

## ОФТАЛЬМОЛОГИЯ OPHTHALMOLOGY

### ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОГОВИЧНЫХ ЛЕНТИКУЛ В ХИРУРГИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ РОГОВИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Бойко Э.В.<sup>1, 2, 3</sup>,  
Титов А.В.<sup>1</sup>,  
Масян Я.И.<sup>1</sup>,  
Мирсаитова Д.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России (192283, г. Санкт-Петербург, ул. Ярослава Гашека, 21, Россия)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России (191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41, Россия)

<sup>3</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России (194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, Россия)

Автор, ответственный за переписку:  
**Масян Янек Иванович**,  
e-mail: yanick.masian@gmail.com

#### РЕЗЮМЕ

В данном обзоре мы провели анализ отечественной и иностранной литературы по использованию роговичной лентиккулы, полученной путём кераторефракционной хирургии по технологии SMILE (SMall Incision Lenticula Extraction). Активно ведутся исследования по применению лентиккулы в рефракционных целях: для коррекции гиперметропии (LIKE – Lenticular Intrastromal Keratoplasty), для коррекции пресбиопии (PEARL – PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule). Немало работ посвящено использованию лентиккулярной ткани для лечения кератэктазий различного генеза. Так, ряд авторов для лечения кератоконуса предлагают имплантацию лентиккулы в сформированный фемтолазером роговичный карман реципиента (SLAK – Stromal lenticule addition keratoplasty). Описаны клинические случаи комбинированного лечения: имплантации лентиккулы и роговичных интрастромальных сегментов для лечения пеллюцидной дегенерации роговицы. Большое количество работ посвящено применению лентиккул для тектонического покрытия язвенных дефектов, краевых истончений при язве Мурена. Описаны отдельные клинические случаи использования роговичной лентиккулы для покрытия выраженного роговичного дефекта при рецидивирующем птеригиуме. В данный обзор также были включены статьи, посвящённые проблемам хранения и децеллюляризации роговичных лентиккул. Проанализированные статьи показывают широкую область применения роговичной лентиккулы, тем не менее требуется больше исследований в каждой из сфер применения, также необходимо решить проблему заготовки и хранения лентиккулярной ткани.

**Ключевые слова:** лентиккула, ReLEx SMILE, кератоконус, пеллюцидная дегенерация, интрастромальная кератопластика

Статья получена: 31.08.2021

Статья принята: 25.11.2021

Статья опубликована: 08.12.2022

**Для цитирования:** Бойко Э.В., Титов А.В., Масян Я.И., Мирсаитова Д.Р. Возможности применения роговичных лентиккул в хирургии заболеваний роговицы (обзор литературы). *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(5-2): 143-152. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-2.15

## POSSIBLE USE OF CORNEAL LENTICULE IN SURGERY OF CORNEAL DISEASES (LITERATURE REVIEW)

**Boiko E.V.** <sup>1,2,3</sup>,  
**Titov A.V.** <sup>1</sup>,  
**Masian J.I.** <sup>1</sup>,  
**Mirsaitova D.R.** <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (Yaroslava Gasheka str. 21, Saint Petersburg 192283, Russian Federation)

<sup>2</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Kirochnaya str. 41, Saint Petersburg 191015, Russian Federation)

<sup>3</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy (Akademika Lebedeva str. 6, Saint Petersburg 194044, Russian Federation)

Corresponding author:

**Janek I. Masian,**  
e-mail: yanick.masian@gmail.com

### ABSTRACT

*In this review, we analyzed the domestic and foreign literature on the use of corneal lenticula obtained by keratorefractive surgery using the SMILE technology (SMall Incision Lenticula Extraction). Research is being actively carried out on the use of a lenticular tissue for refractive purposes: for the correction of hyperopia (LIKE – Lenticular Intrastromal Keratoplasty), for the correction of presbyopia (PEARL – PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule). A significant amount of works are devoted to the use of lenticular tissue for the treatment of keratectasias of various origins. For example, a number of authors for the treatment of keratoconus suggest implantation of a lenticule into the recipient's corneal pocket formed by a femtolasers (SLAK – Stromal lenticule addition keratoplasty). Clinical cases of combined treatment are described: implantation of a lenticule and corneal intrastromal segments for the treatment of corneal pellucid degeneration. A large number of works are devoted to the use of lenticules for tectonic coverage of ulcerative defects, marginal thinning in Mooren's ulcer. Several clinical cases of the use of a corneal lenticule to cover a deep corneal defect in recurrent pterygium are described. This review also included articles on the storage and decellularization of corneal lenticules. The analyzed articles show a wide area of application of the corneal lenticule; however, more research is required in each of the areas of application, and it is also necessary to solve the problem of procurement and storage of lenticular tissue.*

**Key words:** lenticule, ReLEx SMILE, keratoconus, pellucid corneal degeneration, intrastromal keratoplasty

Received: 31.08.2021  
Accepted: 25.11.2022  
Published: 08.12.2022

**For citation:** Boiko E.V., Titov A.V., Masian J.I., Mirsaitova D.R. Possible use of corneal lenticule in surgery of corneal diseases (literature review). *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(5-2): 143-152. doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-2.15

По данным P.M. Mathews и соавт. (2018), примерно 216,6 млн человек в мире страдают нарушениями зрения, у 4,5 млн из них ухудшение зрения вызвано потерей прозрачности роговицы. На пятом месте по частоте среди других причин слепоты после катаракты, аномалий рефракции, глаукомы и возрастной макулярной дегенерации находятся заболевания роговицы. По данным Глобального исследования трансплантации роговицы и глазных банков, в 116 странах мира делается до 185 тыс. трансплантаций роговиц в год. По данным литературы, только 1 из 70 человек с обратимой роговичной патологией в итоге подвергается хирургическому вмешательству из-за множества причин, таких как региональные, социальные, экономические и политические факторы. Одно из важных мест в этом списке занимает проблема доступности и эффективности трансплантации роговицы (кератопластики). Всё это определяет важность внедрения различных технологий кератопластики в лечение причин нарушения прозрачных свойств роговицы [1]. В прошлом основной целью хирургического вмешательства при трансплантации роговицы была замена роговицы на всю её толщину. Последствия такой хирургии оказались не всегда оправданными при патологии, локализованной в определённых слоях роговицы, и не всегда предсказуемыми из-за значительного нарушения анатомической структуры глаза. На современном этапе полностью поменялась парадигма хирургических подходов кератопластики в сторону микроинвазивного подхода за счёт трансплантации отдельных слоёв роговицы, подверженных дисфункции [2].

Дефицит донорского материала (органов и тканей), в первую очередь донорской роговицы, диктует поиск новых путей для проведения лечения различных патологий переднего отрезка глаза, требующих пересадки роговицы.

Технический прогресс лазерных рефракционных технологий определил появление нового метода «безлоскутной» (flapless) кераторефракционной хирургии – операции SMILE (SMall Incision Lenticula Extraction), в процессе которой осуществляется удаление роговичной ткани (лентикулы) через малый разрез. Данная технология проводится на базе технологии ReLEx (Refractive Lenticule Extraction). С помощью фемтосекундной лазерной установки VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Германия) выкраивают лентикулу – рефракционную линзу диаметром 5–8 мм с возможностью коррекции миопии до –10,00 D, миопического астигматизма до –5,00 D и сферического эквивалента до –12,5 D, которую удаляют через малый доступ – разрез в 2–3 мм. Благодаря этому изменяется профиль передней поверхности роговицы, соответственно и преломляющая сила роговицы – рефракция [3]. В отличие от операций Laser Assisted In Situ Keratomileusis (LASIK) и Photorefractive keratectomy (PRK), при которых ткань роговицы удаляется за счёт эффекта абляции эксимерного лазера [4], при технологии SMILE выкроенную рефракционную лентикулу удаляют и утилизируют [1]. Растущий интерес хирургов к выполнению технологии SMILE и увеличение объёмов могут обеспечить хирургов тысячами донорских лентикул, которые

можно использовать в лечении и коррекции не только пресбиопии, гиперметропии, дегенерации роговиц, но и в терапевтических целях. Применение фемтосекундного лазера обеспечивает высокую точность формирования роговичной лентикулы и обеспечивает преимущества перед другими синтетическими вкладками в отношении биосовместимости, сохраняя обмен питательных веществ в ткани и снижая риск экстразии имплантата, позволяет снизить риск интраоперационных осложнений. Но, с другой стороны, роговичная лентикула имеет низкий, но потенциальный риск отторжения, однако предоперационная подготовка и децеллюляризация материала минимизирует его.

**Целью** данного обзора является анализ международного и отечественного опыта по применению роговичной лентикулы в хирургии заболеваний роговицы.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОГОВИЧНОЙ ЛЕНТИКУЛЫ В РЕФРАКЦИОННЫХ ЦЕЛЯХ

Проведено немало опытов имплантации роговичной лентикулы на животных с целью исследования, прежде всего, возможностей управляемого изменения показателей кривизны и преломления роговицы с одновременным изучением развития воспалительных реакций, процессов приживления и отторжения лентикулы [5–9].

В 2012 г. R.I. Angunawela и соавт. представили работу по выполнению аутологичной пересадки роговичной лентикулы в эксперименте на животных (кроликах). Результаты, полученные в ходе исследования, показали, что прозрачность роговицы после повторной имплантации роговичной линзы постепенно улучшалась с 3-го по 28-й день послеоперационных наблюдений [9].

Группа исследователей во главе с A. Riau (2013) получила результаты, схожие исследованию R.I. Angunawela и соавт., только в эксперименте на обезьянах. Восстановление прозрачности роговицы было отмечено к 8-й неделе после операции. При этом толщина роговицы, рефракция и топография её соответствовали показателям до операции к 16-й неделе наблюдений [10].

H. Liu и соавт. (2012) подтвердили возможность выполнения пересадки роговичной лентикулы кролику, отмечено наличие восстановления без осложнений, а регенерация нервных окончаний наблюдалась на 1-м месяце после операции [11].

Так, например, G.P. Williams и соавт. (2018) провели очень интересное исследование на приматах, с целью определения и сравнения показателей сферичности и воспалительных реакций роговицы при коррекции гиперметропии с помощью технологий кератомилез *in situ*, безлоскутной хирургии (SMILE) и повторной имплантации роговичной линзы на модели исследуемых животных с показателями сферической рефракции +2,0 D и +4,0 D [5].

Впервые в 2015 г. R. Liu и соавт. выполнили имплантацию аллогенной лентикулы в эксперименте на обезьянах, отмечалось увеличение показателей кератометрии к 6-му месяцу, которые составляли 82 % от предполагаемой коррекции [12].

J. Zhao и соавт в 2017 г. успешно провели аллогенную трансплантацию роговичной лентикулы на кроликах. В течение 6 месяцев наблюдений отмечался стабильный процесс приживления роговичной линзы [13].

Успешные результаты множества опытов на животных дали возможность перейти с экспериментов к пересадке аутологичных и аллогенных лентикул на людях.

I.B. Damgaard с коллегами (2018) провели исследование на кадаверных глазах, с целью изучения коррекции гиперметропии с помощью имплантации лентикулы [14].

Первый клинический пример имплантации нативной аллогенной лентикулы был описан K.R. Pradhan и соавт. (2013). Пациент имел высокую степень гиперметропической рефракции в связи с афакией правого глаза +12,0 D. Через год после операции рефракция правого глаза уменьшилась до +7,5 D, сферозэквивалент снизился до 5,52 D, с результатом неполной коррекции в 50%. Исследователи связывают данный факт с изменением сферичности задней поверхности роговицы и ремоделированием эпителия роговицы после операции [15].

L. Sun с коллегами (2015) применяли лентикулы для коррекции гиперметропии у 5 пациентов (10 глаз), где один из глаз был с миопической рефракцией, другой имел гиперметропическую коррекцию. Проводили удаление лентикулы на миопическом глазу и имплантацию её в парный гиперметропический глаз. В сравнении с дооперационными показателями, в глазах с имплантированной лентикулой средний сферический эквивалент уменьшился на 5,53 D, остаточный сферический эквивалент составлял от +1,13 до -2,63 D. Средняя некорригируемая острота зрения вдаль увеличилась приблизительно на две строки (от 20/63 до 20/40 по данным таблицы Snellen), а корригируемая острота зрения в 4 глазах (80%) улучшилась на одну строчку, 2 глаза (40%) получили две строки, а 1 глаз (20%) получил более двух строк [16].

Были сделаны выводы, что пересадка аутологичной роговичной линзы, полученной при SMILE для коррекции гиперметропии, может быть достаточно безопасной, эффективной и стабильной, но её предсказуемость должна быть улучшена со временем и требует дальнейших исследований.

Профессор T. Seiler (2018 г., Цюрих, Швейцария) запатентовал технологию Lenticular Intrastromal Keratoplasty – LIKE (лентикулярной интрастромальной кератопластики). На первом этапе данной технологии на глазу пациента создаётся поверхностный лоскут аналогично технологии LASIK. Далее на ложе укладывается и центрируется по оптической оси предварительно подготовленная лентикула из донорской ткани человека с Боуменовой мембраной. Затем поверхностный лоскут возвращается в исходное положение, и роговице дают стабилизироваться приблизительно восемь недель. На втором этапе, при необходимости, клапан поднимается и выполняется окончательная лазерная коррекция на лентикуле LIKE [17]. Так как данная технология принадлежит компании Gebauer Medizintechnik GmbH, она также производит и продаёт заготовленные лентикулы LIKE и оборудование, с помощью которого можно получать соответствующие лентикулы.

M. Moshirfar с коллегами (2018) предложили альтернативу технологии LIKE, назвав её Small-incision Lenticule Intrastromal Keratoplasty – sLIKE (интрастромальная лентикулярная кератопластика с малым разрезом) [18]. Суть данного метода заключается в том, что вместо поверхностного лоскута в строме роговицы выкраивают карман диаметром от 8 до 9 мм, в который через 5 мм разрез имплантируют и центрируют заготовленную лентикулу диаметром 6,5–7,0 мм. Таким образом, увеличивается не только кривизна передней поверхности роговицы, но и центральная её толщина. Также авторы предлагают профилактический кросслинкинг роговичного коллагена с имплантированной лентикулой с целью предотвращения возможного регресса полученных результатов.

Ведутся работы по коррекции пресбиопии с помощью интрастромальной имплантации лентикулы выпуклой формы [19, 20]. В 2017 г. был предложен метод коррекции пресбиопии – PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule, PEARL (пресбиопическая аллогенная рефракционная лентикула) с помощью имплантации лентикулы, полученной из донорского материала [19]. При данной процедуре в сформированный с помощью фемтосекундного лазера стромальный карман имплантируют лентикулу диаметром 1,0 мм и толщиной  $61,5 \pm 3,32$  мкм. Лентикулу выставляют строго по оптической оси. Благодаря данной методике, в проекции центра зрачка формируется выпуклость с дополнительной кривизной передней поверхности роговицы, которая служит как добавочная линза для близкого расстояния [19].

## РОГОВИЧНАЯ ЛЕНТИКУЛА В КОРРЕКЦИИ КЕРАТЭКТАЗИЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗА

Лентикулы пытаются использовать не только для коррекции аметропий, но и в лечении кератэктазий и дефектов роговицы. Так, S. Ganesh и соавт. (2015) в лечении кератоконуса применяли лентикулы, полученные после процедуры SMILE у пациентов с миопией разной степени. В строме роговицы с помощью фемтосекундного лазера на глубине 120 мкм формировали карман диаметром 7,5 мм, в который через 2,0 мм разрез имплантировали лентикулу диаметром 6,5 мм и сразу проводили кросслинкинг роговичного коллагена. В исследовании участвовали 6 пациентов (6 глаз) с прогрессирующим кератоконусом. У всех пациентов наблюдалось улучшение некорригируемой остроты зрения, у 4 так же улучшилась максимально корригируемая острота зрения [21].

H. Jin с коллегами в 2019 г. представили работу, где сравнивали 2 группы пролеченных пациентов: 1-я группа пациентов – после сквозной кератопластики и 2-я группа – после интрастромальной имплантации лентикулы вогнутой формы [22]. Роговичные лентикулы, использованные в имплантации, получали из донорского материала, предоставленного глазным банком Глазного Госпиталя города Хайнань, Китай. Толщина лентикулы в центре составляла около 250 мкм. На роговице реципиента выполняли коррекцию близорукости – 0,75 дптр (толщина 28 мкм) по методике SMILE. После

удаления лентикулы реципиента в сформированный стромальный карман имплантировали донорскую лентикулу. Исследование проводилось на 31 пациенте, 20 из которых – после сквозной кератопластики (СКП) и 11 – после имплантации лентикулы, кросслинкинг роговичного коллагена в данных группах пациентов не проводили. В обеих группах результаты корригируемой и некорригируемой остроты зрения улучшились и оставались стабильными на протяжении 2-летнего периода наблюдения. Авторы отмечают более комфортный для пациента послеоперационный период и менее длительный период закапывания стероидных препаратов в группе с имплантацией роговичной лентикулы [22].

Похожую работу в 2017 г. представили исследователи из США [19]. Десяти пациентам с кератоконусом 3-й и 4-й стадии были имплантированы интрастромально роговичные лентикулы в форме отрицательного мениска на глубину 160 мкм. У 8 пациентов отмечали улучшение некорригируемой остроты зрения, у 9 – корригируемой остроты зрения. Благодаря форме лентикулы в виде отрицательного мениска уменьшилась средняя кривизна передней поверхности роговицы и увеличилась толщина центральной части роговицы [23].

L. Mastropasqua и соавт. (2018) и M. Nubile и соавт. (2021) приводят новый метод лечения кератоконуса под названием SLAK (Stromal lenticule addition keratoplasty – кератопластика с добавлением стромальных роговичных лентикул). Данный метод подразумевает имплантацию заготовленной лентикулы с помощью фемтосекундного лазера VisuMax® (Carl Zeiss Meditec AG, Германия). Команда получала лентикулы в форме отрицательного мениска с помощью технологии FLeX для коррекции гиперметропической рефракции. Далее лентикула помещалась в роговицу пациента в предварительно сформированный фемтосекундным лазером карман на глубину 120 мкм. По данным авторов, у 15 пациентов, пролеченных данным способом, получилось добиться смещения самой тонкой части роговицы к центру или в пределах 1 мм от центра. Средняя кривизна роговицы изменилась (Sim-K) с  $59,63 \pm 7,58$  до  $57,19 \pm 6,33$  D, толщина роговицы в центральной части – с  $408 \pm 59$  до  $472 \pm 70$  мкм, в самом тонком месте – с  $362 \pm 67$  до  $435 \pm 68$  мкм. Данный метод позволил уменьшить избыточную кривизну роговицы за счёт уплощения центральной части, увеличивалась толщина роговицы в центральной и наиболее тонкой точке роговицы [23, 24].

В отечественной литературе также присутствуют данные об использовании роговичной лентикулы в лечении кератоконуса.

Коллегами из Калужского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России Ю.Ю. Голубевой и соавт. (2019) проведена работа, где 15 пациентам проведён кросслинкинг роговичного коллагена (по данным пахиметрии минимальная толщина роговицы – менее 400 мкм). После депителизации и пропитывания роговицы раствором рибофлавина на протяжении 30 мин переходили ко второму этапу лечения – ультрафиолетовому облучению роговицы световым пятном 7,0 мм в течение 10 минут

с уровнем энергии в 9 мВт/см<sup>2</sup>, с уложенным стромальным роговичным лоскутом на поверхности роговицы пациента. В сроке наблюдения 6 мес. морфофункциональные показатели роговицы сопровождались изменениями, характерными для классической методики УФ-кросслинкинга (Дрезденский протокол) [25].

И.В. Васильева с коллегами (2017) провели аналогичную работу, были использованы лентикулы, полученные после применения методики ReLEx SMILE [26].

О.Ф. Зиятдинова и А.Ю. Расчёсков (2019) опубликовали клинический случай применения стромальной лентикулы в лечении кератоконуса с толщиной роговицы менее 400 мкм [27]. В статье продемонстрированы возможности имплантации донорской роговичной лентикулы при развитой стадии кератоконуса. Пациенту с кератоконусом 3-й стадии и толщиной роговицы 382 мкм в самой тонкой точке была имплантирована донорская роговичная лентикула диаметром 6,9 мм, центральная толщина – 190 мкм в роговичный карман диаметром 8,6 мм на глубине 115 мкм, сформированный с помощью фемтосекундного лазера. После 6 мес. максимальная корригируемая острота зрения улучшилась на 4 строчки (с 0,2 до 0,6) [27].

Т.Ю. Шилова в 2020 г. получила патент (№ 2718581) на способ хирургического лечения кератоконуса. Лентикулу извлекали и подвергали эксимерлазерной абляции до формирования гиперметропического профиля, а затем имплантировали пациенту с кератоконусом, в интрастромальный карман, сформированный с помощью фемтолазера.

Группа ответственных исследователей под руководством Ю.Ю. Калининкова (2019) описала клинический случай одновременной имплантации рефракционной лентикулы и сегмента интракорнеального кольца при лечении краевой пеллюцидной дегенерации. В качестве донорского пластинчатого трансплантата использовалась рефракционная лентикула, полученная во время операции SMILE. Описанная методика позволила частично уменьшить цилиндр и укрепить истончённую роговицу. Острота зрения вдаль без коррекции улучшилась с 0,02 до 0,5, а острота зрения вдаль с коррекцией повысилась с 0,4 до 0,7 при снижении роговичного астигматизма на 4,5 D. Новая методика, описанная в этом отчёте, оказалась успешной для этого конкретного пациента и, следовательно, может быть эффективной и безопасной при тяжёлых стадиях заболевания [28].

## ПРИМЕНЕНИЕ РОГОВИЧНОЙ ЛЕНТИКУЛЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЕФЕКТАХ РОГОВИЦЫ И ПТЕРИГИУМЕ

Актуальным представляется использование лентикулы для закрытия дефектов при язвенных поражениях роговицы, так как, в частности, в развивающихся странах ежегодно регистрируется от 1,5 до 2 млн случаев язвенных поражений роговицы [29], в США встречаемость микробных кератитов составляет 11 на 100 000 человек населения в год, и в 12 % случаев требуется пересадка рого-

вицы [30]. По данным Глобального исследования по глазным трансплантациям, известно, что лишь 1 из 70 человек с излечимой патологией роговицы подвергается хирургическому вмешательству, и одной из основных проблем является недостаточность донорского материала [31]. Соответственно, приходится искать иные способы лечения роговичных дефектов. О.Р. Pant с коллегами из Китая и Таиланда (2020) опубликовали работу, в которую были включены 18 пациентов (18 глаз), которым была проведена тектоническая кератопластика с использованием рефракционной лентиккулы, выделенной после процедуры SMILE. Оперативное лечение было успешным для 16 из 18 пациентов; одному пациенту пришлось выполнить повторную имплантацию лентиккулы, и одному пациенту была выполнена аутоконъюнктивотенонопластика [32].

В другом исследовании представлены данные 22 пациентов, которым было выполнено покрытие роговичного дефекта лентиккулой, 14 пациентов (16 глаз) с язвой роговицы и 6 пациентов (6 глаз) с перфорацией роговицы. Необходимо отметить, что большинство причин язвы роговицы или перфорации были иммунологическими (54,5%). Осложнений выявлено не было, анатомическая целостность глазного яблока и герметичность передней камеры была достигнута во всех случаях. Однако у троих пациентов потребовалось повторное покрытие лентиккулой спустя 3 месяца после первоначальной операции по причине изначально малой остаточной толщины роговицы (< 250 мкм) [33]. Соответственно, при дефектах роговицы, при отсутствии целой донорской роговицы, лентиккулы, выделенные при процедуре SMILE, могут послужить хорошей альтернативой [32–34].

Роговичные лентиккулы можно использовать при выраженном истончении роговицы в случае рецидивирующего птеригиума. В литературе встречаются клинические случаи применения лентиккулы для тектонического покрытия при выраженных истончениях роговицы после многократного хирургического удаления птеригиума. Так, О.Р. Pant и соавт. (2018) опубликовали свой опыт применения лентиккулы в виде материала для покрытия у 65-летнего пациента с рецидивирующим птеригиумом и истончением периферической части роговицы до 270 мкм. Авторы использовали лентиккулу, полученную с помощью VisuMax® Femtosecond laser (Carl Zeiss Meditec AG, Германия), при коррекции миопии у рефракционного пациента со сферической рефракцией –8,5 диоптрий (толщина лентиккулы более 100 мкм). Лентиккуле придали нужную форму и покрыли наиболее истонченную часть роговицы, фиксация 8 швами, нейлон 10-0. В послеоперационном наблюдении более 8 мес. – прозрачное приживление лентиккулы [35].

N. He с соавт. (2021) опубликовали клинический случай хирургического лечения язвы Мурена в сочетании с птеригиумом. У пациентки 61 года с выраженным болевым синдромом и краевым истончением роговицы была выполнена ламеллярная кератопластика с иссечением птеригиума. В области язвы подготовлено ложе, куда после иссечения птеригиума была помещена и фиксирована узловыми швами (нейлон 10-0) подготовленная

лентиккула от рефракционного пациента после лазерной коррекции по технологии ReLEx SMILE. В период наблюдения более 1 года – прозрачное приживление и отсутствие жалоб у пациентки [36].

## КОНСЕРВАЦИЯ И ХРАНЕНИЕ РОГОВИЧНЫХ ЛЕНТИКУЛ

Ведутся работы в направлении консервации и хранения роговичных лентиккул [37, 38]. Так, исследователи из Сингапура в 2017 г. представили работу, в которой сравнивали прозрачность и сохранность лентиккул в 4 разных средах (DMEM, сыворотка молодых бычков, Optisol GS и 100%-й глицерин) со сроком хранения 48 часов и 4 недели. В результате исследования статистически значимых изменений ни в группах со сроком хранения 48 часов, ни в группах со сроком хранения 4 недели, выявлено не было [36].

S. Ganesh и соавт. из института Фако- и Рефракционной хирургии Бангалора (Индия) в 2014 г. опубликовали работу, в которой представлены данные по криоконсервации лентиккул, полученных после применения методики SMILE у пациентов с близорукостью. Средняя продолжительность хранения лентиккулы в жидком азоте составила 96 дней (от 19 до 178 дней). Далее эти лентиккулы были использованы для лечения 8 гиперметропических глаз и 1 афакического глаза. Срок наблюдения в среднем составил 155,4 дня (от 38 до 310 дней), в течение которых, по словам авторов, отрицательной динамики и ухудшения зрения не наблюдалось [39].

В 2018 г. M.I. Nuh и соавт. оценили эффективность применения растворов Triton X-100, додецил-сульфата натрия и трипсин-ЭДТА различных концентраций для получения децеллюляризированной роговичной лентиккулы. После обработки лентиккулы промывали в гипертоническом, изотоническом и гипотоническом трис-буферах, с последующим добавлением ДНКазы и РНКазы. В опыте было доказано, что растворы 0,25%-й и 0,5%-й трипсин-ЭДТА в гипотоническом трис-буфере позволяли добиться самого низкого содержания ДНК, в то время как количество гликозаминогликанов сохранялось на высоком уровне [40].

В литературе имеются данные использования лентиккулы, полученной при коррекции зрения с помощью ReLEx SMILE технологии. Тем не менее, существующие протоколы хранения, децеллюляризации лентиккулы, параметры прогнозирования рефракционного эффекта с целью коррекции аметропий не лишены недостатков и до конца не изучены [40–43].

Решить проблемы нехватки донорской роговицы можно путём применения технологии децеллюляризации, что позволит создавать тканеинженерные структуры. С.А. Борзенко и соавт. (2021) провели сравнительный анализ протоколов децеллюляризации стромальных роговичных лентиккул, полученных при коррекции близорукости по методике ReLEx SMILE. Для децеллюляризации материала применяли три протокола: 1) обработка 1,5 М хлоридом натрия с нуклеазами (NaCl); 2) 0,1 %

SDS (SDS); 3) обработка раствором Трипсин-ЭДТА с последующим двойным отмыванием в гипотоническом трис-буферном растворе с нуклеазами (Трипсин-ЭДТА). Во всех трёх методах ядерный и клеточный материал был удалён с высокой долей эффективности, остаточное количество ДНК не превышало 50 нг/мг. К сожалению, протокол с применением трипсин-ЭДТА может привести к снижению прозрачности роговицы, так как имеет значительное повреждение внеклеточного матрикса, который выступает в роли каркаса. При использовании протокола с хлоридом натрия прозрачность образцов была приближена к первоначальным лентикулам [42].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тканевой материал в виде лентиккулы, полученный как при методике SMILE, так и из донорской, кадаверной, роговицы, может иметь разное применение. Его можно использовать в целях лечения, например при кератоконусе роговицы, при разных его стадиях, а также для коррекции аметропии (гиперметропии). Учитывая, что ни в одной из работ не было отмечено реакций со стороны организма реципиента на донорскую ткань, можно сказать, что использование данного материала достаточно безопасно. В этом направлении необходимы более тщательные исследования. Также необходима разработка методик, направленных на заготовку, хранение и обработку лентиккул.

### Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Mathews PM, Lindsley K, Aldave AJ, Akpek EK. Etiology of global corneal blindness and current practices of corneal transplantation: A focused review. *Cornea*. 2018; 37(9): 1198-1203. doi: 10.1097/ICO.0000000000001666
- Ing JJ, Ing HH, Nelson LR, Hodge DO, Bourne WM. Ten-year postoperative results of penetrating keratoplasty. *Ophthalmology*. 1998; 105(10): 1855-1865. doi: 10.1016/S0161-6420(98)91030-2
- Ağca A, Demirok A, Yıldırım Y, Demircan A, Yaşa D, Yeşilkaya C, et al. Refractive lenticule extraction (ReLEx) through a small incision (SMILE) for correction of myopia and myopic astigmatism: Current perspectives. *Clin Ophthalmol*. 2016; (10): 1905-1912. doi: 10.2147/OPHTH.S80412
- Shortt AJ, Allan BD, Evans JR. Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) versus photorefractive keratectomy (PRK) for myopia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2013; (1): CD005135. doi: 10.1002/14651858
- Williams GP, Wu B, Liu YC, Teo E, Nyein CL, Peh G, et al. Hyperopic refractive correction by LASIK, SMILE or lenticule reimplantation in a non-human primate model. *PLoS One*. 2018; 13(3): e0194209. doi: 10.1371/journal.pone.0194209
- Liu LP, Wang Y, He M, Li SQ, Zeng MZ, Zhong XW. Preliminary investigation femtosecond laser-assisted refractive lenticule transplantation in rhesus monkeys. *Journal Of Sun Yat-sen University (Medical Sciences)*. 2015; 36(3): 449-455.
- Damgaard IB, Liu YC, Riau AK, Teo EPW, Tey ML, Nyein CL, et al. Corneal remodelling and topography following biological inlay implantation with combined crosslinking in a rabbit model. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 4479. doi: 10.1038/s41598-019-39617-0
- Barraquer JI. Modification of refraction by mean of intra-corneal inclusions. *Int Ophthalmol Clin*. 1966; 6(1): 53-78.
- Angunawela RI, Riau AK, Chaurasia SS, Tan DT, Mehta JS. Refractive lenticule re-implantation after myopic ReLEx: A feasibility study of stromal restoration after refractive surgery in a rabbit model. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53(8): 4975-4985. doi: 10.1167/iovs.12-10170
- Riau AK, Angunawela RI, Chaurasia SS, Lee WS, Tan DT, Mehta JS. Reversible femtosecond laser-assisted myopia correction: A non-human primate study of lenticule re-implantation after refractive lenticule extraction. *PLoS One*. 2013; 8(6): e67058. doi: 10.1371/journal.pone.0067058
- Liu H, Zhu W, Jiang AC, Sprecher AJ, Zhou X. Femtosecond laser lenticule transplantation in rabbit cornea: Experimental study. *J Refract Surg*. 2012; 28(12): 907-911. doi: 10.3928/1081597X-20121115-05
- Liu R, Zhao J, Xu Y, Li M, Niu L, Liu H, et al. Femtosecond laser assisted corneal small incision allogenic intrastromal lenticule implantation in monkeys: A pilot study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56(6): 3715-3720. doi: 10.1167/iovs.14-15296
- Zhao J, Shen Y, Tian M, Sun L, Zhao Y, Zhang X, et al. Corneal lenticule allotransplantation after femtosecond laser small incision lenticule extraction in rabbits. *Cornea*. 2017; 36(2): 222-228. doi: 10.1097/ICO.0000000000001076
- Damgaard IB, Ivarsen A, Hjortdal J. Biological lenticule implantation for correction of hyperopia: An ex vivo study in human corneas. *J Refract Surg*. 2018; 34(4): 245-252. doi: 10.3928/1081597X-20180206-01
- Pradhan KR, Reinstein DZ, Carp GI, Archer TJ, Gobbe M, Gurung R. Femtosecond laser-assisted keyhole endokeratophakia: Correction of hyperopia by implantation of an allogeneic lenticule obtained by SMILE from a myopic donor. *J Refract Surg*. 2013; 29(11): 777-782. doi: 10.3928/1081597X-20131021-07
- Sun L, Yao P, Li M, Shen Y, Zhao J, Zhou X. The safety and predictability of implanting autologous lenticule obtained by SMILE for hyperopia. *J Refract Surg*. 2015; 31(6): 374-379. doi: 10.3928/1081597X-20150521-03
- The tool for additive hyperopia surgery – creating refractive lenticules for LIKE surgery*. URL: <https://www.gebauermedical.com/refractive/> [date of access: 10.06.2018].
- Moshirfar M, Shah TJ, Masud M, Fanning T, Linn SH, Ronquillo Y, et al. A modified small-incision lenticule intrastromal keratoplasty (sLIKE) for the correction of high hyperopia: A description of a new surgical technique and comparison to lenticule intrastromal keratoplasty (LIKE). *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 2018; 7(2): 48-56.
- Jacob S, Kumar DA, Agarwal A, Agarwal A, Aravind R, Saijimal AI. Preliminary evidence of successful near vision enhancement with a new technique: PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule (PEARL) corneal inlay using a SMILE lenticule. *J Refract Surg*. 2017; 33(4): 224-229. doi: 10.3928/1081597X-20170111-03
- Konstantopoulos A, Liu YC, Teo EP, Lwin NC, Yam GH, Mehta JS. Early wound healing and refractive response of dif-

ferent pocket configurations following presbyopic inlay implantation. *PLoS One*. 2017; 12(2): e0172014. doi: 10.1371/journal.pone.0172014

21. Ganesh S, Brar S. Femtosecond intrastromal lenticular implantation combined with accelerated collagen cross-linking for the treatment of keratoconus – initial clinical result in 6 eyes. *Cornea*. 2015; 34(10): 1331-1339. doi: 10.1097/YCO.0000000000000539

22. Jin H, He M, Liu H, Zhong X, Wu J, Liu L, et al. Small-incision femtosecond laser-assisted intracorneal concave lenticule implantation in patients with keratoconus. *Cornea*. 2019; 38(4): 446-453. doi: 10.1097/ICO.0000000000001877

23. Mastropasqua L, Nubile M, Salgari N, Mastropasqua R. Femtosecond laser-assisted stromal lenticule addition keratoplasty for the treatment of advanced keratoconus: A preliminary study. *J Refract Surg*. 2018; 34(1): 36-44. doi: 10.3928/1081597X-20171004-04

24. Nubile M, Salgari N, Mehta JS, Calienno R, Erroi E, Bondi J, et al. Epithelial and stromal remodelling following femtosecond laser-assisted stromal lenticule addition keratoplasty (SLAK) for keratoconus. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 2293. doi: 10.1038/s41598-021-81626-5

25. Голубева Ю.Ю., Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Вишнякова Е.Н., Демьянченко С.К. Методика ультрафиолетового кросслинкинга в лечении прогрессирующего кератоконуса при «тонкой роговице». *Современные технологии в офтальмологии*. 2019; (4): 59-62. doi: 10.25276/2312-4911-2019-4-59-62

26. Васильева И.В., Егоров В.В., Васильев А.В. Анализ эффективности и безопасности кросслинкинга роговичного коллагена у пациентов с толщиной роговицы менее 400 мкм после дезэпителизации с применением донорской роговичной лентикулы. *Практическая медицина*. 2017; 9(110): 25-28.

27. Зиятдинова О.Ф., Расчёсков А.Ю. Интрастромальная имплантация донорской роговичной лентикулы при развитой стадии кератоконуса. *Современные технологии в офтальмологии*. 2019; (5): 277-280. doi: 10.25276/2312-4911-2019-5-277-280

28. Kalinnikov Y, Zinovyeva A, Nevrov D, Leontyeva G. Simultaneous implantation of refractive lenticule and intracorneal ring segment in the management of pellucid marginal degeneration. *J Refract Surg*. 2019; 35(9): 606-609. doi: 10.3928/1081597X-20190812-01

29. Whitcher JP, Srinivasan M, Upadhyay MP. Corneal blindness: A global perspective. *Bull World Health Organ*. 2001; 79(3): 214-221.

30. Estopinal CB, Ewald MD. Geographic disparities in the etiology of bacterial and fungal keratitis in the United States of America. *Semin Ophthalmol*. 2016; 31(4): 345-352. doi: 10.3109/08820538.2016.1154173

31. Gain P, Jullienne R, He Z, Aldossary M, Acquart S, Cognasse F, et al. Global survey of corneal transplantation and eye banking. *JAMA Ophthalmol*. 2016; 134(2): 167-173. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2015.4776

32. Pant OP, Hao J, Zhou D, Pant M, Lu C. Tectonic keratoplasty using small incision lenticule extraction-extracted intrastromal lenticule for corneal lesions. *J Int Med Res*. 2020; 48(1): 300060519897668. doi: 10.1177/0300060519897668

33. Jiang Y, Li Y, Liu XW, Xu J. A novel tectonic keratoplasty with femtosecond laser intrastromal lenticule for corneal ulcer and perforation. *Chin Med J (Engl)*. 2016; 129(15): 1817-1821. doi: 10.4103/0366-6999.186639

34. Abd Elaziz MS, Zaky AG, El SaebaySarhan AR. Stromal lenticule transplantation for management of corneal perforations; one year results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 255(6): 1179-1184. doi: 10.1007/s00417-017-3645-6

35. Pant OP, Hao JL, Zhou DD, Wang F, Lu CW. A novel case using femtosecond laser-acquired lenticule for recurrent pterygium: Case report and literature review. *J Int Med Res*. 2018; 46(6): 2474-2480. doi: 10.1177/0300060518765303

36. He N, Song W, Gao Y. Treatment of Mooren's ulcer coexisting with a pterygium using an intrastromal lenticule obtained from small-incision lenticule extraction: Case report and literature review. *J Int Med Res*. 2021; 49(6): 3000605211020246. doi: 10.1177/03000605211020246

37. Liu YC, Williams GP, George BL, Soh YQ, Seah XY, Peh GSL, et al. Corneal lenticule storage before reimplantation. *Mol Vis*. 2017; (23): 753-764

38. Zohdi V, Whelan DR, Wood BR, Pearson JT, Bamberg KR, Black MJ. Importance of tissue preparation methods in FTIR microspectroscopic analysis of biological tissues: "traps for new users". *PLoS One*. 2015; 10(2): e0116491. doi: 10.1371/journal.pone.0116491

39. Ganesh S, Brar S, Rao PA. Cryopreservation of extracted corneal lenticules after small incision lenticule extraction for potential use in human subjects. *Cornea*. 2014; 33(12): 1355-1362. doi: 10.1097/ICO.0000000000000276

40. Huh MI, Lee KP, Kim J, Yi S, Park BU, Kim HK. Generation of femtosecond laser-cut decellularized corneal lenticule using hypotonic trypsin-EDTA solution for corneal tissue engineering. *J Ophthalmol*. 2018; 2018: 2590536. doi: 10.1155/2018/2590536

41. Костенев С.В., Борзенков С.А., Ли В.Г., Носиров П.О. Применение лентикулярной ткани в рефракционной хирургии роговицы. *Офтальмохирургия*. 2021; (1): 68-72. doi: 10.25276/0235-4160-2021-1-68-72

42. Борзенков С.А., Костенев С.В., Дога А.В., Шацких А.В., Ли В.Г., Островский Д.С. и др. Сравнительный анализ протоколов децеллюляризации лентикулярной ткани роговицы. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2021; 23(2): 137-146. doi: 10.15825/1995-1191-2021-2-137-146

43. Mohamed-Noriegaarim K, Toh K-P, Poh R, Balehosur D, Riau A, Htoon HM, et al. Cornea lenticule viability and structural integrity after refractive lenticule extraction (ReLEx) and cryopreservation. *Mol Vis*. 2011; (17): 3437-3449.

## REFERENCES

1. Mathews PM, Lindsley K, Aldave AJ, Akpek EK. Etiology of global corneal blindness and current practices of corneal transplantation: a focused review. *Cornea*. 2018; 37(9): 1198-1203. doi: 10.1097/ICO.0000000000001666

2. Ing JJ, Ing HH, Nelson LR, Hodge DO, Bourne WM. Ten-year postoperative results of penetrating keratoplasty. *Ophthalmology*. 1998; 105(10): 1855-1865. doi: 10.1016/S0161-6420(98)91030-2

3. Ağca A, Demirok A, Yıldırım Y, Demircan A, Yaşa D, Yeşilkaya C, et al. Refractive lenticule extraction (ReLEx) through a small incision (SMILE) for correction of myopia and myopic astigmatism: Current perspectives. *Clin Ophthalmol*. 2016; (10): 1905-1912. doi: 10.2147/OPHTH.S80412

4. Shortt AJ, Allan BD, Evans JR. Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) versus photorefractive keratectomy (PRK)

- for myopia. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013; (1): CD005135. doi: 10.1002/14651858
5. Williams GP, Wu B, Liu YC, Teo E, Nyein CL, Peh G, et al. Hyperopic refractive correction by LASIK, SMILE or lenticule reimplantation in a non-human primate model. *PLoS One.* 2018; 13(3): e0194209. doi: 10.1371/journal.pone.0194209
  6. Liu LP, Wang Y, He M, Li SQ, Zeng MZ, Zhong XW. Preliminary investigation femtosecond laser-assisted refractive lenticule transplantation in rhesus monkeys. *Journal Of Sun Yat-sen University (Medical Sciences).* 2015; 36(3): 449-455.
  7. Damgaard IB, Liu YC, Riau AK, Teo EPW, Tey ML, Nyein CL, et al. Corneal remodelling and topography following biological inlay implantation with combined crosslinking in a rabbit model. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 4479. doi: 10.1038/s41598-019-39617-0
  8. Barraquer JI. Modification of refraction by mean of intra-corneal inclusions. *Int Ophthalmol Clin.* 1966; 6(1): 53-78.
  9. Angunawela RI, Riau AK, Chaurasia SS, Tan DT, Mehta JS. Refractive lenticule re-implantation after myopic ReLEx: A feasibility study of stromal restoration after refractive surgery in a rabbit model. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53(8): 4975-4985. doi: 10.1167/iovs.12-10170
  10. Riau AK, Angunawela RI, Chaurasia SS, Lee WS, Tan DT, Mehta JS. Reversible femtosecond laser-assisted myopia correction: A non-human primate study of lenticule re-implantation after refractive lenticule extraction. *PLoS One.* 2013; 8(6): e67058. doi: 10.1371/journal.pone.0067058
  11. Liu H, Zhu W, Jiang AC, Sprecher AJ, Zhou X. Femtosecond laser lenticule transplantation in rabbit cornea: Experimental study. *J Refract Surg.* 2012; 28(12): 907-911. doi: 10.3928/1081597X-20121115-05
  12. Liu R, Zhao J, Xu Y, Li M, Niu L, Liu H, et al. Femtosecond laser assisted corneal small incision allogenic intrastromal lenticule implantation in monkeys: A pilot study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015; 56(6): 3715-3720. doi: 10.1167/iovs.14-15296
  13. Zhao J, Shen Y, Tian M, Sun L, Zhao Y, Zhang X, et al. Corneal lenticule allotransplantation after femtosecond laser small incision lenticule extraction in rabbits. *Cornea.* 2017; 36(2): 222-228. doi: 10.1097/ICO.0000000000001076
  14. Damgaard IB, Ivarsen A, Hjortdal J. Biological lenticule implantation for correction of hyperopia: An ex vivo study in human corneas. *J Refract Surg.* 2018; 34(4): 245-252. doi: 10.3928/1081597X-20180206-01
  15. Pradhan KR, Reinstein DZ, Carp GI, Archer TJ, Gobbe M, Gurung R. Femtosecond laser-assisted keyhole endokeratophakia: Correction of hyperopia by implantation of an allogeneic lenticule obtained by SMILE from a myopic donor. *J Refract Surg.* 2013; 29(11): 777-782. doi: 10.3928/1081597X-20131021-07
  16. Sun L, Yao P, Li M, Shen Y, Zhao J, Zhou X. The safety and predictability of implanting autologous lenticule obtained by SMILE for hyperopia. *J Refract Surg.* 2015; 31(6): 374-379. doi: 10.3928/1081597X-20150521-03
  17. *The tool for additive hyperopia surgery – creating refractive lenticules for LIKE surgery.* URL: <https://www.gebauermedical.com/refractive/> [date of access: 10.06.2018].
  18. Moshirfar M, Shah TJ, Masud M, Fanning T, Linn SH, Ronquillo Y, et al. A modified small-incision lenticule intrastromal keratoplasty (sLIKE) for the correction of high hyperopia: A description of a new surgical technique and comparison to lenticule intrastromal keratoplasty (LIKE). *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol.* 2018; 7(2): 48-56.
  19. Jacob S, Kumar DA, Agarwal A, Agarwal A, Aravind R, Saijimal AI. Preliminary evidence of successful near vision enhancement with a new technique: PrEsbyopic Allogenic Refractive Lenticule (PEARL) corneal inlay using a SMILE lenticule. *J Refract Surg.* 2017; 33(4): 224-229. doi: 10.3928/1081597X-20170111-03
  20. Konstantopoulos A, Liu YC, Teo EP, Lwin NC, Yam GH, Mehta JS. Early wound healing and refractive response of different pocket configurations following presbyopic inlay implantation. *PLoS One.* 2017; 12(2): e0172014. doi: 10.1371/journal.pone.0172014
  21. Ganesh S, Brar S. Femtosecond intrastromal lenticular implantation combined with accelerated collagen cross-linking for the treatment of keratoconus – initial clinical result in 6 eyes. *Cornea.* 2015; 34(10): 1331-1339. doi: 10.1097/YCO.0000000000000539
  22. Jin H, He M, Liu H, Zhong X, Wu J, Liu L, et al. Small-incision femtosecond laser-assisted intracorneal concave lenticule implantation in patients with keratoconus. *Cornea.* 2019; 38(4): 446-453. doi: 10.1097/ICO.0000000000001877
  23. Mastropasqua L, Nubile M, Salgari N, Mastropasqua R. Femtosecond laser-assisted stromal lenticule addition keratoplasty for the treatment of advanced keratoconus: A preliminary study. *J Refract Surg.* 2018; 34(1): 36-44. doi: 10.3928/1081597X-20171004-04
  24. Nubile M, Salgari N, Mehta JS, Calienno R, Erroi E, Bondi J, et al. Epithelial and stromal remodelling following femtosecond laser-assisted stromal lenticule addition keratoplasty (SLAK) for keratoconus. *Sci Rep.* 2021; 11(1): 2293. doi: 10.1038/s41598-021-81626-5
  25. Golubeva YuYu, Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Vishnyakova YeN, Dem'yanchenko SK. Ultraviolet crosslinking technique in the treatment of progressive keratoconus with a "thin cornea". *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2019; (4): 59-62. (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2019-4-59-62
  26. Vasilyeva IV, Egorov VV, Vasilyev AV. Analysis of efficiency and safety of corneal collagen crosslinking in patients with cornea thickness less than 400 microns after deepithelization with application of corneal lenticule graft. *Practical medicine.* 2017; 9(110): 25-28. (In Russ.).
  27. Ziatdinova OF, Rascheskov AY. The intrastromal lenticule implantation for advanced keratoconus. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2019; (5): 277-280. (In Russ.). doi: 10.25276/2312-4911-2019-5-277-280
  28. Kalinnikov Y, Zinovyeva A, Nevrov D, Leontyeva G. Simultaneous implantation of refractive lenticule and intracorneal ring segment in the management of pellucid marginal degeneration. *J Refract Surg.* 2019; 35(9): 606-609. doi: 10.3928/1081597X-20190812-01
  29. Whitcher JP, Srinivasan M, Upadhyay MP. Corneal blindness: A global perspective. *Bull World Health Organ.* 2001; 79(3): 214-221.
  30. Estopinal CB, Ewald MD. Geographic disparities in the etiology of bacterial and fungal keratitis in the United States of America. *Semin Ophthalmol.* 2016; 31(4): 345-352. doi: 10.3109/08820538.2016.1154173
  31. Gain P, Jullienne R, He Z, Aldossary M, Acquart S, Cognasse F, et al. Global survey of corneal transplantation and eye banking. *JAMA Ophthalmol.* 2016; 134(2): 167-173. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2015.4776
  32. Pant OP, Hao J, Zhou D, Pant M, Lu C. Tectonic keratoplasty using small incision lenticule extraction-extracted intras-

tromal lenticule for corneal lesions. *J Int Med Res.* 2020; 48(1): 300060519897668. doi: 10.1177/0300060519897668

33. Jiang Y, Li Y, Liu XW, Xu J. A novel tectonic keratoplasty with femtosecond laser intrastromal lenticule for corneal ulcer and perforation. *Chin Med J (Engl).* 2016; 129(15): 1817-1821. doi: 10.4103/0366-6999.186639

34. Abd Elaziz MS, Zaky AG, El SaebaySarhan AR. Stromal lenticule transplantation for management of corneal perforations; one year results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017; 255(6): 1179-1184. doi: 10.1007/s00417-017-3645-6

35. Pant OP, Hao JL, Zhou DD, Wang F, Lu CW. A novel case using femtosecond laser-acquired lenticule for recurrent pterygium: Case report and literature review. *J Int Med Res.* 2018; 46(6): 2474-2480. doi: 10.1177/0300060518765303

36. He N, Song W, Gao Y. Treatment of Mooren's ulcer coexisting with a pterygium using an intrastromal lenticule obtained from small-incision lenticule extraction: Case report and literature review. *J Int Med Res.* 2021; 49(6): 3000605211020246. doi: 10.1177/03000605211020246

37. Liu YC, Williams GP, George BL, Soh YQ, Seah XY, Peh GSL, et al. Corneal lenticule storage before reimplantation. *Mol Vis.* 2017; (23): 753-764

38. Zohdi V, Whelan DR, Wood BR, Pearson JT, Bamberg KR, Black MJ. Importance of tissue preparation methods in FTIR

micro-spectroscopical analysis of biological tissues: "traps for new users". *PLoS One.* 2015; 10(2): e0116491. doi: 10.1371/journal.pone.0116491

39. Ganesh S, Brar S, Rao PA. Cryopreservation of extracted corneal lenticules after small incision lenticule extraction for potential use in human subjects. *Cornea.* 2014; 33(12): 1355-1362. doi: 10.1097/ICO.0000000000000276

40. Huh MI, Lee KP, Kim J, Yi S, Park BU, Kim HK. Generation of femtosecond laser-cut decellularized corneal lenticule using hypotonic trypsin-EDTA solution for corneal tissue engineering. *J Ophthalmol.* 2018; 2018: 2590536. doi: 10.1155/2018/2590536

41. Kostenev SV, Borzenok SA, Lee VG, Nosirov PO. The use of lenticular tissue in corneal refractive surgery. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2021; (1): 68-72. (In Russ.). doi: 10.25276/0235-4160-2021-1-68-72

42. Borzenok SA, Kostenev SV, Doga AV, Shatskikh AV, Li VG, Ostrovskiy DS, et al. Comparative analysis of protocols for decellularization of corneal lenticular tissue. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs.* 2021; 23(2): 137-146. (In Russ.). doi: 10.15825/1995-1191-2021-2-137-146

43. Mohamed-Noriegaarim K, Toh K-P, Poh R, Balehosur D, Riau A, Htoon HM, et al. Cornea lenticule viability and structural integrity after refractive lenticule extraction (ReLEX) and cryopreservation. *Mol Vis.* 2011; (17): 3437-3449.

#### Сведения об авторах

**Бойко Эрнест Витальевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор, Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России; заведующий кафедрой офтальмологии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России; член-корреспондент, ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России, e-mail: pochta@mntk.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Титов Алексей Валерьевич** – заведующий отделением рефракционной хирургии и патологии роговицы, руководитель Глазного Тканевого Банка, Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: mr.titov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6847-4737>

**Масян Янек Иванович** – врач-офтальмолог отделения рефракционной хирургии и патологии роговицы, Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: yanick.masian@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6262-1553>

**Мирсаитова Дилара Равилевна** – врач-офтальмолог отделения рефракционной хирургии и патологии роговицы, Санкт-Петербургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: dilara\_mirsaitova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8825-312X>

#### Information about the authors

**Ernest V. Boiko** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Director, Saint Petersburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; Head of the Ophthalmology Department, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Correspondent Member, S.M. Kirov Military Medical Academy, e-mail: pochta@mntk.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Aleksei V. Titov** – Head of Refractive Surgery and Corneal Pathology Department, Director of the Eye Tissue Bank, Saint Petersburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: mr.titov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6847-4737>

**Janek I. Masian** – Ophthalmologist at the Refractive Surgery and Corneal Pathology Department, Saint Petersburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: yanick.masian@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6262-1553>

**Dilara R. Mirsaitova** – Ophthalmologist at the Refractive Surgery and Corneal Pathology Department, Saint Petersburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: dilara\_mirsaitova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8825-312X>

Статья опубликована в рамках Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «VIII Байкальские офтальмологические чтения «Визуализация в офтальмологии. Настоящее и будущее».