

Обзор
УДК 617.753-089
doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-92-97

Оптические методы коррекции посткератопластической аметропии

М.В. Сеницын, А.Е. Терентьева, Т.Г. Толмачева, Н.А. Поздеева

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Чебоксарский филиал, Чебоксары

РЕФЕРАТ

Цель. Проанализировать преимущества и недостатки существующих оптических методов коррекции посткератопластической аметропии (ПА). **Материал и методы.** При изучении обзора литературы по коррекции ПА был осуществлен поиск источников по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2021 г. включительно. Всего было отобрано 50 статей, относящихся к теме обзора, включающие многолетние наблюдения по применяемым в настоящее время в мире методам оптической коррекции ПА. **Результаты.** На сегодняшний день кроме очковой и контактной коррекции имеется большой выбор различных методов хирургической коррекции ПА: клиновидная резекция, различные варианты кератотомии, имплантация торических интраокулярных линз, факичных торических линз, рефракционные лазерные операции – фоторефракционная кератэктомия, лазерный *in situ* кератомилез, технология ReLEx SMILE, а также имплантация интрастромальных роговичных сегментов. Выбор наиболее оптимального оптического метода коррекции ПА в зависимости от ис-

ходных индивидуальных клинико-функциональных параметров пациента остается на сегодняшний день достаточно актуальным. Это связано как с большим количеством различных методов коррекции ПА, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, что вызывает необходимость в их совершенствовании, так и с потребностью разработки новых техник. **Заключение.** В настоящее время существует большое количество разнообразных методов коррекции ПА, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Необходима разработка систематизированного подхода к персонализированному выбору оптического метода коррекции ПА с учетом его эффективности и безопасности в зависимости от индивидуальных клинико-функциональных данных пациента. Существует потребность в разработке новых методов коррекции, позволяющих эффективно и безопасно корректировать высокие значения ПА, особенно при асимметричном типе кератотопограммы.

Ключевые слова: посткератопластическая аметропия, фемтосекундный лазер, роговичные сегменты, склеральные контактные линзы ■

Для цитирования: Сеницын М.В., Терентьева А.Е., Толмачева Т.Г., Поздеева Н.А. Оптические методы коррекции посткератопластической аметропии. Офтальмохирургия. 2023;2: 92–97. doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-92-97

Автор, ответственный за переписку: Максим Владимирович Сеницын, mntksinich@mail.ru

ABSTRACT

Review

Optical methods for the correction of postkeratoplastic ametropia

M.V. Sinitsyn, A.E. Terent'eva, T.G. Tolmacheva, N.A. Pozdeyeva

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Cheboksary Branch, Cheboksary, Russian Federation

Purpose. The analysis of the advantages and disadvantages of existing optical methods for correcting postkeratoplastic ametropia (PA). **Material and methods.** When studying the literature review on PA correction, a search was carried out for sources in the PubMed and Scopus abstract databases for the period up to 2021 inclusive. In total, 50 articles related to the topic of the review were selected, including long-term observations on the methods of optical correction of PA that are currently used worldwide. **Results.** Today, in addition to spectacle and contact correction, there is a large selection of various

methods of surgical correction of PA: wedge resection, various options for keratotomy, implantation of toric intraocular lenses, phakic toric lenses, refractive laser surgery – photorefractive keratectomy, laser *in situ* keratomileusis, ReLEx SMILE technology, and also implantation of intrastromal corneal segments. The choice of the most optimal optical method for PA correction, depending on the initial individual clinical and functional parameters of the patient, remains quite relevant today. This is due both to a large number of different methods of PA correction, each of which has its own advantages and disadvantages, which necessitates their

improvement, and to the need to develop new techniques. **Conclusion.** Currently, there are a large number of various methods for correcting postkeratoplastic ametropia, each of which has its own advantages and disadvantages. It is necessary to develop a systematic approach to the personalized choice of an optical method for correcting postkeratoplastic ametropia, taking into account its effectiveness and safety, depending on

the individual clinical and functional data of the patient. There is a need for the development of new methods of correction that would effectively and safely correct high values of postkeratoplastic ametropia, especially with an asymmetric type of keratotopogram.

Key words: *postkeratoplastic ametropia, femtosecond laser, corneal segments, scleral contact lenses* ■

For citation: Sinitsyn M.V., Terent'eva A.E., Tolmacheva T.G., Pozdeyeva N.A. Optical methods for the correction of postkeratoplastic ametropia. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;2: 92–97. doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-92-97

Corresponding author: Maxim V. Sinitsyn, mntksinichin@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Выполнение сквозной (СКП) и глубокой передней послойной кератопластики (ГППК) неразрывно связано с возникновением в 100% случаев индуцированного астигматизма различной степени. Высокие значения индуцированного астигматизма являются причиной низкой остроты зрения после кератопластики и неудовлетворенности пациента полученным послеоперационным результатом [1]. По данным различных авторов, астигматизм 5,00 дптр и более диагностируется после СКП у 15–27% пациентов [2].

ЦЕЛЬ

Проанализировать преимущества и недостатки существующих оптических методов коррекции посткератопластической аметропии (ПА).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При изучении обзора литературы по коррекции ПА был осуществлен поиск источников по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2021 г. включительно. Всего было отобрано 50 статей, относящихся к теме обзора, включающих многолетние наблюдения по применяемым в настоящее время в мире методам оптической коррекции ПА.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На сегодняшний день кроме очковой и контактной коррекции имеется большой выбор различных методов хирургической коррекции ПА: клиновидная резекция, различные варианты кератотомии, имплантация торических интраокулярных линз, факичных торических линз, рефракционные лазерные операции – фоторефракционная кератэктомия (ФРК), лазерный *in situ* кератомилез (LASIK), технология ReLEx SMILE (SMall Incision

Lenticula Extraction), а также имплантация интрастромальных роговичных сегментов (ИРС) [3–7].

Очковая и контактная коррекция жесткими газопроницаемыми или склеральными контактными линзами является наиболее доступным и простым способом исправления ПА, который можно использовать еще до снятия роговичного шва. Однако, с другой стороны, применение данных способов ограничено переносимостью пациентом очковой и контактной коррекции при высоких значениях ПА [8–11]. Кроме того, непереносимость контактной коррекции у пациентов может быть связана с риском развития ятрогенного синдрома «сухого глаза» после кератопластики в связи с повреждением нервных волокон субэпителиального нервного сплетения. Это приводит к нарушению качества и количества продуцируемых компонентов слезной жидкости. Механическое сдавление конъюнктивы блефаростатом, вакуумным кольцом фемтосекундного лазера (ФСЛ) во время кератопластики вызывает дополнительное повреждение бокаловидных клеток конъюнктивы Бехера, участвующих в выработке муцинов, которые обеспечивают адгезию слезной пленки к глазной поверхности [12]. При длительном ношении жестких газопроницаемых или склеральных контактных линз уменьшается доступ кислорода к роговице, приводя тем самым к риску хронической гипоксии и ацидозу. Это значительно повышает риск развития у пациентов, перенесших кератопластику, структурных нарушений и гибели клеток роговицы: эпителиопатия, отек стромы, полимегатизм и полиморфизм эндотелия [13].

Одним из методов коррекции высоких значений роговичного астигматизма более 10,0 дптр является клиновидная резекция роговичного трансплантата [14]. Недостатком данной методики являются непредсказуемый послеоперационный результат и длительный срок реабилитации пациентов. Первоначальный гиперэффект операции, связанный с клиновидной резекцией роговичного трансплантата и наложением роговичных швов, может в ряде случаев значительно снижаться после их снятия [15]. По данным исследований Б.Э. Малюгина (1994), после клиновидной резекции роговичного трансплантата было отмечено снижение роговичного астигматизма в среднем с $9,32 \pm 1,69$ до $2,21 \pm 0,30$

дптр, а в отдаленные сроки после операции астигматизм не превышал 3,0 дптр у 71,5% пациентов [16].

Другим способом хирургической коррекции ПА после СКП является нанесение ослабляющих надрезов по рубцу трансплантата, на самом роговичном трансплантате или на периферическом ободке собственной роговицы пациента. В результате операции величина роговичного астигматизма снижалась в среднем на 5,0–7,0 дптр [17]. Основными недостатками методики нанесения ослабляющих надрезов являются высокий риск микро- и макроперфораций, низкая предсказуемость и длительная нестабильность функционального результата [18].

Метод трапециевидной кератотомии, предложенный L.A. Ruiz в 1980 г., позволяет скорректировать до 11,0 дптр роговичного астигматизма при нанесении 5 тангенциальных надрезов по сильной оси роговичного трансплантата и 2 радиальных надрезов по обе стороны от центральной оптической оси [19]. Недостатками данной методики являются гипер- и гипокоррекция, микро- и макроперфорации в ходе операции, развитие неправильного астигматизма, васкуляризация надрезов [20].

В 1994 г. Б.Э. Малюгиным были предложены модификации кератотомии на трансплантате: циркулярно-радиальная и радиально-секторально-тангенциальная. При выполнении циркулярно-радиальной кератотомии надрезы наносились перпендикулярно сильному меридиану роговицы по обеим сторонам от центральной оптической зоны кнаружи на 0,5 мм от рубца трансплантата. После нанесения надреза от его концов к центру роговицы проводились радиальные надрезы длиной до 1,0 мм. Данная операция позволила получить снижение астигматизма с $7,65 \pm 1,32$ до $1,46 \pm 0,29$ дптр. Радиально-секторально-тангенциальная кератотомия заключалась в нанесении 2 тангенциальных и 2 радиальных надрезов в сильном меридиане роговицы по обе стороны от центральной оптической зоны. Надрезы располагались как на трансплантате, так и на собственной роговице реципиента. Результатом операции явилось снижение астигматизма в среднем с $7,46 \pm 0,98$ до $1,75 \pm 0,21$ дптр [16].

В последние годы для формирования кератотомических послабляющих разрезов все чаще применяются различные ФСЛ, позволяющие выполнить их безопасно по строго заданным параметрам. Общим недостатком данной технологии является в основном коррекция астигматизма слабой и средней степени, непредсказуемый отдаленный послеоперационный результат и отсутствие номограмм [21–23].

В настоящее время с целью коррекции ПА, широко используются эксимерлазерные операции – ФПК, LASIK и ReLEx SMILE. О проведении LASIK после СКП впервые сообщили E. Arenas и A. Maglione в 1997 г. [24, 25]. В настоящее время LASIK после СКП проводится как с применением микрокератома, так и с помощью ФСЛ в двух вариантах: одноэтапный и двухэтапный [26].

При одноэтапном варианте формирование клапана и лазерная абляция производятся во время одной про-

цедуры. При двухэтапном варианте на I этапе формируют клапан, затем через 3–6 месяцев II этапом проводят отсроченное поднятие клапана и лазерную абляцию. Проведение двухэтапной операции LASIK объясняется стабилизацией кератотопографических показателей спустя 2–3 месяца после формирования клапана [27]. Однако не во всех случаях удастся поднять клапан с помощью шпателя и приходится повторно срезать клапан с помощью микрокератома или ФСЛ [28]. Дискутабельным остается вопрос о диаметре формируемого клапана: формирование клапана в пределах роговичного трансплантата либо его формирование вне зависимости от диаметра роговичного трансплантата, ориентируясь лишь на его толщину и степень аметропии. При формировании клапана строго в пределах роговичного трансплантата происходит меньшее механическое воздействие на посткератопластический рубец. Однако применение данной методики ограничено диаметром роговичного трансплантата, который должен быть достаточно большим. В противном случае будет получено значительное уменьшение оптической зоны и снижение качества зрения в мезопических условиях, а также увеличится риск рефракционного регресса. Большое значение имеет и центрация роговичного трансплантата относительно зрительной оси пациента [29]. Формировании роговичного клапана, проходящего через область посткератопластического рубца, снижает прочность рубца в проекции клапана и увеличивает риск развития интраоперационных осложнений, начиная от неполного формирования роговичного клапана вплоть до дезадаптации посткератопластического рубца [30]. Особенно данная методика формирования роговичного клапана опасна для пациентов после СПК, выполненной по поводу кератоконуса, так как формирование зон истончения в ободке собственной роговицы повышает риск развития вторичной кератэктазии [31]. Обеспечить точность, предсказуемость и минимизировать травматичность при формировании роговичного клапана в пределах роговичного трансплантата позволяет применение ФСЛ. Однако его применение ограничено при формировании среза в области рубца и парарубцовой области из-за фиброза, снижающего степень прохождения лазерного луча [32]. На этапе абляции наибольшей эффективностью обладает ее персонализированный вариант, который проводится по данным aberрограммы или кератотопограммы [33]. Большой вклад в персонализированный подход к рефракционной лазерной коррекции ПА внесла работа А.Н. Каримовой и соавт. (2012), в которой подробно изложена методика персонализированной лазерной абляции по данным кератотопографии с помощью компьютерной программы «Кераскан» [34].

Общим недостатком эксимерлазерных операций на роговичном трансплантате являются: несостоятельность рубца во время наложения вакуумного кольца; осложнения связанные с формированием клапана; риск развития ятрогенного синдрома «сухого глаза» и инфекцион-

ных осложнений и рефракционный регресс операций. Так, рядом авторов отмечен регресс сферического компонента рефракции до $-2,0$ – $-3,0$ дптр практически без увеличения астигматизма более чем в 50% случаев через 6 месяцев после операции и практически полного регресса рефракционного результата к 2 годам после операции [35]. Послеоперационный регресс авторы связывают с ранним проведением операции LASIK до полной стабилизации рефракции, возникающей, по их мнению, после СКП только через 2 года после снятия роговичного шва [36]. Регресс рефракционного эффекта авторы также связывают с наличием эктазии в роговице донора, рецидивом эктазии на трансплантате, прогрессированием эктазии в остаточной роговице реципиента [37].

В последние годы для коррекции ПА находит свое применение и технология ReLEx SMILE. В 2016 г. T.H. Massoud, O. Ibrahim, K. Shehata и соавт. впервые сообщили о предварительных результатах коррекции ПА по технологии SMILE. Преимуществом данной технологии перед LASIK является сохранность биомеханических свойств роговицы за счет удаления лентикулы через микроразрез, а также минимизация риска развития ятрогенного синдрома «сухого глаза». Однако применение данной технологии ограничено исходной толщиной роговичного трансплантата и величиной ПА [38]. У данного метода коррекции возможны и осложнения, встречающиеся после рефракционных лазерных операций [39]. Так в 2019 г. H. Hashemi и соавт. представили клинический случай реакции стромы, сопровождающейся роговичным синдромом через 1 неделю после операции ReLEx SMILE, выполненной у пациента после ГППК для коррекции послеоперационного роговичного астигматизма [40].

Одним из эффективных методов коррекции ПА при наличии помутнения хрусталика является факэмульсификация катаракты с имплантацией псевдофакичной интраокулярной торической линзы, а при прозрачном хрусталике – имплантация факичной интраокулярной торической линзы. Однако для имплантации вышеуказанных интраокулярных линз необходимо наличие регулярного симметричного астигматизма по данным кератотопографии [41]. Недостатком данных операций является индуцированное снижение плотности эндотелиальных клеток (ПЭК) роговичного трансплантата, значение которого и так уменьшается в течение 1 года после СКП [42]. По данным разных авторов, потеря ПЭК через 36 месяцев после факэмульсификации катаракты (прозрачного хрусталика) с имплантацией псевдофакичной интраокулярной торической линзы составляет в среднем 30,4–32,0%, после имплантации факичной интраокулярной торической линзы – 0,78–9,1% [43].

В последние годы все большую популярность в коррекции ПА приобретает имплантация интрароговичных сегментов (ИРС). Данная операция выполняется при симметричном типе кератотопограммы и является безопасной и обратимой. Имплантация ИРС позволяет повы-

сить клинико-функциональные результаты за счет уплотнения роговичного трансплантата, увеличения его сферичности и регулярности, приводящих к уменьшению сферического и цилиндрического компонентов рефракции и повышению остроты зрения [42, 43]. Важной особенностью являются стойкий рефракционный результат, стабильность кератометрических показателей, отсутствие статистически значимого снижения ПЭК после имплантации ИРС в роговичный трансплантат в отдаленном послеоперационном периоде [35].

Первые результаты имплантации ИРС у пациента после СКП были опубликованы E. Coskunseven и соавт. в 2007 г. Ими был описан клинический случай коррекции ПА после имплантации ИРС у пациента с эктазией роговичного трансплантата через 15 лет после СКП [44]. В последние годы рядом авторов были представлены сообщения об эффективности имплантации ИРС для коррекции ПА с длиной дуги 340° и 359° [45, 46]. Для правильного позиционирования входного среза интрастромального тоннеля и расположения ИРС разработаны различные методики их разметки. В последнее время все большую популярность приобретает применение цифрового разметочного устройства для правильного позиционирования ИРС [47].

Общим относительным недостатком имплантации ИРС являются световые феномены (блики, галоэффекты, засветы) при попадании в поле зрения края ИРС при расширении зрачка в мезо- и скотопических условиях. При имплантации ИРС также возможны осложнения: децентрация, смещение ИРС, инфекционные осложнения, дезадаптация края роговичного трансплантата при имплантации ИРС [48].

Таким образом, выбор наиболее оптимального оптического метода коррекции ПА в зависимости от исходных индивидуальных клинико-функциональных параметров пациента остается на сегодняшний день достаточно актуальным. Это связано как с большим количеством различных методов коррекции ПА, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, что вызывает необходимость в их усовершенствовании, так и с потребностью разработки новых техник.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время существует большое количество разнообразных методов коррекции ПА, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Необходима разработка систематизированного подхода к персонализированному выбору оптического метода коррекции ПА с учетом его эффективности и безопасности в зависимости от индивидуальных клинико-функциональных данных пациента.

Существует потребность в разработке новых методов коррекции, позволяющих эффективно и безопасно корригировать высокие значения ПА, особенно при асимметричном типе кератотопограммы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Singh NP, Said DG, Dua HS. Lamellar keratoplasty techniques. *Indian J Ophthalmol.* 2018;66(9):1239-1250. doi: 10.4103/ijo.IJO_95_18.
2. Слонимский Ю.Б., Слонимский А.Ю., Джафарли Т.Б., Вдовина Г.А. Рефракционный статус и его динамика после сквозной пересадки роговицы. Анализ многолетних наблюдений. VI Российский симпозиум по рефракционной и пластической хирургии глаза. Материалы съезда. М.; 2002: 27–29. [Slonimskii YuB, Slonimskii AY, Dzharfarli TB, Vdovina GA. Refractive status and its dynamics after end-to-end corneal transplantation. Analysis of long-term observations. VI Russian Symposium on Refractive and Plastic Surgery of the Eye. Materials of the Congress. M.; 2002: 27–29. (In Russ.)]
3. Волкова О.С., Мороз З.И., Токмакова А.Н. Проблема коррекции астигматизма после сквозной кератопластики. XII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Федоровские чтения-2014». Материалы съезда. М.; 2014: 33. [Volkova OS, Moroz ZI, Tokmakova AN. The problem of correction of astigmatism after end-to-end keratoplasty. XII All-Russian scientific and practical conference with international participation «Fedorov Readings-2014». Materials of the congress. M.; 2014: 33. (In Russ.)]
4. Elkadim M, Myerscough J, Bovone C, Busin M. Astigmatism orientation after deep anterior lamellar keratoplasty for keratoconus and its correlation with preoperative peripheral corneal astigmatism. *Cornea.* 2020;39(2): 192–195. doi: 10.1097/ICO.0000000000002175
5. Feuerstacke J, Hellwinkel O, Naydis I, Linke S, Klemm M. Astigmatism after keratoplasty: influence of orthotopic transplantation. *Ophthalmologie.* 2014;111(9): 846–852. doi: 10.1007/s00347-013-2977-9
6. Asena L, Altınörs DD. Visual rehabilitation after penetrating keratoplasty. *Exp Clin Transplant.* 2016;14(Suppl 3): 130–134.
7. Hjortdal J, Søndergaard A, Fledelius W, Ehlers N. Influence of suture regularity on corneal astigmatism after penetrating keratoplasty. *Acta Ophthalmol.* 2011;89(5): 412–416. doi: 10.1111/j.1755-3768.2009.01729.x
8. Montalt JC, Porcar E, España-Gregori E, Peris-Martínez C. Corneal contact lenses for visual rehabilitation after keratoplasty surgery. *Cont Lens Anterior Eye.* 2020;43(6): 589–594. doi: 10.1016/j.clae.2020.04.009
9. Rocha GA, Miziara PO, Castro AC, Rocha AA. Visual rehabilitation using mini-scleral contact lenses after penetrating keratoplasty. *Arq Bras Oftalmol.* 2017;80(1): 17–20. doi: 10.5935/0004-2749.20170006
10. Altay Y, Balta O, Burcu A, Ornek F. Hybrid contact lenses for visual management of patients after keratoplasty. *Niger J Clin Pract.* 2018;21(4): 451–455. doi: 10.4103/njcp.njcp_103_17
11. Gogri P, Bhombal FA. A new technique for fitting of tricurve rigid gas-permeable contact lens in penetrating keratoplasty eyes using Scheimpflug imaging. *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(6): 1057–1060. doi: 10.4103/ijo.IJO_936_19
12. Giasson CJ, Morency J, Melillo M, Michaud L. Oxygen tension beneath scleral lenses of different clearances. *Optom Vis Sci.* 2017;94(4): 466–475. doi: 10.1097/OPX.0000000000001038
13. Vincent SJ, Alonso-Caneiro D, Collins MJ. The time course and nature of corneal oedema during sealed miniscleral contact lens wear. *Cont Lens Anterior Eye.* 2019;42(1): 49–54. doi: 10.1016/j.clae.2018.03.001
14. Mejia LF, Gil JC, Naranjo S. Long-term results of corneal wedge resection for high postkeratoplasty astigmatism. *Cornea.* 2020;39(5): 535–539. doi: 10.1097/ICO.0000000000002176
15. Çakir H, Genç S, Güler E. Circular keratotomy combined with wedge resection in the management of high astigmatism after penetrating keratoplasty. *Eye Contact Lens.* 2018;44(Suppl 2): S392–S395. doi: 10.1097/ICL.0000000000000502
16. Малюгин Б.Э. Хирургическая коррекция астигматизма после сквозной кератопластики. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 1994. [Malyugin BE. Khirurgicheskaya korrektsiya astigmatizma posle skvoznoy keratoplastiki [Dissertation]. M.; 1994. (In Russ.)]
17. Lavery GW, Lindstrom RL, Hofer LA, Doughman DJ. The surgical management of corneal astigmatism after penetrating keratoplasty. *Ophthalmic Surg.* 1985;16(3): 165–169.
18. Swinger CA. Postoperative astigmatism. *Surv Ophthalmol.* 1987;31(4): 219–248. doi: 10.1016/0039-6257(87)90023-3
19. Ruiz LA. Refractive surgery: a text of radial keratotomy. New Jersey: Slack Inc; 1985: 180.
20. Ruiz LA. Trapezoidal keratotomy. Highlights of Ophthalmology: Refractive surgery with the masters. Panama; 1987.
21. Gu ZY, Ye MJ, Ji KK, Liao RF. Effects of astigmatic keratotomy combined with scleral tunnel incisions for the treatment of high astigmatism after penetrating keratoplasty. *Exp Ther Med.* 2019;17(1): 495–501. doi: 10.3892/etm.2018.6968
22. anNakhli F, Khattak A. Vector analysis of femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy after deep anterior lamellar keratoplasty and penetrating keratoplasty. *Int Ophthalmol.* 2019;39(1): 189–198. doi: 10.1007/s10792-017-0803-0
23. Костенев С.В. Современная концепция хирургии роговицы на основе использования фемтосекундного лазера: Дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2014. [Kostenen SV. Modern concept of corneal surgery based on the use of femtosecond laser [Dissertation]. M.; 2014. (In Russ.)]
24. Arenas E, Maglione A. Laser *in situ* keratomileusis for astigmatism and myopia after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 1997;13(1): 27–32.
25. Arenas E, Garsia J. LASIK for myopia and astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 1997; 13(6): 501–502.
26. Дог А.В., Качалина Г.Ф., Кишкин Ю.И. Фемтосекундный лазер – новые возможности в рефракционной хирургии. VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Федоровские чтения-2009». Материалы съезда. М.; 2009: 162–163. [Doga AV, Kachalina GF, Kishkin YuI. Femtosecond laser – new opportunities in refractive surgery. VII All-Russian scientific and practical conference with international participation «Fedorov Readings-2009». Materials of the congress. M.; 2009: 162–163. (In Russ.)]
27. Busin M, Zambianchi L, Garzzone F. Two-stage laser *in situ* keratomileusis to correct refractive errors after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2003;19(3): 301–308.
28. Mularoni A, Laffi GL, Bassein L. Two-step LASIK with topography guided ablation to correct astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2006;22(1): 67–74.
29. Donoso R, Díaz C, Villavicencio P. Long-term results of laser refractive error correction after penetrating keratoplasty in patients with keratoconus. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2015;90(7): 308–311. doi: 10.1016/j.ofal.2014.11.009
30. Barequet IS, Hirsh A, Levinger S. Femtosecond thin-flap LASIK for the correction of ametropia after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2010;26(3): 191–196. doi: 10.3928/1081597X-20100224-05
31. Lee HS, Kim MS. Factors related to the correction of astigmatism by LASIK after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2010;26(12): 960–965. doi: 10.3928/1081597X-20100212-07
32. Pasquali T, Krueger R. Topography-guided laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol.* 2012;23(4): 264–268. doi: 10.1097/ICU.0b013e328354adf0
33. Güell JL, Velasco F. Topographically guided ablations for the correction of irregular astigmatism after corneal surgery. *Int Ophthalmol Clin.* 2003;43(3): 111–128. doi: 10.1097/00004397-200343030-00011
34. Каримова А.Н. Оптимизация кераторефракционных лазерных методов лечения пациентов с индуцированной аметропией после сквозной кератопластики. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2012. [Karimova AN. Optimization of keratorefractive laser methods of treatment of patients with induced ametropia after end-to-end keratoplasty [Dissertation]. M.; 2012. (In Russ.)]
35. Токмакова А.Н. Клинико-теоретическое обоснование имплантации интрастромальных роговичных сегментов с целью коррекции астигматизма после сквозной кератопластики у пациентов с кератоконусом. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2017: 94–96. [Tokmakova AN. Clinical and theoretical justification of implantation of intrastromal corneal segments in order to correct astigmatism after end-to-end keratoplasty in patients with keratoconus [Dissertation]. M.; 2017: 94–96. (In Russ.)]
36. Vajpayee RB, Sharma N, Sinha R, Bhartiya P, Titiyal JS, Tandon R. Laser *in-situ* keratomileusis after penetrating keratoplasty. *Surv Ophthalmol.* 2003;48(5): 503–514. doi: 10.1016/s0039-6257(03)00085-7
37. Ильичева Е.В. Фоторефрактивная кератэктомия на эксимерной установке «ПРОФИЛЬ-500» в коррекции остаточной миопической рефракции после сквозной кератопластики на глазах с кератоконусом. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2001: 27. [Il'icheva EV. Photorefractive keratectomy on an excimer device «PROFILE-500» in the correction of residual myopic refraction after end-to-end keratoplasty on eyes with keratoconus [Dissertation]. M.; 2001: 27. (In Russ.)]
38. Massoud TH, Ibrahim O, Shehata K, Abdalla MF. Small incision lenticule extraction for postkeratoplasty myopia and astigmatism. *J Ophthalmol.* 2016;2016: 3686380. doi: 10.1155/2016/3686380
39. Kim BK, Mun SJ, Lee DG, Chung YT. Bilateral small incision lenticule extraction (SMILE) after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2016;32(9): 644–647. doi: 10.3928/1081597X-20160526-01
40. Hashemi H, Aghamirsalam M, Asgari S. Stromal rejection after SMILE for the correction of astigmatism after graft. *J Refract Surg.* 2019;35(11): 737–739. doi: 10.3928/1081597X-20191010-01
41. Hassenstein A, Niemeck F, Giannakakis K, Klemm M. Toric add-on intraocular lenses for correction of high astigmatism after pseudophakic keratoplasty. *Ophthalmologie.* 2017;114(6): 549–555. doi: 10.1007/s00347-016-0386-6
42. Chan TCY, Ng ALK, Wang Z, Chang JSM, Cheng GPM. Five-year changes in corneal astigmatism after combined femtosecond-assisted

phacoemulsification and arcuate keratotomy. Am J Ophthalmol. 2020;217: 232–239. doi: 10.1016/j.ajo.2020.05.004

43. Lake JC, Victor G, Clare G, Porfirio GJ, Kernohan A, Evans JR. Toric intraocular lens versus limbal relaxing incisions for corneal astigmatism after phacoemulsification. Cochrane Database Syst Rev. 2019;12(12): CD012801. doi: 10.1002/14651858.CD012801.pub2

44. Arantes JCD, Coscarelli S, Ferrara P, Araújo LPN, Ávila M, Torquetti L. Intrastromal corneal ring segments for astigmatism correction after deep anterior lamellar keratoplasty. J Ophthalmol. 2017;2017: 8689017. doi: 10.1155/2017/8689017

45. Мороз З.И., Токмакова А.Н., Волкова О.С. Фемтосекундная интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичных сегментов в коррекции астигматизма после сквозной кератопластики по поводу кератоконуса. Современные технологии в офтальмологии. 2016;3: 14–17. [Moroz ZI, Tokmakova AN, Volkova OS. Femtosecond intrastromal keratoplasty with implantation of corneal segments in correction of astigmatism after end-to-end keratoplasty for keratoconus. Modern technologies in ophthalmology. 2016;3: 14–17. (In Russ.)]

46. Coskunseven E, Kymionis GD, Talu H. Intrastromal corneal ring segment implantation with the femtosecond laser in a post-keratoplasty patient with recurrent keratoconus. J Cataract Refract Surg. 2007;33(10): 1808–1810. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.05.042

47. Tzelikis PF, Jácome AHGM, Rocha GAN, Hida WT, Barbosa de Souza L. Clinical outcomes after femtosecond laser-assisted implantation of an intrastromal corneal ring segment with a 340-degree arc length in postkeratoplasty patients: 12-month follow-up. J Cataract Refract Surg. 2020;46(1): 78–85. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.08.006

48. Григорян А.Р., Калинин Ю.Ю., Иошин И.Э. Первый опыт имплантации разомкнутых интрастромальных колец в коррекции астигматизма высокой степени после кератопластики. Современные технологии в офтальмологии. 2015;3(7): 56–59. [Grigoryan AR, Kalinnikov YuYu, Ioshin IE. The first experience of implantation of open intrastromal rings in the correction of high-grade astigmatism after keratoplasty. Modern technologies in ophthalmology. 2015;3(7): 56–59. (In Russ.)]

Информация об авторах

Максим Владимирович Синицын, к.м.н., mntksinich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7285-1782>

Анна Евгеньевна Терентьева, врач-офтальмолог, anyaterentieva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7719-8778>

Татьяна Геннадьевна Толмачева, врач-офтальмолог, elcareva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6118-8017>

Надежда Александровна Поздеева, д.м.н., npozdeeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3637-3645> **Information about the authors**

Maksim V. Sinitsyn, PhD in Medicine, mntksinich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7285-1782>

Anna E. Terent'eva, Ophthalmologist, anyaterentieva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7719-8778>

Tat'yana G. Tolmacheva, Ophthalmologist, elcareva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6118-8017>

Nadezhda A. Pozdeeva, Doctor of Sciences in Medicine, npozdeeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3637-3645>

Вклад авторов в работу:

М.В. Синицын: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.

А.Е. Терентьева: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.

Т.Г. Толмачева: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, редактирование.

Н.А. Поздеева: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors contribution:

M.V. Sinitsyn: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing, editing.

A.E. Terent'eva: significant contribution to the conception and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing, editing.

T.G. Tolmacheva: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of the material, editing.

N.A. Pozdeeva: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом или некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 22.02.2023

Переработана: 08.04.2023

Принята к печати: 16.05.2023

Originally received: 22.02.2023

Final revision: 08.04.2023

Accepted: 16.05.2023