

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИМПЛАНТАЦИИ ИНТРАСТРОМАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО КЕРАТОКОНУСА II И III СТАДИИ В ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ НАБЛЮДЕНИЯ (10 ЛЕТ)

Измайлова С.Б., Яркин Д.А., Цыганов А.З.

ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, e-mail: zokogama@gmail.com

Одним из перспективных методов лечения начальных стадий прогрессирующего кератоконуса как проявления кератэктатического процесса является интрастромальная кератопластика (ИСКП) с имплантацией роговичных сегментов (РС). Первые сообщения об успешном проведении данного вида оперативного вмешательства в лечении пациентов с кератоконусом появились в конце XX в., поэтому оценка безопасности и эффективности операции в отдаленные сроки наблюдения является, безусловно, актуальной задачей современной офтальмологии. Цель: провести анализ эффективности имплантации роговичных сегментов у пациентов с прогрессирующим кератоконусом начальных стадий в отдаленные сроки наблюдения. Клинические исследования базируются на анализе историй болезни 1185 пациентов (1343 глаз) с прогрессирующим кератоконусом II и III стадии, которым была проведена ИСКП с имплантацией РС. По мануальной технологии ИСКП было прооперировано 1007 глаз (из них 121 случай проведения операции без использования градуированного вакуумного кольца (ГВК), 886 глаз – с использованием ГВК), 336 глаз – с использованием фемтосекундного лазера. II стадия кератоконуса была диагностирована в 856 глазах (63,7%), III стадия – в 487 глазах (36,3%). В 872 глаза с асимметричной кератэктазией в зону наибольшей эктазии был имплантирован один РС, в 471 глаза с симметричной кератэктазией были имплантированы два роговичных сегмента. Во всех трех группах (операции, выполняемые по мануальной технологии; мануальной технологии с использованием ГВК; технологии с использованием ФСЛ) отмечали повышение некорригированной остроты зрения (НКОЗ) и корригированной остроты зрения (КОЗ), уменьшение сферического и цилиндрического компонентов рефракции. В течение 10 лет не было отмечено прогрессирующего уменьшения толщины роговицы и не изменялись кератотопографические показатели, а зона эктазии была в пределах послеоперационной, что свидетельствует о том, что имплантация РС оказывает рефракционное действие, а также является методом стабилизации и профилактики прогрессирования кератэктатического процесса. Наш 10-летний опыт имплантации РС в лечении прогрессирующего кератоконуса II и III стадии доказал высокую эффективность, возможность повышения зрительных функций, стабилизацию эктатического процесса и безопасность данного вида оперативного вмешательства.

Ключевые слова: кератэктазии, роговичные сегменты, интрастромальная кератопластика, фемтолазерное сопровождение.

THE EFFECTIVENESS OF IMPLANTATION OF INTRASTROMAL SEGMENTS IN THE TREATMENT OF PROGRESSIVE KERATOCONUS OF THE II AND III STAGES IN THE LONG-TERM FOLLOW-UP (10 YEARS)

Izmailova S.B., Yarkin D.A., Ciganov A.Z.

S.N. Fedorov NMRC «MNTK "Eye microsurgery"», Moscow, e-mail: zokogama@gmail.com

One of the promising methods of treatment of the initial stages of progressive keratoconus, as a manifestation of the keratectatic process, is intra-stromal keratoplasty (ISCR) with implantation of corneal segments (MS). The first reports of the successful implementation of this type of surgery in the treatment of patients with keratoconus appeared at the end of the 20th century, so the assessment of the safety and effectiveness of the operation in the long-term follow-up is certainly an urgent task of modern ophthalmology. Objective: to analyze the effectiveness of implantation of corneal segments in patients with progressive keratoconus of the initial stages in the long-term follow-up. Clinical studies are based on the analysis of the case histories of 1343 eyes with progressive keratoconus of stages II and III, which underwent ISCR. Manual ISCR was applied in 1007 cases (121 cases were performed without the use of a graduated vacuum ring (GVR), 886-with the use of GVR), 336 cases-with the use of a femtosecond laser. Stage II of keratoconus was diagnosed in 856 eyes (63.7%), stage III – in 487 eyes (36.3%). In 872 cases of asymmetric keratectasia, one corneal ring was implanted in the zone of the greatest ectasia, in 471 cases of symmetrical keratectasia, two corneal ring were implanted. In all groups, there was an increase in uncorrected visual acuity (UDVA) and corrected visual acuity (CDVA), a decrease in the spherical and cylindrical components of refraction. For 10 years, there was no progressive decrease in the thickness of the cornea and

keratotopographic indicators did not change, and the ectasia zone was within the postoperative range, which indicates that the implantation of MS has a refractive effect, and is also a method of stabilization and prevention of the progression of the keratectatic process. Our 10-year experience of ISCR implantation in the treatment of progressive keratoconus of the initial stages has proved high efficiency, the possibility of improving visual functions, stabilizing the ectatic process and the safety of this type of surgical intervention.

Keywords: ectasia, corneal segments intrastromal keratoplasty, femtolazer support.

История интраламеллярной кератопластики с введением различных внутрироговичных имплантатов начинается в середине XX в., когда исследователи изучали влияние введения колец в строму роговицы у пациентов с миопией высокой степени и астигматизмом. Наиболее значимыми работами в этом направлении были исследования профессора Е.Д. Блаватской в 1960–1970-х гг., в результате которых было выявлено изменение конфигурации передних слоев стромы роговицы при полной сохранности ее структуры [1].

Первые работы по использованию искусственных материалов (пластмассы, полисульфонов, полимерных композиций и т.д.) для хирургии роговицы отечественных и зарубежных ученых появились практически одновременно – в 1970–1980-х гг. [2]. Спустя два десятилетия в работах J. Colin и P. Ferrara была доказана эффективность применения данной методики у пациентов с кератоконусом [3]. Таким образом, именно с этого времени офтальмологи мира начали изучать возможность использования микроинвазивных подходов в лечении пациентов с кератоконусом.

В настоящее время известно несколько видов роговичных сегментов (РС), отличающихся величиной внутреннего и внешнего диаметров, формой поперечного сечения, высотой, длиной и прочими параметрами. В России наибольшее распространение получили РС производства научно-экспериментального производства «Микрохирургия глаза», которые имеют следующие спецификации: форма – дуга окружности (90°, 120°, 180°, 210°), внутренний диаметр – 5,0 мм, ширина основания – 600 мкм, форма поперечного сечения – полукруг, высота – 150–400 мкм (шаг 50 мкм), материал – полиметилметакрилат (ПММА) + гидрофильный акрил (18%) [4, 5]. Также в современной офтальмологии активно используется фемтосекундное сопровождение для формирования интрастромального тоннеля, что уменьшает риски интраоперационных осложнений, которые могут возникнуть при механическом воздействии на строму роговицы [6].

Цель: провести анализ эффективности имплантации роговичных сегментов у пациентов с прогрессирующим кератоконусом начальных стадий в отдаленные сроки наблюдения.

Материал и методы исследования: в данном клиническом исследовании проанализированы результаты обследования и лечения 1185 пациентов (1343 глаз) в возрасте 26,7±3,7 года (табл. 1), у которых была диагностирована II стадия кератоконуса в 856 глазах

(63,7%), III стадия – в 487 глазах (36,3%) (табл. 2), а затем проведена ИСКП с имплантацией РС.

Таблица 1

Распределение обследованных пациентов по возрасту

Возрастная градация пациентов с кератоконусом	Число пациентов (n=1185)	Удельный вес, %
22–24 года	439	37,0
25–27 лет	510	43,0
28–30 лет	236	20,0

Таблица 2

Распределение глаз по стадиям заболевания

Стадии кератоконуса:	Число глаз:	Удельный вес, %
II стадия кератоконуса	856	64
III стадия кератоконуса	487	36
Общее число	1343	100

В обследование пациента(ов) до и после операции входили традиционные и специальные методы: визометрия, офтальмобиомикроскопия, компьютерная кератотопография, оптическая когерентная томография (ОКТ), томография роговицы (анализ элевационных карт) с использованием сканирующего топографа Pentacam HR, конфокальная сканирующая микроскопия, сканирующая проекционная топография.

При офтальмобиомикроскопии глаз со II стадией кератоконуса в 87% случаев были выявлены симптомы так называемых гаснувшей звезды или фейерверка, обусловленные разреженностью стромы в парацентральной зоне роговицы (стилистические исправления!). Кроме того, в преобладающей части обследованных глаз пациентов с кератоконусом имелись субэпителиальные отложения ферритиновых частиц коричневатого-оливкового цвета в виде замкнутого кольца, реже – в виде изогнутой дуги, проходящей парацентрально, – симптом Флейшера.

Исходная НКОЗ у обследуемых пациентов составляла $0,1 \pm 0,02$, КОЗ – $0,2 \pm 0,05$, сферический компонент рефракции – $5,2 \pm 0,07$ дптр, цилиндрический компонент рефракции – $5,6 \pm 0,16$ дптр.

По данным, полученным с помощью Pentacam HR, значение элевации передней поверхности роговицы относительно «best fit sphere» (BFS) было от 26 до 45 мкм, в среднем $31,0 \pm 3,31$ мкм. Значение элевации задней поверхности роговицы относительно BFS было от 40 до 65 мкм, в среднем $52,0 \pm 2,21$ мкм, паттерн острова на элевационной карте.

В глазах с III стадией кератоконуса офтальмобиомикроскопически диагностировали симптом «фейерверка», симптом Монсона и нервные волокна в строме в 100% случаев, синдром Флейшера – в 89,7% случаев, линии Вогта в виде вертикальных полос в задней части стромы роговицы присутствовали в 74,8% случаев, сформированные участки истончения роговицы различной степени выраженности, увеличение глубины и неравномерность передней камеры наблюдались в 85% случаев.

Исходная НКОЗ у наблюдаемых пациентов составляла $0,06 \pm 0,01$, КОЗ – $0,2 \pm 0,05$, сферический компонент рефракции – $7,8 \pm 0,07$ дптр, цилиндрический компонент рефракции – $7,9D \pm 0,16$ дптр.

По данным, полученным на приборе Pentacam HR, значение элевации передней поверхности относительно BFS было от 46 до 65 мкм, в среднем составляя $52,0 \pm 3,31$ мкм, значение элевации задней поверхности относительно BFS было от 65 до 89 мкм при среднем значении $76,0 \pm 2,21$ мкм, паттерн острова на элевационной карте. Согласно данным компьютерной пахиметрии, показатели центральной толщины роговицы в глазах с II и III стадией кератоконуса в среднем составляли соответственно 459 ± 12 и $415 \pm 10,0$ мкм. Максимальная величина преломления сильного меридиана K_{max} в глазах со II и III стадиями кератоконуса в среднем составляла соответственно $57,4 \pm 4,3$ и $62,5 \pm 3,7$ дптр. На кератотопограммах регистрировали характерные морфогометрические изменения роговичной поверхности в виде галстука-бабочки, стекающей капли или бобовидной формы.

В зависимости от одного или двух имплантированных сегментов, способа формирования роговичного тоннеля (мануальная технология, мануальная технология с использованием градуированного вакуумного кольца или технологии с применением фемтосекундного лазера) пациенты были разделены на 3 клинические группы. Критериями выбора количества имплантируемых РС служили данные кератотопографии – один роговичный сегмент в зону наибольшей эктазии был имплантирован в 872 случаях (65%) асимметричных кератэктазий. Два роговичных сегмента были имплантированы по стандартной технологии в 471 случае (35%) симметричных кератэктазий.

Мануальная технология ИСКП была применена в 1007 случаях (121 случай проведения без использования ГВК, 886 – с использованием ГВК), с использованием фемтосекундного лазера – 336 случаев, что отражено в таблице 3.

Количество оперативных вмешательств в зависимости от технологии проведения

Технология вмешательства:	Количество операций	Удельный вес, %
Интрастромальная кератопластика (всего)	1343	100
из них:		
мануальная технология без использования ГВК	121	9,0
мануальная технология с использованием ГВК	886	65,9
технология с использованием фемтосекундного лазера	336	25,1

Нами были выделены следующие критерии отбора для проведения ИСКП: отсутствие помутнений роговицы, толщина роговицы в центральной зоне не менее 400 мкм, максимальный показатель преломляющей силы роговицы ≤ 65 дптр, плотность эндотелиальных клеток ≥ 1800 кл/мм², элевация передней и задней поверхностей роговицы относительно BFS в пределах 28–65 мкм и 40–89 мкм соответственно.

Пациентам всех клинических групп производилась имплантация одного роговичного сегмента в зоне наибольшей эктазии, при этом разрез не зависел от того, сильный или слабый меридиан [7, 8]. Такое положение РС, по мнению [9–12], позволяет максимально эффективно выполнять каркасную функцию, способствуя остановке прогрессирования эктатического процесса в роговице.

В первую группу вошли пациенты, формирование тоннеля в строме роговицы которых проводилось механическим путем по стандартной методике без использования каких-либо приспособлений. Данная техника имеет ряд недостатков, обусловленных сниженным тургором эктазированной роговицы, что усиливает складчатость ткани и затрудняет формирование тоннеля на определенной глубине. Это приводит к необходимости дополнительной фиксации глазного яблока, что провоцирует возникновение интраоперационных осложнений, увеличивает риск смещения разметки положения роговичного тоннеля и его неравномерного формирования.

Вторую группу составили пациенты, у которых формирование роговичного тоннеля и дальнейшую имплантацию РС проводили по модифицированной технологии, предполагающей использование оригинального инструмента – градуированного вакуумного кольца (ГВК), разработанного и запатентованного нашим коллективом авторов в 2010 г. [13]. Данный инструмент способствует уменьшению риска перфорации роговицы при формировании тоннеля и имплантации РС, снижению травматизации глазного яблока, обеспечивает безопасность вмешательства.

Третью клиническую группу составили пациенты с кератоконусом, которым формирование роговичного тоннеля проводили с использованием ФСЛ, применение которого не только позволяет выполнять роговичный тоннель заданной формы и на заданной глубине, но и не оказывает деструктивного воздействия на ткани роговицы. При этом остается интактной значительная часть коллагеновых волокон.

Статистическая обработка полученных материалов исследования проводилась в абсолютных цифрах $M \pm SD$ по критерию Стьюдента в независимых выборках и при отсутствии нормального распределения по критерию Манна–Уитни для определения различий между группами в каждый период наблюдения. Критический уровень значимости при проверке гипотез для принятия достоверных различий был принят 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ клинико-функциональных показателей у пациентов всех клинических групп свидетельствует о стабилизации кератэктатического процесса на протяжении 10 лет наблюдения, отмечены повышение НКОЗ и МКОЗ, уменьшение сферического и цилиндрического компонентов рефракции. Во всех клинических группах не наступало прогрессирующего уменьшения толщины роговицы и не увеличивались кератотопографические показатели, а зона эктазии была в пределах послеоперационной, что свидетельствует о том, что имплантация РС несет в себе стабилизирующий рефракционный эффект, являясь методом профилактики прогрессирования кератэктатического процесса (табл. 4, 5).

Таблица 4

Сравнительный анализ динамики показателей у больных с кератоконусом II стадии

Исследуемые параметры	Сравнительный анализ динамики показателей у больных с кератоконусом II стадии (2010–2020 гг.) (n= 856)							P II-III
	До операции	3 месяца после операции	1 год после операции	3 года после операции	5 лет после операции	7 лет после операции	10 лет после операции	
НКОЗ	0,10±0,02	0,40±0,05	0,40±0,03	0,40±0,01	0,40±0,03	0,40±0,02	0,40±0,02	<0,001
КОЗ	0,20±0,05	0,60±0,12	0,60±0,09	0,60±0,05	0,60±0,07	0,60±0,06	0,60±0,03	–
Преломляющая сила роговицы (дптр)	57,40±4,30	53,90±1,20	52,70±1,50	52,10±1,30	53,00±1,10	52,80±1,50	52,90±1,40	–
Сферический компонент рефракции	-5,20±0,07	-0,20±0,03	-0,10±0,02	-0,10±0,04	-0,20±0,05	-0,20±0,06	-0,10±0,05	<0,001
Цилиндрический	-5,60±0,07	-2,30±0,05	-2,00±0,06	-1,90±0,05	-2,10±0,05	-2,10±0,07	-2,00±0,09	<0,001

компо- нент ре- фракции								
Толщина роговицы (мкм)	459±1,20	476,20±1,20	486±1,50	487±1,60	490±1,40	490±1,20	487±1,80	<0,001

При проведении ИЛКП по стандартной технологии с имплантацией двух РС при симметричных эктазиях происходило повышение НКОЗ и КОЗ с $0,10\pm 0,02$ до $0,44\pm 0,05$ и с $0,20\pm 0,05$ до $0,60\pm 0,25$ соответственно. Цилиндрический компонент рефракции снижался в среднем на $4,1\pm 1,7$ дптр на протяжении наблюдения.

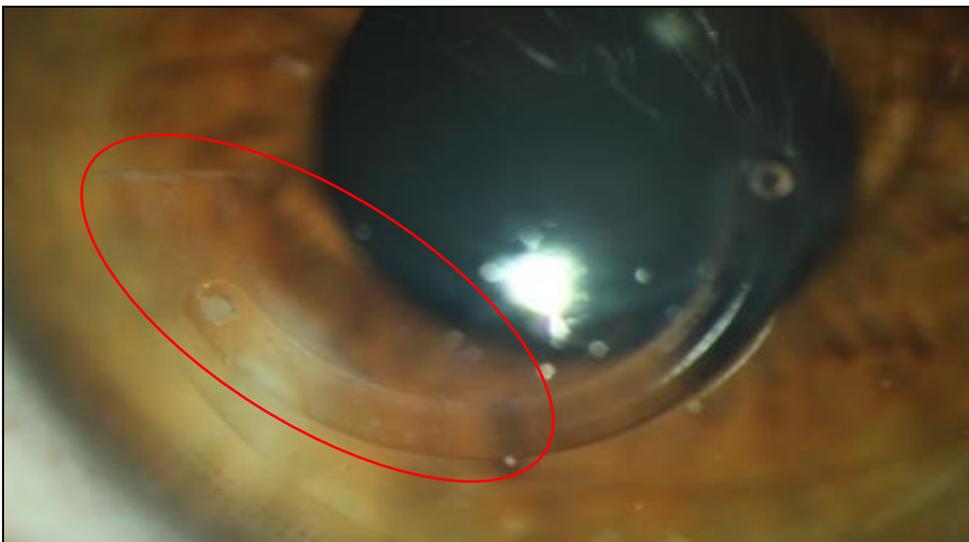
Проведение ИЛКП с имплантацией одного РС в случаях асимметричных кератэктазий приводило к стойкому функциональному результату – повышению НКОЗ на $0,25\pm 0,08$ и КОЗ на $0,35\pm 0,15$ ($p<0,05$). Снижение цилиндрического компонента рефракции составило $4,4\pm 1,2$ дптр (табл. 4, 5).

Таблица 5

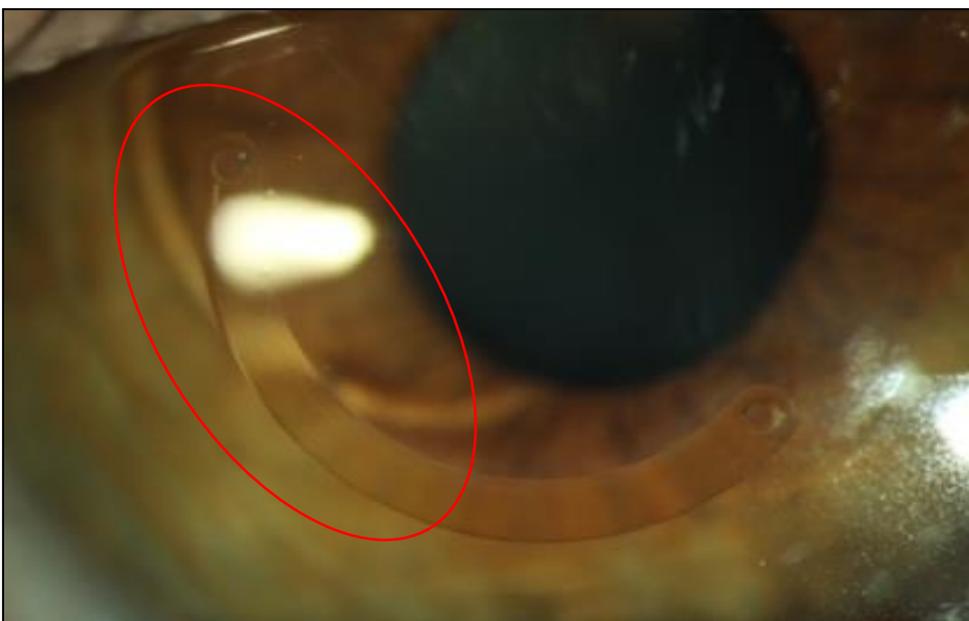
Сравнительный анализ динамики показателей у больных с кератоконусом III стадии

Исследуемые параметры	Сравнительный анализ динамики показателей у больных с кератоконусом III стадии (2010–2020 гг.) (n=487)							P II-III
	До опера- ции	3 месяца после операции	1 год по- сле опе- рации	3 года после опера- ции	5 лет по- сле опе- рации	7 лет по- сле опе- рации	10 лет после опера- ции	
НКОЗ	0,06±0,01	0,30±0,12	0,31±0,1	0,33±0,13	0,31±0,11	0,31±0,13	0,29±0,13	<0,001
КОЗ	0,20±0,05	0,60±0,25	0,60±0,21	0,62±0,20	0,59±0,17	0,59±0,2	0,57±0,19	–
Преломляю- щая сила рого- вицы (дптр)	62,50±3,70	59,00±1,30	57,90± 1,70	57,30± 1,90	57,70± 2,1	57,60± 1,80	57,80± 1,70	–
Сферический компонент ре- фракции	-7,80±0,07	-1,70±0,05	– 1,50±0,08	-1,4±0,07	– 1,60±0,07	– 1,50±0,09	– 1,50±0,08	<0,001
Цилиндриче- ский компо- нент рефрак- ции	-7,90±0,16	-2,90±0,08	– 2,60±0,12	– 2,30±0,11	– 2,50±0,09	– 2,50±0,14	– 2,40±0,10	<0,001
Толщина рого- вицы (мкм)	415±1,00	427,5±3,60	434±3,00	434±2,80	436±3,00	438±2,80	435±2,90	<0,001

Оценка результатов проведения интрастромальной кератопластики не показала каких-либо преимуществ проведения имплантации РС с использованием ФСЛ по достижении функциональных результатов перед мануальной техникой с использованием ГВК ($p < 0,05$). Таким образом, результаты имплантации РС мануальным методом по стандартной методике и с применением ГВК значительно разнятся: при имплантации с помощью ГВК отмечалось значительное уменьшение частоты интраоперационных осложнений и в ранний, и в поздний послеоперационные периоды в сравнении со стандартной мануальной технологией ($p < 0,05$). Также при формировании роговичного тоннеля механическим путем отмечалась незначительная реакция со стороны стромы роговицы, более выраженная в области формирования входа в роговичный тоннель, а при формировании роговичного тоннеля с использованием фемтосекундного лазера отмечалось ареактивное течение раннего послеоперационного периода (рис. 1, 2).



A

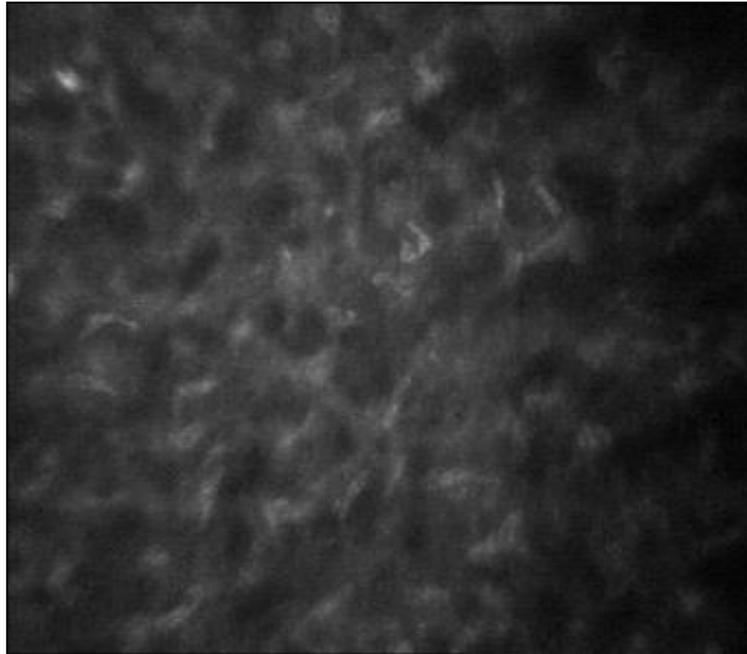


Б

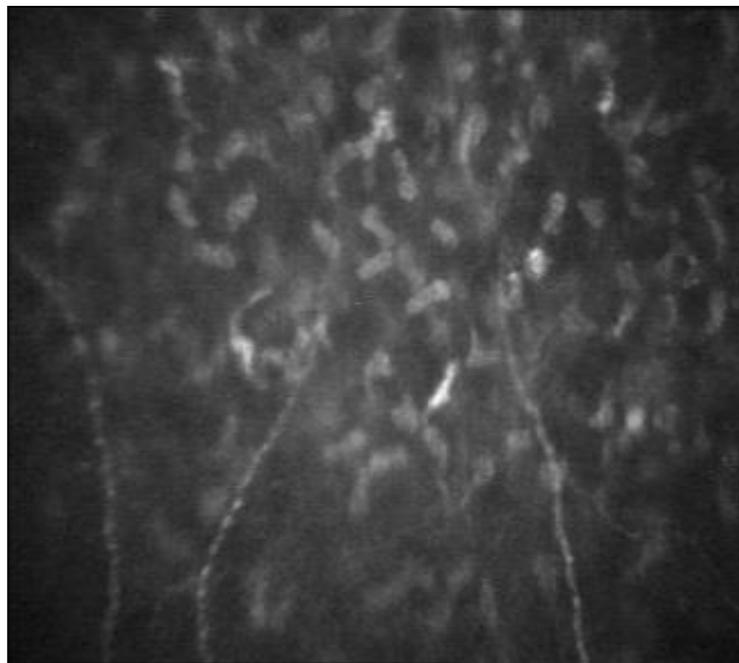
Рис. 1. Клиническая картина раннего послеоперационного периода:

А – формирование роговического тоннеля механическим путем;

Б – формирование роговического тоннеля с использованием фемтосекундного лазера



А



Б

Рис. 2. Состояние стромы роговицы при формировании роговичного тоннеля при конфокальной микроскопии (исследуемая зона роговицы 460x345 мкм): А – механическим путем; Б – с использованием фемтосекундного лазера

В ходе анализа элевационных карт с использованием сканирующего топографа Pentacam HR в глазах со II стадией кератоконуса значение элевации передней поверхности относительно BFS составляло от 26 до 45 мкм, в среднем – $31 \pm 3,31$ мкм. Значение элевации задней поверхности относительно BFS составляло от 40 до 65 мкм, в среднем – $52 \pm 2,21$ мкм, паттерн острова на элевационной карте. В глазах с III стадией кератоконуса значение элевации передней поверхности относительно BFS составляло от 46 мкм до 65 мкм, в среднем – $52 \pm 3,31$ мкм, значение элевации задней поверхности относительно BFS составляло от 65 до 89 мкм, в среднем – $76 \pm 2,21$ мкм, паттерн острова на элевационной карте. Изменения оптических aberrаций волнового фронта глаз при II стадии кератоконуса были следующими: суммарные $9,92 \pm 3,63$, высших порядков – $2,66 \pm 0,97$, кома – $1,79 \pm 0,94$.

Интра- и послеоперационные осложнения были выявлены в группе с мануальной техникой без применения ГВК и имели травматический характер, были связаны с неравномерной глубиной формирования роговичного тоннеля (микроперфорации при выполнении роговичного разреза алмазным ножом, $n=6$; избыточная глубина имплантации РС, $n=1$). В раннем послеоперационном периоде в этой же группе было отмечено возникновение кератитов различной этиологии ($n=15$), а также экстрезии и смещения РС относительно плоскости тоннеля ($n=39$). В группе с использованием ФСЛ и ГВК таких осложнений зафиксировано не было.

Интра- и послеоперационные осложнения были выявлены в группе, где применялась мануальная техника без ГВК, и имели травматический характер. Осложнения были связаны с неравномерной глубиной формирования роговичного тоннеля (микроперфорации при выполнении роговичного разреза алмазным ножом ($n=6$); избыточная глубина имплантации РС ($n=1$)). В раннем послеоперационном периоде в этой же группе было отмечено возникновение кератитов различной этиологии ($n=15$), а также экстрезии и смещения РС относительно плоскости тоннеля ($n=39$). В группе с использованием ФСЛ и ГВК таких осложнений зафиксировано не было.

Заключение. Десятилетний опыт лечения кератэктазий различного генеза в ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации позволяет утверждать, что правильное определение показаний к оперативному вмешательству, соблюдение критериев отбора, технически

совершенное выполнение имплантации роговичных сегментов при кератоконусе способствуют значимому увеличению МКОЗ и НКОЗ, уменьшению сферического и цилиндрического компонентов рефракции, стабилизации или сужению площади эктазии при формировании роговичного тоннеля как механическим путем, так и с помощью фемтосекундного лазера. Использование дополнительных приспособлений (ГВК и ФСЛ) при формировании роговичного тоннеля способствует уменьшению частоты интра- и послеоперационных осложнений, связанных с травматизацией глазного яблока при вмешательствах по «классической» технологии.

Список литературы

1. Блаватская Е.Д. Рефракционная кератопластика. Ереван: Айастан, 1973. 190 с.
2. Животовский Д.С. Изменение рефракции глаза в результате имплантации внутрироговичных пластмассовых линз в эксперименте // Вестник офтальмологии. 1970. Т. 2. С. 34-38.
3. Colin J., Cochener B., Savary G., Malet F. Correcting keratoconus with intracorneal rings. J. Cataract Refract Surg. 2000. Vol. 26. № 8. С. 1117-1122.
4. Малюгин Б.Э., Измайлова С.Б., Авраменко С.А. Интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичного сегмента в лечении прозрачной краевой дегенерации роговицы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. Вып. 14. С. 239.
5. Борзенко С.А., Малюгин Б.Э., Измайлова С.Б. и др. Изучение биосовместимости полимерных материалов (полиметилметакрилат и бисфенол-А-диглицидилметакрилат) на модели культуры клеток стромы роговицы // Офтальмохирургия. 2016. Вып. 4. С. 16-9.
6. Ratkay-Traub I., Istvan E. Ferincz, Tibor Juhasz, Ron M. Kurtz, Ronald R. Krueger. First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery. J. Refract. Surg. 2003. Vol. 19. P. 94-103.
7. Monteiro T., Alfonso J.F., Franqueira N., Faria-Correira F., Ambrósio R.Jr., Madrid-Costa D. Comparison of clinical outcomes between manual and femtosecond laser techniques for intrastromal corneal ring segment implantation. Eur. J. Ophthalmol. 2020. Vol. 30 (6). P.1246-1255. DOI: 10.1177/1120672119872367.
8. Sakellaris D., Balidis M., Gorou O., Szentmary N., Alexoudis A., Grieshaber M.C., Sagri D., Scholl H., Gatzioufas Z.. Intracorneal Ring Segment Implantation in the Management of Keratoconus: An Evidence-Based Approach. Ophthalmol Ther. 2019. Vol. 8 (1). P. 5-14. DOI: 10.1007/s40123-019-00211-2.

9. Warrak E.L., Serhan H.A., Ayash J.G., Wahab, C.H. Baban T.A., Daoud R.C., Sammouh F.K. Long-term follow up of intracorneal ring segment implantation in 932 keratoconus eyes. *J. Fr. Ophthalmol.* 2020. Vol. 43 (10). P. 1020-1024. DOI: 10.1016/j.jfo.2020.03.019.
10. Kang M.J., Byun Y.S., Yoo Y.S., Whang W.J., Joo C.K. Long-term outcome of intrastromal corneal ring segments in keratoconus: Five-year follow up. *Sci Rep.* 2019. Vol. 9 (1). P. 315. DOI: 10.1038/s41598-018-36668-7.
11. Belin M.W., Ambrósio R. Scheimpflug imaging for keratoconus and ectatic disease. *Indian J. Ophthalmol.* 2013. Vol. 61 (8). 401-406. DOI: 10.4103/0301-4738.116059.
12. Vega-Estrada A., Alió J.L., Brenner L.F., Burguera N. Outcomes of intrastromal corneal ring segments for treatment of keratoconus: five-year follow-up analysis. *J. Cataract Refract Surg.* 2013. Vol. 39 (8). P. 1234-1240. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.03.019.
13. Измайлова С.Б., Латыпов И.А., Мороз З.И., Авраменко С.А.. Устройство для проведения интрастромальной кератопластики. Патент на изобретение № 2405511 (по заявке 2009128772/14 от 28.07.2009). Оpubл. 10.12.2010.