

Научная статья
УДК 617.753.2-089
doi: 10.25276/0235-4160-2022-1-20-25

Коррекция астигматизма после сквозной кератопластики методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов с применением фемтосекундного лазера

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

РЕФЕРАТ

Цель. Анализ клинико-функциональных результатов коррекции астигматизма после сквозной кератопластики методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов (ИРС) с применением фемтосекундного лазера (ФСЛ). **Материал и методы.** В клиническое исследование вошли 22 пациента (22 глаза), которым были имплантированы ИРС с применением ФСЛ с целью коррекции посткератопластического астигматизма. До операции некорригированная острота зрения (НКОЗ) в среднем составила $0,09 \pm 0,05$, корригированная острота зрения (КОЗ) – $0,30 \pm 0,12$, величина сферического компонента рефракции (СКР) – $1,16 \pm 3,98$ дптр, цилиндрического компонента рефракции (ЦКР) – $-10,25 \pm 4,80$ дптр, среднее значение кератометрии (Кср) –

$43,59 \pm 2,14$ дптр, корнеальный гистерезис (КГ) – $7,92 \pm 1,22$ мм рт.ст., фактор резистентности роговицы (ФРР) – $7,01 \pm 1,81$ мм рт.ст. **Результаты.** Интра- и послеоперационных осложнений отмечено не было. Через 12 месяцев после операции НКОЗ составила $0,50 \pm 0,16$, КОЗ – $0,60 \pm 0,05$; СКР – $1,05 \pm 2,11$ дптр, ЦКР – $-2,20 \pm 0,64$ дптр, Кср – $38,56 \pm 1,75$ дптр, КГ – $8,95 \pm 1,05$ мм рт.ст., ФРР – $8,44 \pm 1,44$ мм рт.ст. **Заключение.** Метод имплантации интрастромальных роговичных сегментов в роговичный трансплантат с применением фемтосекундного лазера продемонстрировал высокую рефракционную эффективность и безопасность при коррекции посткератопластического астигматизма, а также повысил биомеханические свойства роговичного трансплантата.

Ключевые слова: индуцированный астигматизм, интрароговичные сегменты, фемтосекундный лазер, кератопластика ■

Для цитирования: Сеницын М.В., Терентьева А.Е., Толмачева Т.Г., Поздеева Н.А. Коррекция астигматизма после сквозной кератопластики методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов с применением фемтосекундного лазера. Офтальмохирургия. 2022;1: 20–25. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-1-20-25>

Автор, ответственный за переписку: Анна Евгеньевна Терентьева, anyaterentieva@yandex.ru

ABSTRACT

Original article

Astigmatism correction after penetrating keratoplasty by intrastromal corneal segments implantation using a femtosecond laser

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

Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Cheboksary branch, Russian Federation

Purpose. Analysis of clinical and functional results of astigmatism correction after penetrating keratoplasty by intrastromal segment implantation (ICS) using a femtosecond laser (FSL). **Material and methods.** The clinical study included 22 patients (22 eyes) who were implanted ICS using FSL in order to correct postkeratoplastic astigmatism. Before surgery, uncorrected visual acuity (UCVA) averaged $0,09 \pm 0,05$, best corrected visual acuity (BCVA) – $0,3 \pm 0,22$,

the value of the spherical component of refraction (SCR) – $1,16 \pm 3,98$ D, cylindrical component of refraction (CCR) – $-10,25 \pm 4,80$ D, mean keratometry value (Kave) – $43,59 \pm 3,99$ D, corneal hysteresis (CH) – $7,94 \pm 1,44$ mm Hg, corneal resistance factor (CRF) – $7,01 \pm 1,81$ mm Hg. **Results.** Intra- and postoperative complications were not observed. 12 months after the operation, the UCVA was $0,50 \pm 0,16$, the BCVA – $0,60 \pm 0,18$; SCR – $1,05 \pm 3,18$ D, CCR – $-2,22 \pm 0,82$ D, Kave –

38.56±1.96 D, CH – 8.93±1.13 mm Hg, CRF – 8.44±1.44 mm Hg.

Conclusion. The method of the intrastromal corneal segments implantation into a corneal graft using a femtosecond laser has demonstrated high refractive efficiency and safety in correcting

postkeratoplastic astigmatism and increased the biomechanical properties of the corneal graft.

Key words: induced astigmatism, intracorneal segments, femtosecond laser, keratoplasty ■

For quoting: Siniitsyn M.V., Terent'eva A.E., Tolmacheva T.G., Pozdeyeva N.A. Astigmatism correction after penetrating keratoplasty by intrastromal corneal segments implantation using a femtosecond laser. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2022;1: 20–25.
<https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-1-20-25>

Corresponding author: Anna E. Terent'eva, anyaferentieva@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

По данным литературы, после сквозной кератопластики (СКП) в каждом случае отмечен индуцированный роговичный астигматизм от легкой до высокой степени [1]. При индуцированном роговичном астигматизме высокой степени зрение пациента значительно снижается, что в итоге приводит к неудовлетворенности послеоперационным результатом [2]. По данным ряда авторов, к основным факторам, влияющим на возникновение посткератопластических аметропий, в том числе астигматизма, относятся следующие: 1) эксцентричное расположение трансплантата по отношению к зрительной оси; 2) овальная форма трансплантата и(или) ложа, наличие ступенек и скосов по краям среза; 3) несовпадение по толщине донорской роговицы и роговицы реципиента; 4) неравномерное наложение и натяжение роговичного обвивного шва (сочетание коротких и длинных стежков шва, а также участков часто и редко наложенных стежков), раннее удаление обвивного шва; 5) наличие астигматизма и эктазии в донорской роговице [14]. На наш взгляд, одной из основных причин возникновения посткератопластического астигматизма является несоответствие по толщине роговицы в верхней и нижней половине, так как у всех пациентов с кератоконусом происходит смещение истонченной вершины конуса книзу.

На сегодняшний день имеется большой выбор как нехирургических, так и хирургических методов коррекции астигматизма после СКП [3]. Каждый метод имеет свои положительные и отрицательные стороны. Посткератопластический астигматизм слабой и средней степени поддается коррекции очками и контактными линзами [4]. Однако очки не позволяют скорригировать посткератопластический астигматизм высокой степени. Даже посткератопластический астигматизм средней степени, скомпенсированный при помощи очков, является в ряде случаев непереносимым для пациентов. Применение контактной коррекции помогает решить многие вопросы очковой коррекции. Но контактная коррекция также не лишена недостатков, таких как сложность подбора контактных линз, непереносимость контактной коррекции, а также риск возникновения неоваскуляризации роговицы [5].

Кроме очковой и контактной коррекции, имеется большой выбор различных методов хирургической коррекции посткератопластического астигматизма: клиновидная резекция, различные варианты кератотомии, имплантация торических интраокулярных линз, факичных торических линз, рефракционные операции – фоторефракционная кератэктомия, лазерный *in situ* кератомилез и операция ReLEx SMILE [6]. Эти методы имеют свои плюсы и минусы. К основному плюсу можно отнести коррекцию высокой степени посткератопластического астигматизма до 10 дптр [7]. Среди основных минусов при клиновидной резекции и кератотомии – высокий риск микро- и макроперфораций, низкая предсказуемость и длительная нестабильность функционального результата, при рефракционных лазерных операциях – регресс в течение 1–2 лет после операции достигнутого рефракционного результата, при имплантации торических интраокулярных и факичных торических линз – необходимость исправления регулярного астигматизма после СКП [8–10].

В последние годы для коррекции посткератопластического астигматизма широкое распространение получила интрастромальная кератопластика (ИСКП) с имплантацией интрастромальных роговичных сегментов (ИРС). Имплантация ИРС позволяет получить высокий послеоперационный результат коррекции посткератопластического астигматизма только при симметричном типе кератотопограммы [11]. Данная операция является безопасной и обратимой. При формировании интрастромального тоннеля для имплантации ИРС срез не затрагивает центральную оптическую зону пациента и позволяет в течение 6 месяцев после операции достичь высоких клинко-функциональных результатов за счет равномерного растяжения роговицы между имплантируемыми ИРС, приводящего к повышению сферичности и регулярности роговичного трансплантата [12]. Метод имплантации ИРС позволяет также увеличить биомеханические свойства роговичного трансплантата за счет создания в нем дополнительного «ребра жесткости» [13]. Поиск индивидуального подхода к коррекции индуцированного астигматизма у пациентов после СКП является достаточно актуальным, так как важно не только скомпенсировать его, но и не ослабить при этом биомеханические свойства роговичного трансплантата.

ЦЕЛЬ

Анализ клинико-функциональных результатов коррекции астигматизма после СКП методом имплантации ИРС с применением фемтосекундного лазера (ФСЛ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследованы 22 пациента (22 глаза). У всех пациентов выполнена имплантация ИРС с применением ФСЛ для коррекции посткератопластического астигматизма. ИРС разработаны в ООО «Научно-экспериментальное производство Микрохирургия глаза» (НЭП МГ) на основе полиметилметакрилата и представляют собой сегменты кольца с дугой 160, поперечным срезом в форме полусферы, основанием 0,6 мм. Внутренний диаметр сегмента составляет 5,0 мм, наружный – 6,2 мм. Высота сегмента – от 150 до 450 мкм, с шагом в 50 мкм. У всех пациентов в анамнезе СКП с применением ФСЛ была проведена по поводу помутнения роговицы. После СКП прошло от 2,9 до 6,4 года (в среднем $3,7 \pm 2,2$ года). Возраст пациентов варьировал от 25 до 40 лет и составил в среднем $34,6 \pm 4,5$ года. Среди них были 10 женщин и 12 мужчин.

По данным биомикроскопического исследования, у всех пациентов роговичный трансплантат был прозрачен. Диаметр роговичного трансплантата составил 8,0 мм.

Имплантация ИРС с применением ФСЛ проводилась под местной анестезией в два этапа. Первым этапом в пределах роговичного трансплантата формировали интрастромальный тоннель с внутренним диаметром резекции 5,0 мм, наружным – от 6,0 до 6,2 мм в зависимости от высоты имплантируемого ИРС с целью профилактики их миграции в послеоперационном периоде, на глубине 80% от толщины роговичного трансплантата в проекции формирования интрастромального тоннеля с использованием ФСЛ «ФемтоВизум» 1 МГц. Вторым этапом в сформированный интрастромальный тоннель с помощью пинцета имплантировали по два ИРС одинаковой высоты и длины дуги. Параметры ИРС рассчитывались по разработанной нами номограмме в зависимости от величины сферозэквивалента рефракции и данных кератотопограммы, учитывая огромный опыт проведения имплантации ИРС при кератэктазиях роговицы [13].

До и после операции всем пациентам кроме стандартных были выполнены специальные методы исследования переднего отрезка глаза: оптическая когерентная томография (ОКТ) роговичного трансплантата с помощью томографа Visante OCT (Zeiss, Германия) для определения пахиметрических данных роговичного трансплантата, кератотопография роговичного трансплантата (Томеу-5, Япония) для определения формы кривизны роговичного трансплантата, кератотопографических индексов, среднего значения кератометрии (Кср), величины роговичного астигматизма, анализ вязкоэла-

стических свойств роговичного трансплантата (фактора резистентности роговицы (ФРР) и корнеального гистезиса (КГ)) с помощью аппарата ORA (Reichert, США), конфокальная микроскопия с подсчетом эндотелиальных клеток на аппарате Confoscan-4 (Nidek, Япония), подсчет количества клеток и поток белка во влаге передней камеры при помощи лазерной тиндалеметрии на аппарате FC-2000 (Kowa Япония). Срок наблюдения составил в среднем 12 месяцев (от 10 до 14 мес.).

Статистический анализ был выполнен на ноутбуке с установленным на нем программным обеспечением по статистической обработке данных Statistica 7.1 (программный продукт StatSoft, США). При проведении статистического анализа было определено нормальное распределение показателей в выборке. Таким образом, достоверность различий изучаемых параметров в сроки на следующий день, через 6 и 12 месяцев после операции оценивались по сравнению с их дооперационными значениями по параметрическому критерию t для зависимых переменных. Различия изучаемых параметров считали достоверными при $p < 0,05$.

Индекс эффективности высчитывался по отношению некорригированной остроты зрения (НКОЗ) после операции к корригированной остроте зрения (КОЗ) до операции, индекс безопасности – по отношению КОЗ после операции к КОЗ до операции [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интра- и послеоперационных осложнений не наблюдалось.

Биомикроскопия. При биомикроскопии все оперированные глаза были спокойные, ИРС располагались симметрично в роговичном трансплантате (рис. 1). НКОЗ увеличилась на $0,11 \pm 0,05$, КОЗ – на $0,12 \pm 0,07$; сферический компонент рефракции (СКР) снизился на $0,03 \pm 0,10$ дптр, цилиндрический компонент рефракции (ЦКР) – на $5,95 \pm 1,16$ дптр, что связано с симметричным растяжением роговичного трансплантата между имплантируемыми ИРС (таблица). Через 6 месяцев после операции НКОЗ увеличилась еще на $0,28 \pm 0,05$, КОЗ – еще на $0,21 \pm 0,11$, СКР снизился еще на $0,08 \pm 0,03$ дптр, ЦКР – еще на $2,1 \pm 0,42$ дптр и больше не менялись. Через 12 месяцев после операции индекс безопасности составил 1,5, индекс эффективности – 1,25.

Оптическая когерентная томография роговицы. По данным ОКТ роговицы, ИРС находились в правильном положении в глубоких слоях стромы роговичного трансплантата, согласно заданной предоперационной расчетной глубине (рис. 2). Минимальное значение пахиметрии в центральной зоне в 1-й день после операции увеличилось на $37,67 \pm 16,1$ мкм, что связано с незначительным отеком стромы роговичного трансплантата. Через 1 месяц этот показатель достиг дооперационных значений и больше не менялся.

Кератотопография. Кср, по данным кератотопографии снизилось в 1-й день после операции на $3,89 \pm 0,28$ дптр, через 6 месяцев – еще на $1,2 \pm 0,21$ дптр за счет уплощения роговичного трансплантата между имплантированными ИРС. Surface Regularity Index (SRI) в 1-й день после операции понизился на $0,33 \pm 0,15$ и затем еще на $0,07 \pm 0,04$ спустя 6 месяцев после операции и больше не менялся; Surface Asymmetry Index (SAI) снизился в среднем на $0,13 \pm 0,05$ в 1-й день после операции и еще на $0,09 \pm 0,04$ через 6 месяцев после операции и больше не менялся.

Анализ биомеханических свойств роговицы. На следующий день после операции КГ увеличился на $0,3 \pm 0,17$ мм рт.ст. и затем еще на $0,7 \pm 0,24$ мм рт.ст. через 6 месяцев после операции и больше не менялся. ФРР на следующий день после операции повысился на $0,4 \pm 0,24$ мм рт.ст. и затем еще на $1,0 \pm 0,23$ мм рт.ст. через 6 месяцев после операции и больше не менялся. Повышение биомеханических свойств роговичного трансплантата связано с созданием в нем после имплантации ИРС дополнительного «ребра жесткости», что позволило стабилизировать полученный рефракционный результат в течение всего периода наблюдения.

Анализ плотности эндотелиальных клеток. Ни у одного из пациентов не было отмечено статистически значимого снижения плотности эндотелиальных клеток (ПЭК) в течение всего периода наблюдения.

Лазерная тиндалеметрия. При проведении лазерной тиндалеметрии у всех пациентов на следующий день после операции выявлен незначительный прирост потока белка в среднем на $0,68 \pm 0,27$ ф/мс и количества клеток во влаге передней камеры на $0,893 \pm 0,11$ кл/мм². Несмотря на это, вышеуказанные показатели оставались в пределах нормы. На 3-й день после операции эти показатели достигли дооперационных значений и больше не менялись.

Отсутствие снижения ПЭК роговицы и воспалительного процесса после операции по данным лазерной тиндалеметрии свидетельствуют о безопасности имплантации ИРС в роговичный трансплантат с применением ФСЛ.

Конфокальная микроскопия. По данным конфокальной микроскопии, до операции роговичный трансплантат у всех пациентов был прозрачный. Спустя 1 месяц после операции в задних отделах стромы роговичного трансплантата в проекции расположения тоннеля было отмечено увеличение кератоцитов с повышенной отражательной способностью. В области имплантатов было отмечено появление участков с повышенной отражательной способностью, фиброцитов, а также незначительно отечных стромальных нервов с повышенной отражательной способностью, что говорило о реакции роговичного трансплантата на проведенную хирургию. В проекции интрастромального тоннеля визуализировались ИРС. Отражение световых лучей от ИРС затрудняло визуализацию под ними глубже лежащих от-

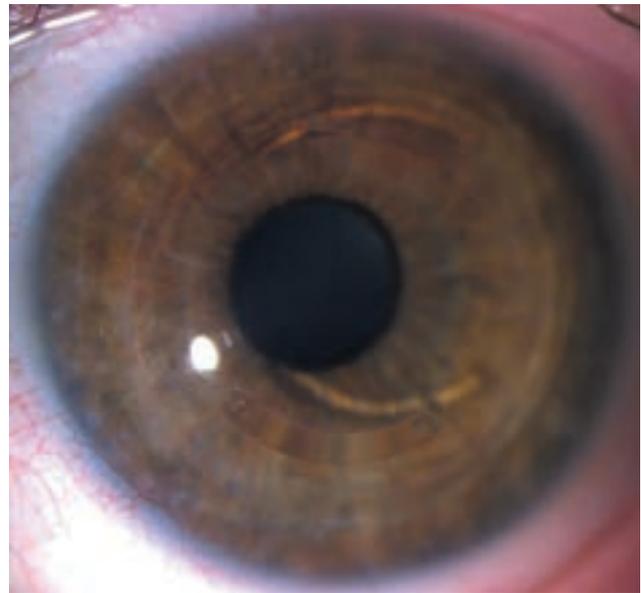


Рис. 1. Внешний вид глаза на следующий день после имплантации интрастромальных роговичных сегментов в роговичный трансплантат с применением фемтосекундного лазера

Fig. 1. Eye on the next day after intrastromal segment implantation using a femtosecond laser

делов задней стромы роговичного трансплантата и эндотелия. Над ИРС определялось незначительное снижение прозрачности стромы роговичного трансплантата.

В период наблюдения от 6 до 12 месяцев после операции отмечено уменьшение количества активных кератоцитов в проекции расположения интрастромального тоннеля, толщины стромального нерва и выраженности складок стромы вокруг ИРС. Субэпителиальные нервы визуализировались без изменений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе опубликовано большое количество работ, посвященных коррекции астигматизма после СКП, выполненной по поводу кератоконуса, методом имплантации роговичных сегментов.

З.И. Мороз и соавт. (2015) оценили клинико-функциональные результаты ИСКП с имплантацией роговичных сегментов после СКП по поводу кератоконуса, выполненной механическим способом и с фемтосекундным сопровождением. Обследовано и прооперировано 28 глаз после СКП по поводу кератоконуса. Механическая ИСКП была выполнена на 15 глазах (1-я группа), ИСКП с фемтосекундным сопровождением была выполнена на 13 глазах (2-я группа). Авторы пришли к выводу, что ИСКП с имплантацией роговичных сегментов является эффективной процедурой для коррекции астигматизма после СКП по поводу кератоконуса и позволяет получить

Таблица

Данные клинико-функциональных показателей до и в разные сроки после имплантации интрастромальных роговичных сегментов с применением фемтосекундного лазера (n=22), M±SD

Table

Clinical functional indices before and on different periods after intrastromal segment implantation using a femtosecond laser (n=22)

Параметры	До операции	1-й день после операции		Через 6 мес. после операции		Через 12 мес. после операции	
	Before the surgery	1st day after the surgery	р	6 months after the surgery	р	12 months after the surgery	р
	M±SD	M±SD		M±SD		M±SD	
НКОЗ UCVA	0,09±0,05	0,20±0,09	0,0245	0,50±0,16	0,0212	0,50±0,16	0,0212
КОЗ BCVA	0,30±0,12	0,42±0,05	0,0122	0,60±0,05	0,0175	0,60±0,05	0,0175
СКР, дптр Sph, D	+1,16±2,1	+1,13±2,0	0,0278	+1,05±2,11	0,0142	+1,05±2,11	0,0188
ЦКР, дптр Cyl, D	-10,29±3,12	-4,34±0,94	0,0375	-2,24±0,64	0,0298	-2,24±0,64	0,0298
Кср, дптр AveK	43,59±2,1	39,77±2,0	0,0023	38,55±1,75	0,0056	38,55±1,75	0,0056
SRI	1,29±0,23	0,96±0,18	0,0219	0,89±0,14	0,0236	0,89±0,14	0,0236
SAI	1,24±0,14	1,11±0,12	0,0351	1,02±0,11	0,0362	1,02±0,11	0,0362
КГ, мм рт.ст. CH, mm Hg	7,92±1,22	8,27±1,17	0,0355	8,95±1,05	0,0257	8,95±1,05	0,0257
ФРР, мм рт.ст. CRF, mm Hg	7,01±1,81	7,47±1,67	0,0422	8,44±1,44	0,0231	8,44±1,44	0,0231
Минимальное значение пахиметрии в центре, мкм Minimum value of pachymetry in the center, μm	520,8±35,1	558,5±29,0	0,0394	527,0±45,4	0,1521	527,0±45,4	0,1521
ПЭК, кл/мм ² ECD, cells/mm ²	1521±327	1440±440	0,1384	1475±419	0,2542	1475±419	0,2542
Поток белка, ф/мс Protein quantity, ph/ms	2,97±0,28	3,65±0,55	0,0154	3,04±0,24	0,1325	3,04±0,24	0,1325
Количество клеток, кл/мм ³ Number of cells, cells/mm ³	1,25±0,24	2,14±0,35	0,0112	1,22±0,14	0,1255	1,22±0,14	0,1255

хорошие зрительные, рефракционные и топографические результаты. Применение фемтосекундного сопровождения обеспечивает большую точность и безопасность операции.

Е. Coskunseven и соавт. (2007) впервые опубликовали результаты исследования по коррекции посткератопластического астигматизма методом имплантации ИРС, которое впоследствии внесло значительный вклад в развитие данной технологии. Авторами было отмечено повышение НКОЗ со счета пальцев у лица до 0,2, КОЗ – с 0,3 до 0,6, СКР снизился с -3,5 до +0,25 дптр, ЦКР –

с -5,5 до -3,25 дптр. Полученные данные оставались стабильными в течение 10 месяцев наблюдения [15]. Данные настоящего исследования превосходят показатели, полученные в работе Е. Coskunseven и соавт. как по остроте зрения, так и по коррекции ЦКР, что связано с началом освоения данной технологии для коррекции посткератопластического астигматизма.

Результаты, полученные в настоящем исследовании, сопоставимы с результатами, полученными С. Lisa и соавт., (2013) после имплантации ИРС с фемтосекундным сопровождением в коррекции астигматизма по-

сле СКП на 32 глазах 30 пациентов. Средняя НКОЗ повысилась с $0,16 \pm 0,15$ до $0,43 \pm 0,28$, МКОЗ – с $0,67 \pm 0,22$ до $0,80 \pm 0,19$, МКОЗ после операции была более 0,5 в 96,9% случаев и 0,8 и более в 56,2% случаев [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, метод имплантации интрастромальных роговичных сегментов в роговичный трансплантат с применением фемтосекундного лазера продемонстрировал высокую рефракционную эффективность и безопасность при коррекции посткератопластического астигматизма и показал следующие результаты:

1. Повышение некорригированной остроты зрения в среднем на 3 строки, корригированной остроты зрения – на 4 строки.
2. Отсутствие воспалительной реакции во влаге передней камеры и потери эндотелиальных клеток.
3. Повышение биомеханических свойств роговичного трансплантата (повышение корнеального гистерезиса на 13%, фактора резистентности роговицы – на 20%).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gu ZY, Ye MJ, Ji KK, Liao RF Long-term follow-up of astigmatic keratotomy for corneal astigmatism after penetrating keratoplasty. *Acta Ophthalmol.* 2016;94(7): 7–77. doi: 10.1111/aos.13061
2. Asena L, Altınörs DD. Visual rehabilitation after penetrating keratoplasty. *Exp Clin Transplant.* 2016;14(3): 130–134.
3. Gutfreund S, Leon P, Busin M. Microkeratome-assisted anterior lamellar keratoplasty for the correction of high-degree postkeratoplasty astigmatism. *Cornea.* 2017;36(7): 880–883. doi: 10.1097/ICO.0000000000001232
4. 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
5. 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
6. Lisa C, García-Fernández M, Madrid-Costa D, Torquetti L, Merayo-Llodes J, Alfonso J. Femtosecond laser-assisted intrastromal corneal ring segment implantation for high astigmatism correction after penetrating keratoplasty. *Cataract Refract Surg.* 2013;39(7): 1660–1667.
7. Rashad KM. Laser in situ keratomileusis for correction of high astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Refract Surg.* 2000;16(6): 701–710.
8. Prazeres TM, Souza AC, Pereira NC, Ursulino F, Gruppenmacher L, de Souza LB. Intrastromal corneal ring segment implantation by femtosecond laser for the correction of residual astigmatism after penetrating keratoplasty. *Cornea.* 2011;30(12): 1293–1297. doi: 10.1097/ICO.0b013e31821821e1
9. Малюгин Б.Э., Токмакова А.Н., Каримова А.Н. Отдаленные результаты лазерной коррекции астигматизма после сквозной кератопластики у пациентов с кератоконусом. *Практическая медицина.* 2017;9: 128–132. [Malyugin BE, Tokmakova AN, Karimova AN. Long-term results of laser correction of astigmatism after end-to-end keratoplasty in patients with keratoconus. *Practical Medicine.* 2017;9: 128–132. (In Russ.)]
10. Hashemi H, Aghamirsalim 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
11. 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
12. Sinitsyn MV, Pozdeyeva NA, Pashtayev NP. Comparative analysis of the intrastromal MyoRing implantation performed with the femtosecond laser. *International Journal of Keratoconus and Ectatic Corneal Diseases.* 2017;6(2): 1–9.
13. Pozdeyeva NA, Sinitsyn MV. Femtosecond laser-assisted intrastromal MyoRing implantation for correction of irregular astigmatism after penetrating keratoplasty with high myopia. *Indian J Ophthalmol. Case Rep.* 2021;1(1): 88–90.
14. Мороз ЗИ, Токмакова АН, Волкова ОС. Интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичных сегментов в коррекции астигматизма после сквозной кератопластики по поводу кератоконуса. *Офтальмохирургия.* 2015;4: 70–77. [Moroz ZI, Tokmakova AN, Volkova OS. Intrastromal keratoplasty with implantation of corneal segments in the correction of astigmatism after end-to-end keratoplasty for keratoconus. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2015;4: 70–77. (In Russ.)]

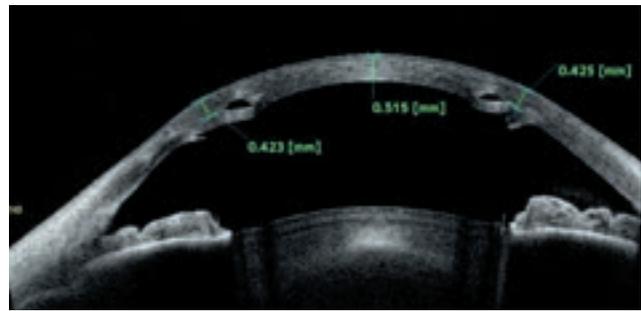


Рис. 2. ОКТ роговицы на следующий день после имплантации интрастромальных роговичных сегментов в роговичный трансплантат с применением фемтосекундного лазера

Fig. 2. OCT on the first day after intrastromal segment implantation using a femtosecond laser

15. Coskunseven E, Kymionis GD, Talu H, et al. Intrastromal corneal ring segment implantation with the femtosecond laser in a post-femtosecond laser in a post-keratoplasty patient with recurrent keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(10): 1808–1810.

16. Lisa C, Miriam G, David M, Leonardo T, Jesús M, José F. Femtosecond laser-assisted intrastromal corneal ring segment implantation for high astigmatism correction after penetrating keratoplasty. *Cataract Refract Surg.* 2013;39(7): 1660–1667.

Информация об авторах

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

Надежда Александровна Поздеева, д.м.н., доцент, mntksinicin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3637-3645>

Information about the authors

Maxim V. Sinitsyn, Candidate of Medical Sciences, mntksinicin@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'iana G. Tolmacheva, ophthalmologist, mntksinicin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7285-1782>

Nadejda A. Pozdeeva, Doctor of Science (Medicine), mntksinicin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3637-3645>

Вклад авторов в работу:

М.В. Синицын: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста.

А.Е. Терентьева: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

Т.Г. Толмачева: статистическая обработка данных.

Н.А. Поздеева: редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Author's contribution:

M.V. Sinitsyn: significant contribution to the concept and design of the work, writing the text.

A.E. Terent'eva: collection, analysis and processing of material, writing the text.

T.G. Tolmacheva: statistical data processing.

N.A. Pozdeeva: 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 и 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: 16.07.2021

Переработана: 28.09.2021

Принята к печати: 27.10.2021

Originally received: 16.07.2021

Final revision: 28.09.2021

Accepted: 27.10.2021