиндра для проведения оптического этапа кератопротезирования. Офтальмология. 2025;22(4):786–794. Golovin AV, Mantsova VR, Troshina AA, Kechin EV, Proshko AV. Algorithm for Calculating the Dioptric Power of an Optical Cylinder for the Optical Stage of Keratoprosthesis Implantation. Ophthalmology in Russia. 2025;22(4):786–794 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2025-4-786-794.
 19. Чернетский ИС, Макаров ПВ, Беляев ДС. Об истории и перспективах кератопротезирования. Российский офтальмологический журнал. 2009;2(2):47–51. Chernetsky IS, Makarov PV, Belyaev DS. About the history and prospects of keratoprosthetics. Russian Ophthalmological Journal. 2009;2(2):47–51 (In Russ.).
 20. Макаров ПВ, Гундорова РА, Ченцова ЕВ, Лепарская НЛ, Кугушева АЭ. Отдаленные результаты кератопротезирования протезом Федорова — Зуева у пациентов с последствиями особо тяжелых ожогов глаз. Современные технологии в офтальмологии. 2020;4:41–42. Makarov PV, Gundorova RA, Chentsova EV, Leparskaya NL, Kugusheva AE. Long-term results of keratoprosthetics with a Fedorov — Zuev prosthesis in patients with particularly severe eye burns. Modern technologies in ophthalmology. 2020;4:41–42 (In Russ.).
 21. Nonpasson M, Niparugs M, Cortina MS. Boston Type 1 Keratoprosthesis: Updated Perspectives. Clin Ophthalmol. 2020 Apr 29;14:1189–1200. doi: 10.2147/OPRN.S219270. PMID: 32425503; PMCID: PMC7196770.
 22. Головин АВ, Трошина АА, Манцова ВР, Прошко АВ. Комплексный подход к хирургическому лечению катаракты у пациентов с сосудистыми бельмами на разных этапах кератопротезирования. Офтальмохирургия. 2025;2(144): 16–28. Golovin AV, Troshina AA, Mantsova VR, Proshko AV. An integrated approach to the surgical treatment of cataracts in patients with vascular leukomas at various stages of keratoprosthesis. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2025;2(144):16–28. (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2025-2-16-28.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Манцова Валерия Романовна
аспирант, врач-офтальмолог

Борзенко Сергей Анатольевич
доктор медицинских наук, профессор кафедры глазных болезней;
академик РАЕН, руководитель центра фундаментальных
медико-биологических проблем

Головин Андрей Владимирович
кандидат медицинских наук, заведующий операционным блоком

Островский Дмитрий Сергеевич
кандидат биологических наук, заведующий лабораторией глазного банк

Шацких Анна Викторовна
кандидат медицинских наук, врач-патологоанатом, заведующая
патологоанатомической лабораторией

Хубецова Мадина Хетаговна
кандидат медицинских наук, заведующая глазным банком

Шичкова Анна Геннадьевна
начальник производства

Мочалова Алла Евгеньевна
доктор химических наук, заместитель директора
по технологическому развитию

Трошина Анна Алексеевна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог

ABOUT THE AUTHORS

Mantsova Valeria R.
postgraduate, ophthalmologist

Borzenok Sergey A.
MD, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences,
head of the Center for Fundamental Medical and Biological Problems

Golovin Alexander V.
PhD, head of the Surgical Unit

Ostrovsky Dmitry S.
PhD in Biology, head of the Eye Bank Laboratory

Shatskikh Anna V.
PhD, head of the Eye Pathology Laboratory

Khubetsova Madina Kh.
PhD, head of the Eye Bank

Shichkova Anna G.
head of Production
Mochalova Alla E.
Doctor of Chemical Sciences, deputy director
for Technological Development

Troshina Anna A.
PhD, ophthalmologist