

# Фемтолазер-ассистированная хирургия первого этапа кератопротезирования. Результаты первых клинических случаев

Б.Э. Малюгин<sup>1,2</sup>А.В. Головин<sup>1</sup>О.Н. Нефедова<sup>1</sup>Ф.Л. Мюллер<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> UCLA Отделение офтальмологии, Институт глаза Штейна  
200 Stein Plaza, CA 90095-7003, Лос-Анджелес, США

<sup>3</sup> Ziemer Ophthalmic Systems AG  
Allmendstrasse 11, CH-2562 Port, Швейцария

## РЕЗЮМЕ

**Офтальмология. 2025;22(1):200–206**

**Цель:** проанализировать анатомические и клинические результаты применения фемтосекундного лазера для выкраивания интрастромального кармана в сосудистом бельме роговицы при проведении первого этапа кератопротезирования. **Пациенты и методы.** Данная статья представляет собой ретроспективный анализ клинических данных 3-х пациентов, которым был проведен первый этап кератопротезирования, а именно имплантация опорной пластины кератопротеза в сформированный с помощью фемтосекундного лазера интрастромальный карман в толще сосудистого бельма роговицы. Для этого после аппланации рукоятки лазера к роговице пациента и при заранее известных данных толщины роговицы производилось позиционирование интрастромального кармана на глубине 2/3 сосудистого бельма, далее выполнялась активация фемтосекундного лазера и формирование интрастромального кармана. После завершения работы лазера производилась ревизия интрастромального кармана и имплантация опорной пластины. **Результаты.** При биомикроскопии и данных оптической когерентной томографии по измерению толщины роговицы в области над и под опорной пластиной кератопротеза в отдаленном послеоперационном периоде на сроке 6 месяцев во всех трех случаях наблюдалось ее стабильное положение без признаков протрузии и смещения, что позволило успешно выполнить второй этап кератопротезирования — установку оптического цилиндра. **Выводы.** Применение фемтосекундного лазера на первом этапе кератопротезирования является возможным, более безопасным и быстрым методом в кератопротезировании сосудистого бельма у пациентов, которым не показана оптическая пересадка роговицы либо трансплантация лимбальных стволовых клеток. Данная технология позволяет сформировать равномерный интрастромальный карман в толще сосудистого бельма роговицы пациента без необходимости трансплантации кератопротезного комплекса, снизить риски протрузии опорной пластины кератопротеза в отдаленном послеоперационном периоде, что в итоге позволяет достичь высокого функционального результата. Помимо этого, применение фемтосекундного лазера на первом этапе кератопротезирования дает возможность сократить общее время операции и делает данную технологию доступной для широкого применения в клинике.

**Ключевые слова:** кератопротезирование, протрузия кератопротеза, фемтосекундный лазер, первый этап кератопротезирования

**Для цитирования:** Малюгин Б.Э., Головин А.В., Нефедова О.Н., Мюллер Ф.Л. Фемтолазерассистированная хирургия первого этапа кератопротезирования. Результаты первых клинических случаев. *Офтальмология*. 2025;22(1):200–206. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-1-200-206>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Ф.Л. Мюллер является работником компании «Ziemer Ophthalmic Systems AG».

**Благодарность:** выражается благодарность инженерам И.Н. Елетину и Е.Д. Горшкову за совместное сотрудничество и техническое сопровождение операций.

**Конфликт интересов отсутствует.**



# Femtolaser Assisted Surgery of the First Stage of Keratoprosthesis. Results of the First Clinical Cases

B.E. Malyugin<sup>1,2</sup>, A.V. Golovin<sup>1</sup>, O.N. Nefedova<sup>1</sup>, F. Müller<sup>3</sup>

<sup>1</sup> S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Beskudnikovskiy blvd, 59A, Moscow, 127486, Russian Federation

<sup>2</sup> UCLA Department of Ophthalmology, Stein Eye Institute  
Stein Plaza, 200, CA 90095-7003, Los Angeles, USA

<sup>3</sup> Ziemer Ophthalmic Systems AG  
Allmendstrasse, 11, CH-2562 Port, Switzerland

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2025;22(1):200–206**

**Purpose:** to evaluate the anatomical and clinical results of using femtosecond laser for cutting out an intrastromal pocket in a vascular leucoma during the first stage of keratoprosthesis. **Patients and methods.** This article is a retrospective analysis of 3 patients who underwent the first stage of keratoprosthesis the implantation of a keratoprosthesis supporting plate into an intrastromal pocket formed using femtosecond laser in the thickness of a vascular leucoma. After applanation of the laser handle to the patient's cornea and previously known data on the thickness of the cornea, the intrastromal pocket was positioned at a depth of 2/3 of the vascular leucoma, then the femtosecond laser was activated and the intrastromal pocket was formed. After the laser work was completed, the intrastromal pocket was revised and the supporting plate was implanted. **Results.** When biomicroscopy and optical coherence tomography data measured the thickness of the cornea in the area above and below the supporting plate of the keratoprosthesis in the long-term postoperative period at a period of 6 months, in all three cases, we observe the stable position of keratoprosthesis supporting plate without any signs of protrusion and displacement. This fact made it possible to successfully perform the second stage of keratoprosthesis — installation of an optical cylinder. **Conclusions.** The use of a femtosecond laser at the first stage of keratoprosthesis is a possible, safe and faster method in keratoprosthetics of vascular leucoma in patients whom optical corneal transplantation or limbal stem cell transplantation are not indicated. This technology makes it possible to form an intrastromal pocket uniformly in the thickness of the vascular leucoma of the patient's cornea without the need for transplantation of the keratoprosthetic complex, reducing the risks of protrusion of the keratoprosthetic supporting plate in the long-term postoperative period, which ultimately allows achieving a high functional result. In addition, the use of a femtosecond laser at the first stage of keratoprosthesis reduces the overall operation time and makes this technology available for widespread use in the clinic.

**Keywords:** keratoprosthesis, protrusion of keratoprosthesis, femtosecond laser, first stage of keratoprosthesis

**For citation:** Malyugin B.E., Golovin A.V., Nefedova O.N., Müller F.L. Femtolaser Assisted Surgery of the First Stage of Keratoprosthesis. Results of the First Clinical Cases. *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(1):200–206. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-1-200-206>

**Financial disclosure:** F. Müller is employee of Ziemer Ophthalmic Systems AG.

**Gratitude:** gratitude is expressed to engineers I.H. Eletin and E.D. Gorshkov for cooperation and technical support of operations.

**There is no conflict of interests.**

## ВВЕДЕНИЕ

Стандартная установка кератопротеза в сосудистое бельмо является двухэтапной операцией. На первом этапе опорную пластину кератопротеза имплантируют в интрастромальный карман (ИСК) роговицы пациента, сформированный мануально микрохирургическими инструментами, такими как лезвие, нож-расслаиватель, различные виды шпателей. Спустя 6 месяцев после сращения опорной пластины кератопротеза с собственными тканями сосудистого бельма роговицы выполняют второй этап кератопротезирования, заключающийся в проведении сквозной трепанации бельма и вкручивании оптического цилиндра в предназначенное для него отверстие опорной пластины кератопротеза для восстановления зрительных функций глаза [1, 2].

Наиболее распространенным и серьезным осложнением кератопротезирования является асептический некроз как ответ местных тканей на присутствие

инородного объекта, для которого характерно прогрессирующее течение, плохой ответ на проводимое лечение и протрузия кератопротеза в исходе. Современные разрабатываемые модели опорной пластины из нового материала, внедряемого в производство кератопротезов, для интеграции с собственными тканями могут снизить процент асептических некрозов и дальнейшей протрузии кератопротеза [3], однако в настоящее время получены лишь экспериментальные данные, касающиеся применения новых материалов, клинические результаты еще не опубликованы.

Развитие протрузии кератопротеза в отдаленном послеоперационном периоде занимает центральное место в проблеме кератопротезирования, а разработка методов его профилактики и лечения является одним из основных направлений в кератопротезировании [4–11]. Несмотря на наличие современных способов профилактики протрузии [12], например при использовании

B.E. Malyugin, A.V. Golovin, O.N. Nefedova, F. Müller

Contact information: Nefedova Olga N. [dr.olganefedova@gmail.com](mailto:dr.olganefedova@gmail.com)

Femtolaser Assisted Surgery of the First Stage of Keratoprosthesis. Results of the First Clinical Cases

аутотканей, в частности фасции височной мышцы, не всегда удается вовремя диагностировать протрузию и своевременно произвести необходимую операцию. К сожалению, зачастую многие пациенты обращаются в клинику уже с тотальным вывихом опорной пластины кератопротеза, и укрепление бельма в таком случае нецелесообразно.

Формированию протрузии способствует неравномерная толщина ткани бельма над кератопротезом из-за погрешностей, связанных с мануальным формированием интрастромального кармана в толще непрозрачного сосудистого бельма роговицы. Во многих современных операциях имеются микроскопы с встроенной высокоточной системой визуализации — интраоперационной оптической когерентной томографией (ОКТ), позволяющей улучшить обзор в непрозрачных средах, однако мануальное формирование ИСК с применением данных систем не всегда гарантирует его равномерность относительно толщины сосудистого бельма, не исключается формирование так называемых «ложных ходов» и ятрогенная перфорация роговицы.

Известно, что с помощью фемтосекундного лазера (ФСЛ) возможно производить диссекцию тканей точно и равномерно [13, 14]. Современные ФСЛ используются при проведении различных видов кератопластики для формирования роговичных туннелей, при операциях по поводу птеригиума, катаракты [15–20], синдроме лимбальной недостаточности [21–24]. Недавние работы выявили потенциальную возможность использования ФСЛ у пациентов с непрозрачной роговицей [25].

Особенность лазера Femto LDV Z8 (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Швейцария) в том, что для рассечения ткани в нем используется низкая энергия в диапазоне  $nJ$  (нДж), при этом генерация импульсов происходит с высокой частотой (до 10 МГц). Для получения качественного реза ткани роговицы — полноценного и с минимальным уровнем шероховатости — лазерная энергия доставляется в виде импульсов (точек), располагаемых так, что край одной точки накладывается на край следующей, исключая образование соединительнотканых мостиков. В момент контакта энергетических импульсов с тканью образуется плазма, которая является основным источником для рассечения ткани [26]. К преимуществам LDV Z8 также относятся компактные размеры, мобильность лазера и его рукоятки, обеспечивающие выполнение апланации под любым углом и высотой, а также встроенная система интраоперационной визуализации на основе ОКТ. Мы предположили, что использование ФСЛ на этапе формирования ИСК при первом этапе кератопротезирования является перспективным направлением, а именно, увеличит безопасность и скорость хирургических манипуляций и будет превосходить мануальную технику, использующую механические расслаиватели. Это позволит преодолеть практические

ограничения и избежать возникновения протрузий опорной пластины кератопротеза в отдаленном послеоперационном периоде.

**Цель:** проанализировать применение новой технологии выполнения первого этапа кератопротезирования, заключающегося в формировании ИСК в сосудистом бельме роговицы пациента с помощью ФСЛ.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Разработанная технология была использована у трех пациентов с бельмом роговицы, возникшим в результате химического ожога либо неэффективной неоднократной кератопластики. Клинически данное состояние сопровождалось васкуляризацией роговицы, наличием фиброваскулярного pannusa, что привело к полному отсутствию предметного зрения. Ранее имплантацию кератопротеза у пациентов не выполняли.

Диагностические методы включали биомикроскопию переднего отрезка глазного яблока (с использованием щелевой лампы модели SL-30 фирмы «Opton», Германия), визометрию (проектор знаков АСР 8, «Торсон», Япония) и фороптер CV5000, «Торсон», Япония), тонометрию (главным образом, пальпаторно), определение электрофизиологических показателей сетчатки и зрительного нерва (порог электрической чувствительности и электрическая лабильность), измерение толщины бельма роговицы (с помощью оптического когерентного томографа (ОКТ) Visante OCT (Carl Zeiss, Германия), ультразвуковую биомикроскопию для определения положения капсульного мешка, хрусталика или ИОЛ, оценки состояния связочного аппарата хрусталика, а также ультразвуковое В-сканирование (аппарат «UD-6000 Tomey», Япония) с целью исключения гемофтальма, отслойки сетчатки, внутриглазных образований, определения состояния диска зрительного нерва.

При проведении первого этапа кератопротезирования был использован фемтосекундный лазер Femto LDV Z8 (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Швейцария). При совместном сотрудничестве с инженерами компании Ziemer для достижения оптимальной работы фемтосекундного лазера заранее была увеличена мощность генерации импульсов лазера.

Все манипуляции производились одним хирургом. Показанием для проведения лечения по данной технологии было наличие относительно равномерного сосудистого бельма толщиной не менее 650 мкм, что позволяет имплантировать опорную пластину кератопротеза непосредственно в бельмо пациента (первый этап кератопротезирования).

Пациенты были обследованы до операции и через 6 месяцев после операции. Критериями оценки служили интра- и послеоперационные осложнения, показатели остроты зрения, толщина бельма и интрастромальное положение опорной пластины кератопротеза по данным ОКТ.

## ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Особенностью новой разработанной технологии проведения первого этапа кератопротезирования явилось использование низкоэнергетического ФСЛ при формировании ИСК в толще бельма роговицы. Технология должна обеспечивать быстрое по времени, прецизионное по локализации и равномерное по толщине формирование ИСК для размещения опорной пластины благодаря встроенной системе ОКТ, увеличенным параметрам энергии ФСЛ и конфигурации траектории работы ФСЛ, выбранной непосредственно под параметры опорной пластины кератопротеза.

Перед процедурой всем пациентам была проведена ретробульбарная анестезия и разработана траектория работы фемтосекундного лазера, не имеющая аналогов в мире.

До этапа апланации ФСЛ производился расчет глубины расположения ИСК. Для этого оценивали толщину и равномерность сосудистого бельма на основе дооперационного обследования методом ОКТ роговицы с кератопахиметрической картой, а также измерение толщины бельма с помощью интраоперационного ОКТ, встроенного в микроскоп. Согласно полученным данным производился расчет глубины расположения ИСК, который составлял 2/3 от общей толщины роговицы.

В начале операции опорную пластину кератопротеза помещали на поверхность сосудистого бельма роговицы, центровали и вокруг нее проводили разметку с помощью медицинского маркера для обозначения будущей зоны расположения ИСК.

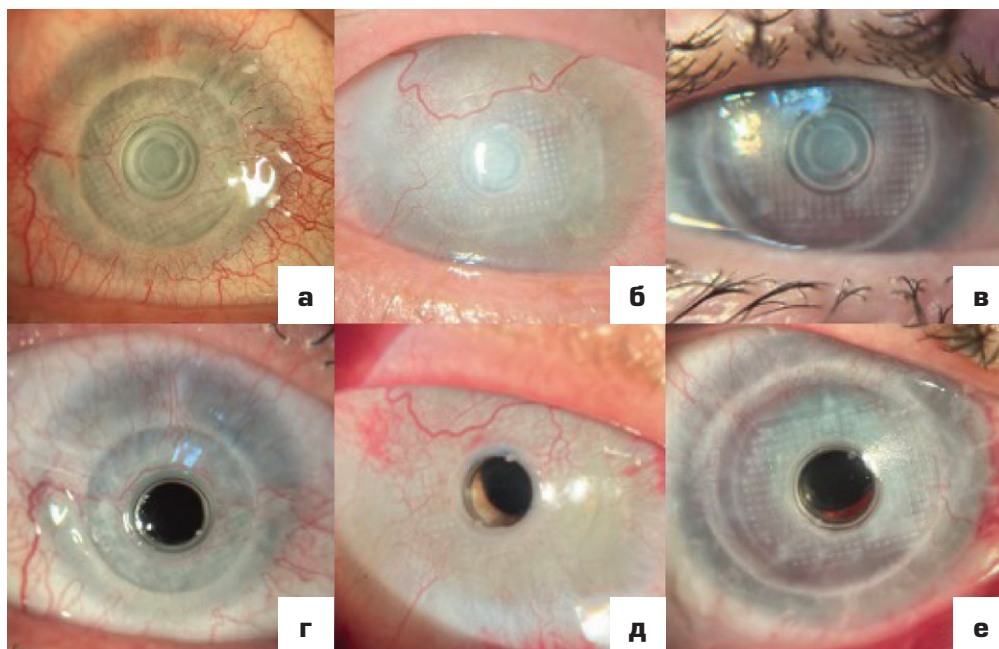
После полной апланации рукоятки ФСЛ к роговице пациента осуществляли центральное позиционирование будущего профиля ИСК вручную на экране лазера по проведенной разметке на поверхности сосудистого бельма, а также позиционировали расположение ИСК по глубине согласно результатам расчета, описанным выше. После этого с увеличенной мощностью энергии ФСЛ производили формирование ИСК на глубине 2/3 стромы роговицы в соответствии с параметрами опорной пластины кератопротеза (длина 6,5 мм, ширина 5,5 мм) и выход-

ным отверстием шириной 5,5 мм справа от проекции ИСК. Общее время работы ФСЛ составляло 40 секунд. После удаления рукоятки ФСЛ с роговицы производили мануальный контроль сформированного ИСК и расщепление остаточных единичных соединительнотканых мостиков. Для лучшей визуализации качества сформированного кармана, а также получения точных пахиметрических данных роговицы перед этапом фемто-расплаивания применяли операционный микроскоп со встроенной интраоперационной системой ОКТ (Haag-Streit Surgical, Германия). Перед моментом имплантации опорной пластины в ИСК вводили когезивный вискоэластик для точного контроля глубины его расположения при помощи ОКТ. После этого при помощи микрохирургического пинцета производили имплантацию опорной пластины кератопротеза в сформированный карман. Операцию завершали фиксацией наружного отверстия входного тоннеля, служащего входным отверстием в ИСК, отдельными узловыми швами нитью 10-0 нейлон.

## ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Интраоперационных осложнений в ходе формирования и трансплантации кератопротезного комплекса у пациентов отмечено не было. Ранний послеоперационный период протекал во всех случаях без особенностей.

В послеоперационном периоде у пациентов проводили инстилляцию капель в течение первых двух недель в оперированный глаз Sol. Levofloxacin 0,005 % 4 раза в день, Gel. Dexpanthenoli 5 % 4 раза в день, Sol. Dexamethasoni 0,4 % 4 раза в день первые 7 дней и далее по убывающей схеме.



**Рис. 1.** Серия фото представленных клинических случаев (описание в тексте)

**Fig. 1.** Series of photos of presented clinical cases (description in the text)

## КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 1

Мужчина, 69 лет, обратился в клинику после проведенной в 2010 г. на OD экстракции катаракты с имплантацией ИОЛ и в 2020 г. сквозной кератопластики. На момент осмотра наблюдалась полная декомпенсация трансплантата, сопровождающаяся его помутнением и васкуляризацией. Острота зрения (ОЗ) OD — правильная светопроекция. В проведении повторной кератопластики на OS пациенту было отказано по причине дисфункции цилиарного тела, OS — субатрофия по причине тотальной отслойки сетчатки с 2009 г. Электрофизиологические показатели сетчатки и зрительного нерва на OD были на уровне следующих значений: порог электрической чувствительности (мкА) OD — 200, электрическая лабильность OD — 22. Толщина роговицы была равномерной и в среднем составляла 782 мкм в зоне 0–2 мм от центра роговицы, в периферической зоне 5–7 мм — в среднем 901 мкм. Учитывая достаточную толщину и прозрачность роговицы, принято решение о проведении первого этапа кератопротезирования с помощью ФСЛ. Через 10 месяцев опорная пластина кератопротеза занимала центральное положение и располагалась равномерно в строме роговицы (рис. 1а), что позволило успешно установить оптический цилиндр (рис. 1г). ОЗ в раннем послеоперационном периоде составила 0,2.

## КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 2

59-летний мужчина обратился в клинику с двусторонним тотальным синдромом лимбальной недостаточности вследствие химического ожога раствором щелочи в 2019 г. Некорригированная ОЗ — proectio lucis certa для OD и счет пальцев у лица на OS. Электрофизиологические показатели сетчатки и зрительного нерва на OD и OS были на уровне следующих значений: порог электрической чувствительности (мкА) OD — 75, OS — 70, электрическая лабильность OD — 35, OS — 34, толщина роговицы 930 мкм в центральной зоне и 1200 мкм в периферической зоне сосудистого бельма. Сопутствующие заболевания глаз включали синдром сухого глаза легкой степени и вторичную гипертензию, для коррекции которой пациент получал гипотензивные капли (Азопт 2 % 2 раза в день). О системных сопутствующих заболеваниях не сообщалось.

Первый этап кератопротезирования на OD был успешно проведен с применением ФСЛ. Положение опорной пластины кератопротеза сохранялось стабильным на протяжении 6 месяцев (рис. 1б), что позволило установить оптический цилиндр (рис. 1д). В данном случае на втором этапе кератопротезирования одновременно был удален собственный хрусталик методом экстракции катаракты через отверстие оптического цилиндра. Пациент находился под наблюдением в стационаре 7 дней и дополнительно получал инъекции Дексаметазона 0,3 % 0,3 мл и Кофеина 0,1 % 0,1 мл 2 раза в день по поводу послеоперационной гипотонии. На 3-й день удалось достигнуть нормотонии. На 7-й день некорригированная ОЗ составила 0,6.

## КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ 3

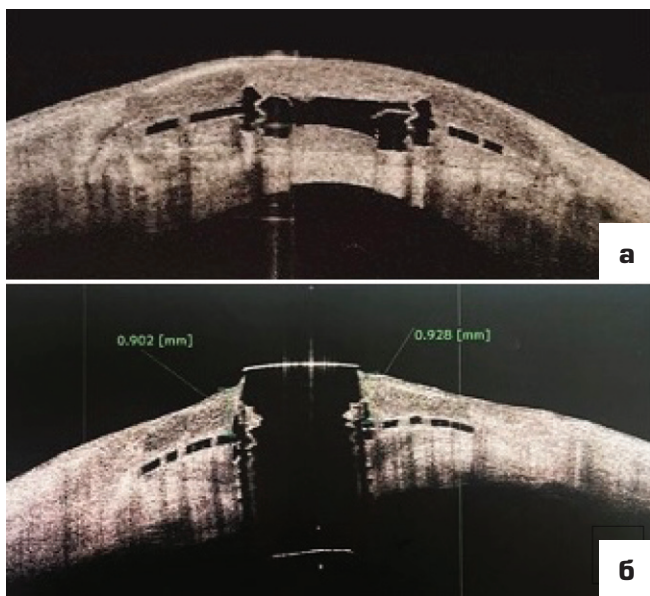
Женщина, 55 лет, поступила в клинику с двусторонним помутнением роговицы. В анамнезе двусторонний синдром лимбальной недостаточности, врожденная аниридия, врожденная катаракта, горизонтальный нистагм. В 2002 г. проведена экстракция катаракты с имплантацией интраокулярной линзы на OD, после этого в 2005 г. — сквозная кератопластика по поводу вторичной эпителиально-эндотелиальной дистрофии роговицы, в 2016 г. — микроинвазивная непроникающая глубокая склерэктомия по поводу вторичной глаукомы с последующей рекератопластикой на OD. С 2017 г. пациентка длительно лечилась по поводу болезни трансплантата на OD, однако лечение оказалось неэффективным. На OS в 2006 г. произведена имплантация искусственной радужки и ИОЛ, с 2022 г. наблюдалось развитие эпителиально-эндотелиальной дистрофии роговицы и вторичной глаукомы.

На момент осмотра пациентка проходила медикаментозную гипотензивную терапию (Азопт 2 % 2 раза в день). На период обращения некорригированная ОЗ на оба глаза составляла 0,01. Электрофизиологические показатели сетчатки и зрительного нерва на OD и OS были на уровне следующих значений: порог электрической чувствительности (мкА) OD — 145, OS — 80, электрическая лабильность OD — 32, OS — 39. Учитывая относительную прозрачность роговицы на OS, отказ в проведении трансплантации буккального эпителия из-за гипотензивной терапии и вторичной глаукомы, принято решение о выполнении кератопротезирования на OD. По данным ОКТ, средняя толщина роговицы в центре (0–2 мм) составила 760 мкм, на периферии (5–7 мм) — 833 мкм.

Исходя из равномерной толщины роговицы OD и ее достаточной толщины (не менее 650 мкм) принято решение о проведении первого этапа кератопротезирования, а именно, имплантации опорной пластины кератопротеза непосредственно в роговицу пациента. На 7-е сутки сняли контактную линзу. При биомикроскопии боковые швы роговицы состоятельны, опорная пластина занимала центральное правильное положение (рис. 1в). Через 9 месяцев после операции положение опорной пластины оставалось стабильным, о чем свидетельствовали данные ОКТ (толщина роговицы над опорной пластиной в средней в центральной зоне равнялась 434 мкм, под опорной пластиной 230 мкм). После проведения второго этапа кератопротезирования (установка оптического цилиндра) (рис. 1е), максимальная некорригированная ОЗ OD составила 0,3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Было обнаружено, что положение опорной пластины кератопротеза на протяжении всего срока (в среднем 8 месяцев) наблюдения во всех случаях оставалось стабильным (рис. 2). Таким образом, с помощью использования ФСЛ при выкраивании ИСК на первом этапе



**Рис. 2.** Расположение опорной пластины кератопротеза после первого (а) и второго (б) этапов кератопротезирования. Фото OCT-Visante

**Fig. 2.** Location of the keratoprosthesis supporting plate after the first (a) and second (b) stages of keratoprosthesis. Photo by OCT-Visante

кератопротезирования были достигнуты обнадеживающие положительные результаты. Клинический случай 2 продемонстрировал наиболее заметное улучшение, несмотря на выраженный по плотности фиброваскулярный паннус на поверхности роговицы после полученного химического ожога. В случаях 1 и 3 улучшение было менее значительным. Следует отметить, что оперируемый глаз характеризовался серьезной сопутствующей патологией, включая дисфункцию цилиарного тела (в случае 1) и вторичную глаукому (в случае 3); низкие показатели электрофизиологических показателей сетчатки и диска зрительного нерва. В случае 1 в ходе операции было отмечено, что из-за наличия значительного уплотнения ткани в месте послеоперационного рубца после проведенной несколько лет назад сквозной кератопластики при формировании ИСК с помощью ФСЛ потребовалась дополнительная диссекция зоны послеоперационного рубца микрохирургическим лезвием для успешной имплантации опорной пластины кератопротеза.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Современная методика кератопротезирования с 1990-х годов. предусматривает имплантацию опорной пластины кератопротеза в виде кератопротезного комплекса, аналогично Бостонской модели, используемой при истонченных бельмах роговицы [5]. Однако при оптимальной толщине роговицы возможна имплантация опорной пластины кератопротеза в собственные ткани сосудистого бельма без необходимости проведения сквозной кератопластики с целью дальнейшей трансплантации кератопротезного комплекса, что потенциально может нести в себе риски

в случае единственного глаза. Выкраивание ИСК в толще непрозрачного сосудистого бельма мануально является сложной задачей даже для опытного хирурга.

В соответствии с ретроспективными наблюдениями применение ФСЛ на первом этапе кератопротезирования обеспечивает хороший функциональный результат в отдаленном послеоперационном периоде, о чем свидетельствует отсутствие интра- и послеоперационных осложнений. Использование ФСЛ для формирования ИСК сокращает общее время операции, облегчает работу хирурга и минимизирует интраоперационные риски. Среднее время формирования ИСК, как правило, составляет 30–40 минут. В случае использования ФСЛ формирование ИСК происходит за 40 секунд. Во всех случаях формирование ИСК производилось без каких-либо повреждений собственной роговицы, а единично встречающиеся соединительнотканые мостики рассекали шпателем либо лезвием перед имплантацией опорной пластины кератопротеза.

Безусловно, одним из преимуществ данной методики является стабильное центральное положение опорной пластины кератопротеза благодаря равномерно сформированному на заданной глубине ИСК. Это обеспечивает уверенные оптико-реконструктивные манипуляции в передней камере в ходе второго этапа кератопротезирования, в том числе включая экстракцию катаракты, рассечение фиброзных пленок/мембран, установку оптического цилиндра кератопротеза, что повышает функциональные показатели зрения у пациентов и снижает риски протрузии кератопротеза в будущем.

Проведенная работа по оптимизации энергетических и топографических параметров позволила добиться идеальной конфигурации сформированного интрастромального кармана и его входного тоннеля, а также практически исключить вероятность возникновения в нем соединительнотканых перемычек.

## ВЫВОДЫ

Новая технология применения ФСЛ на первом этапе кератопротезирования позволит использовать ее в более широких масштабах, поскольку значительно облегчает формирование ИСК в толще непрозрачного сосудистого бельма без необходимости трансплантации кератопротезного комплекса (при условии толщины сосудистого бельма не менее 650 мкм). Предлагаемый усовершенствованный подход значительно упрощает кератопротезирование сосудистого бельма и делает процедуру более безопасной по сравнению с мануальной методикой.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Малюгин Б.Э. — научное редактирование и окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;  
Головин А.В. — существенный вклад в концепцию, разработка траектории работы фемтосекундного лазера, хирургическое осуществление работы, научное редактирование и окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;  
Нефедова О.Н. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, разработка траектории работы фемтосекундного лазера, хирургическая ассистенция, сбор, анализ и обработка материала, написание текста;  
Мюллер Ф.Л. — разработка траектории работы фемтосекундного лазера, научное редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Макаров ПВ, Гундорова РА, Чернетский ИС. Оптическое кератопротезирование протезами Федорова — Зуева у пациентов, перенесших особо тяжелые ожоги глаз. Офтальмохирургия. 2007;3:20–23. Makarov PV, Gundorova RA, Chernetsky IS. Optical keratoprosthetics using Fedorov-Zuev prostheses in patients who suffered particularly severe eye burns. Ophthalmosurgery. 2007;3:20–23 (In Russ.).
- Федоров СН, Мороз ЗИ, Зуев ВК. Кератопротезирование. М.: Медицина, 1982. 144 с. Fedorov SN, Moroz ZI, Zuev VK. Keratoprosthetics. Moscow: Medicine, 1982, 144 p. (In Russ.).
- Малюгин БЭ, Борзенко СА, Ковшун ЕВ, Головин АВ, Шацких АВ, Энкина АВ, Островский ДС, Белодедова АВ, Джонс ММ. Морфологические изменения роговицы кролика при имплантации новой модели опорной пластинки кератопротеза. Вестник офтальмологии. 2020;136(5):77–86. Malyugin BE, Borzenok SA, Kovshun EV, Golovin AV, Shatskikh AV, Enkina AV, Ostrovsky DS, Belodedova AV, Jones MM. 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.
- Федоров СН, Мороз ЗИ, Ковшун ЕВ. Новый способ кератопротезирования истонченных сосудистых бельм. Офтальмохирургия. 1995;2:50–53. Fedorov SN, Moroz ZI, Kovshun EV. A new method of keratoprosthesis for thinned vascular lesions. Ophthalmosurgery. 1995;2:50–53 (In Russ.).
- Волков ВВ, Ушаков НА. Осложнения после операции кератопротезирования, предупреждение и лечение их. Офтальмологический журнал. 1976;8:569–573. Volkov VV, Ushakov NA. Complications after keratoprosthesis surgery, their prevention and treatment. Journal of Ophthalmology (Ukraine). 1976;8:569–573 (In Russ.).
- Волков ВВ, Ушаков НА. О выборе рационального способа укрепления бельма в интересах сквозного кератопротезирования. Вопросы восстановительной офтальмологии: Труды БМОЛА. Л., 1972. С. 37–39. Volkov VV, Ushakov NA. On the choice of a rational method of strengthening the cataract in the interests of penetrating keratoprosthesis. Issues of restorative ophthalmology: Proceedings of BMOA. Leningrad, 1972. P. 37–39 (In Russ.).
- Гундорова РА, Малаев АА. Отдаленные результаты оптического 120 кератопротезирования. Офтальмологический журнал. 1979;7:396–399. Gundorova RA, Malaev AA. Long-term results of optical 120 keratoprosthesis. Journal of Ophthalmology (Ukraine). 1979;7:396–399 (In Russ.).
- Aldave AJ, Sangwan VS, Basu S, Basak SK, Hovakimyan A, Gevorgyan O, Kharashi SA, Jindan MA, Tandon R, Mascarenhas J, Malyugin B, Padilla MD, Maskati Q, Agarwala N, Hutaurok J, Sharma M, Yu F. International results with the Boston type I keratoprosthesis. Ophthalmology. 2012 Aug;119(8):1530–1538. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.02.015.
- Chan CC, LoVerde L, Qiang J, Nordlund ML, Holland EJ. Incidence, Risk Factors, and Surgical Management of Boston Type I Keratoprosthesis Corneal Melts, Leaks, and Extrusions. Cornea. 2016 Aug;35(8):1049–1056. doi: 10.1097/ICO.0000000000000911.
- Tan A, Tan DT, Tan XW, Mehta JS. Osteo-odonto keratoprosthesis: systematic review of surgical outcomes and complication rates. Ocul Surf. 2012 Jan;10(1):15–25. doi: 10.1016/j.jtos.2012.01.003.
- Riau AK, Liu Y-C, Lwin NC. Comparative study of nJ- and µJ-energy level femtosecond lasers: evaluation of flap adhesion strength, stromal bed quality, and tissue responses. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014;55:3186–3194. doi: 10.1167/iovs.14-14434.
- Катаев МГ, Головин АВ, Нефедова ОН, Трофимова ИЮ. Укрепление бельма аутооттрансплантатом височной фасции при кератопротезировании. Офтальмохирургия. 2024;2(139):43–51. Kataev MG, Golovin AV, Nefedova ON, Trofimova IYu. Dependable covering of keratoprosthesis with temporal fascia autograft. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2024;2(139):43–51 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2024-2-43-51.
- Kim JH, Lee D, Rhee KI. Flap thickness reproducibility in laser in situ keratomileusis with a femtosecond laser: optical coherence tomography measurement. J Cataract Refract Surg. 2008 Jan;34(1):132–136. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.08.036.
- Sarayba MA, Ignacio TS, Tran DB, Binder PS. A 60 kHz IntraLase femtosecond laser creates a smoother LASIK stromal bed surface compared to a Zyoptix XP mechanical microkeratome in human donor eyes. J Refract Surg. 2007 Apr;23(4):331–337. doi: 10.3928/1081-597X-20070401-04.
- Terry MA, Ousley PJ, Will B. A practical femtosecond laser procedure for DLEK endothelial transplantation: cadaver eye histology and topography. Cornea. 2005 May;24(4):453–459. doi: 10.1097/01.ico.0000151509.57189.6f.
- Seitz B, Brünner H, Viestenz A, Hofmann-Rummelt C, Schlötzer-Schrehardt U, Naumann GO, Langenbucher A. Inverse mushroom-shaped nonmechanical penetrating keratoplasty using a femtosecond laser. Am J Ophthalmol. 2005 May;139(5):941–944. doi: 10.1016/j.ajo.2004.11.028.
- Meltendorf C, Schroeter J, Bug R, Kohnen T, Deller T. Corneal trephination with the femtosecond laser. Cornea. 2006 Oct;25(9):1090–1092. doi: 10.1097/01.ico.0000228784.46463.e9.
- Holzer MP, Rabsilber TM, Auffarth GU. Penetrating keratoplasty using femtosecond laser. Am J Ophthalmol. 2007 Mar;143(3):524–526. doi: 10.1016/j.ajo.2006.08.029.
- Sarayba MA, Maguen E, Salz J, Rabinowitz Y, Ignacio TS. Femtosecond laser keratome creation of partial thickness donor corneal buttons for lamellar keratoplasty. J Refract Surg. 2007 Jan;23(1):58–65. doi: 10.3928/1081-597X-20070101-10.
- Steinert RF, Ignacio TS, Sarayba MA. “Top hat”-shaped penetrating keratoplasty using the femtosecond laser. Am J Ophthalmol. 2007 Apr;143(4):689–691. doi: 10.1016/j.ajo.2006.11.043.
- Малюгин БЭ, Борзенко СА, Нефедова ОН, Герасимов МЮ. К вопросу о трансплантации лимбальных эпителиальных стволовых клеток при одностороннем синдроме лимбальной недостаточности. Обзор литературы. Офтальмология. 2023;20(4):601609. Malyugin BE, Borzenok SA, Nefedova ON, Gerasimov MYu. Limbal Epithelial Stem Cells Transplantation in Cases with Unilateral Limbal Stem Cell Deficiency Syndrome. Ophthalmology in Russia. 2023;20(4):601–609 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2023-4-601-609.
- Малюгин БЭ, Борзенко СА, Нефедова ОН, Островский ДС, Герасимов МЮ, Шацких АВ. Сравнительный анализ механического и фемтолазер-ассистированного методов выкраивания лимбальных мини-трансплантатов в эксперименте. Офтальмохирургия. 2024;142(1):66–77. Malyugin BE, Borzenok SA, Nefedova ON, Ostrovskii DS, Gerasimov MYu, Shatskikh AV. Experimental study of manual and femtosecond laser-assisted methods for cutting limbal mini-transplants. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2024;142(1):66–77 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-66-77.
- Нефедова ОН, Малюгин БЭ, Борзенко СА, Герасимов МЮ, Островский ДС, Шацких АВ. Оценка безопасности применения фемтосекундного лазера для выкраивания лимбальных трансплантатов роговицы. Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2023;25(4):160–173. Nefedova ON, Malyugin BE, Borzenok SA, Gerasimov MYu, Ostrovsky DS, Shatskikh AV. Safety assessment of the femtosecond laser in corneal limbal graft excision. Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs. 2023;25(4):160–173 (In Russ.). doi: 10.15825/1995-1191-2023-4-160-173.
- Малюгин БЭ, Герасимов МЮ, Борзенко СА, Головин АВ. Клеточная хирургия при дисфункции стволовых клеток лимба. Офтальмохирургия. 2019;142(1):66–77. Malyugin BE, Gerasimov MYu, Borzenok SA, Golovin AV. Simple limbal epithelial transplantation. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2019;142(1):66–77 (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-66-77.
- Kim JH, Yum JH, Lee D, Oh SH. Novel technique of corneal biopsy by using a femtosecond laser in infectious ulcers. Cornea. 2008 Apr;27(3):363–365. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181606070.
- Riau AK, Liu Y-C, Lwin NC. Comparative study of nJ- and µJ- energy level femtosecond lasers: evaluation of flap adhesion strength, stromal bed quality, and tissue responses. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014;55:3186–3194. doi: 10.1167/iovs.14-14434.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малюгин Борис Эдуардович  
доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой заболеваний роговицы глазного института Штейна и медицинской школы Дэвида Геффена  
<https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

Головин Андрей Владимирович  
кандидат медицинских наук, заведующий операционным блоком  
<https://orcid.org/0000-0001-7577-1289>

Нефедова Ольга Николаевна  
аспирант, врач-офтальмолог  
<https://orcid.org/0000-0002-2126-000X>

Фабан Лукас Мюллер  
кандидат технических наук, директор по клиническим исследованиям и применению  
<https://orcid.org/0000-0001-5732-7918>

## ABOUT THE AUTHORS

Malyugin Boris E.  
MD, Professor of Ophthalmology, Joan & Jerome Snyder Endowed Chair in Cornea Diseases, Stein Eye Institute David Geffen and School of Medicine at UCLA  
<https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

Golovin Andrey V.  
PhD, head of the surgery unit  
<https://orcid.org/0000-0001-7577-1289>

Nefedova Olga N.  
postgraduate, ophthalmologist  
<https://orcid.org/0000-0002-2126-000X>

Fabian Lukas Müller  
PhD, Director Clinical Research&Application  
<https://orcid.org/0000-0001-5732-7918>

**Б.Э. Малюгин, А.В. Головин, О.Н. Нефедова, Ф.Л. Мюллер**

Контактная информация: Нефедова Ольга Николаевна [dr.olganefedova@gmail.com](mailto:dr.olganefedova@gmail.com)

**Фемтолазер-ассистированная хирургия первого этапа кератопротезирования. Результаты...**