УДК 617.713–007.64 Обзор

МАЛОИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ КЕРАТОКОНУСА (ОБЗОР)

А.В. Терещенко *— ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С.Н. Фёдорова”» Минздрава России, директор Калужского филиала, доктор медицинских наук;* ***И.Г. Трифаненкова*** *— ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С.Н. Фёдорова”» Минздрава России, заместитель директор Калужского филиала по научной работе, кандидат медицинских наук;* ***Е.Н. Вишнякова*** *— ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С.Н. Фёдорова”» Минздрава России, Калужский филиал, врач-офтальмолог отделения оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии;* ***С.К. Демьянченко*** *— ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С.Н. Фёдорова”» Минздрава России, Калужский филиал, заведующий отделением оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии, кандидат медицинских наук;* ***М.А. Тимофеев*** *— ФГАУ «НМИЦ “МНТК ‘Микрохирургия глаза’ им. акад. С.Н. Фёдорова”» Минздрава России, Калужский филиал, врач-офтальмолог 1-го офтальмологического отделения.*

MINIMALLY INVASIVE METHODS OF KERATOCONUS SURGICAL TREATMENT (REVIEW)

A.V. Tereshchenko *— S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Head of Kaluga branch, DSc;* ***I.G. Trifanenkova*** *— S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Deputy Head for Scientific Work of Kaluga branch, PhD;* ***E.N. Vishnyakova*** *— S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch, ophthalmologist of the Department of Optical Reconstructive and Refractive Surgery;* ***S.K. Demyanchenko*** *— S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch, Head of the Department of Optical Reconstructive and Refractive Surgery, PhD;* ***M.A. Timofeev*** *— S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch, Ophthalmologist of the 1st Ophthalmology Department.*

Дата поступления — 30.01.2020 г. Дата принятия в печать — 05.03.2020 г.

Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Вишнякова Е.Н., Демьянченко С.К., Тимофеев М.А. **Малоинвазивные методы хирургического лечения кератоконуса (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2020; 16 (1): 298–302.**

Рассматриваются малоинвазивные методы хирургического лечения кератоконуса. Типичные клинические проявления кератоконуса: молодой возраст пациента и прогрессирующее течение; поэтому проблема повышения эффективности лечения кератоконуса, особенно на ранних стадиях с применением малоинвазивных методик, не теряет своей актуальности, что обусловливает многообразие предлагаемых способов и технологий и их модификаций. Обзор показывает высокую активность исследователей, направленную на разработку новых и совершенствование имеющихся малоинвазивных методов хирургического лечения кератоконуса. Значительное количество публикаций посвящено интрастромальной кератопластике (ИСКП) с имплантацией роговичных сегментов. Деятельность исследователей включает как способы формирования интрастромального тоннеля, так и создание новых моделей роговичных сегментов, а также комплексный анализ результатов их клинического применения. Особого внимания заслуживает прецизионность выполнения ИСКП для достижения высоких функциональных результатов и удовлетворенности пациентов полученным качеством зрения. Данное направление представляется крайне перспективным и требует проведения дальнейших изысканий.

Ключевые слова: кератоконус, кросслинкинг роговичного коллагена, интрастромальная кератопластика, интрастромальный роговичный сегмент.

Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Vishnyakova EN, Demyanchenko SK, Timofeev MA. **Minimally invasive methods of keratoconus surgical treatment (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2020; 16 (1): 298–302.**

The review is devoted to minimally invasive methods of surgical treatment of keratoconus. Typical clinical manifestations of keratoconus are patients’ young age and progressive course of the disease. Therefore, the problem of increasing keratoconus treatment effectiveness, especially at the early stages using minimally invasive techniques, does not lose its relevance, that determines the variety of the proposed methods and technologies and their modifications. Scientific literature review showed high activity of researchers aimed at developing new and improving the existing minimally invasive methods for surgical treatment of keratoconus. A significant number of publications is devoted to intrastromal keratoplasty (ISKP) with implantation of corneal segments. The ongoing studies touch upon both ways of forming the intrastromal tunnel, and the design of new models of the corneal segments, as well as the comprehensive analysis of their clinical application results. Special attention should be paid to the precision of performing ISKP to achieve high functional results and patient satisfaction with the quality of vision. In our opinion, this direction of research is especially promising and requires further development.

Key words: keratoconus, corneal collagen crosslinking, intrastromal keratoplasty, intrastromal corneal segment.

Кератоконус — патология роговицы, характеризующаяся ее прогрессирующей деформацией и дистрофическими изменениями. По данным отечественных и зарубежных авторов, частота встречаемости кератоконуса варьируется от 0,01 до 0,6% и составляет приблизительно 1 случай на 2000 человек [1–3].

Типичными клиническим проявлениями кератоконуса являются: молодой возраст пациента и прогрессирующее течение, особенно в период до 30 лет. В 96% случаев патологический процесс носит двусторонний характер [4, 5].

Проблема повышения эффективности лечения кератоконуса, особенно на ранних стадиях с применением малоинвазивных методик, не теряет своей актуальности, что обусловливает многообразие предлагаемых способов и технологий и их модификаций [5, 6].

Широкое распространение при прогрессировании кератоконуса на ранних стадиях заболевания получила технология ультрафиолетового (УФ) кросслинкинга роговичного коллагена. Данная методика разработана в Дрезденском технологическом институте. Ее авторы — ученые G. Woliensak, E. Spoerl, T. Seiler [7, 8]. Наиболее признанной техникой выполнения кросслинкинга считается стандартная процедура, осуществляемая по Цюрихскому протоколу [9, 10].

В настоящее время существует целый ряд модификаций проведения кросслинкинга, в том числе с использованием фемтосекундного лазера [11–15]. Однако, по мнению специалистов, кросслинкинг не устраняет причину заболевания. Процесс обновления коллагена не прекращается, поэтому через какое-то время, когда «сшитый» коллаген заменяется на вновь синтезированный, эффект от лечения может нивелироваться.

Ответственный автор — Трифаненкова Ирина Георгиевна
Тел.: +7 (920) 6150293
E-mail: nauka@eye-kaluga.com

Интрастромальная кератопластика (ИСКП) с имплантацией роговичных сегментов разрабатывалась как метод хирургической коррекции миопии высокой степени и миопического астигматизма [16]. Впервые для лечения кератоконуса данную операцию применил J. Colin в 2000 г. [17]. Имплантация сегментов в глубокие слои роговицы приводит к уплощению ее центральной эктазированной части, что клинически проявляется снижением сферического и цилиндрического компонентов рефракции, а сами сегменты выполняют «коркасную» роль «второго лимба» [18–21].

Используемые сегодня в клинической практике интрастромальные роговичные сегменты для выполнения ИСКП отличаются внутренним и наружным диаметрами, формой поперечного сечения, а также высотой и длиной дуги: KeraRing (Mediphacos, Бразилия), Intacs (Addition Technology, США), Ferrara Ring (Kera Vision Ring, Италия), кольца MyoRing (Dioptex, Австрия) [22–25].

В России наибольшее распространение получили сегменты производства НЭП «Микрохирургия глаза» высотой от 150 до 350 мкм (с шагом 50 мкм), длиной дуги 90°, 120°, 180° и 210°, внутренним и внешним диаметрами 5,0 и 6,2 мм соответственно и полукруглой формой поперечного сечения [26–27].

Технология формирования тоннеля для имплантации сегментов со временем претерпела ряд изменений от механического до автоматического с применением фемтосекундных лазеров (ФСЛ), что значительно упрощает процедуру и снижает количество интра- и послеоперационных осложнений. И в настоящее время технология ИСКП непрерывно развивается и совершенствуется, о чем свидетельствуют многочисленные публикации [28–33].

Так, L. Torquetti с соавт. (2018) представили клинические результаты имплантации нового интрастромального роговичного сегмента Ferrara с длиной дуги 320° [34]. Было проведено многоцентровое нерандомизированное исследование, в котором участвовали 130 пациентов (138 глаз) с кератоконусом. До операции и в сроки до 12 месяцев после операции оценивали некорригированную и корригированную остроту зрения, данные кератометрии, объем роговицы, ее асферичность. Кроме того, выполнен векторный анализ показателей рефракции и кератометрии. Авторы установили, что имплантация роговичного сегмента Ferrara с длиной дуги 320° обеспечивает повышение некорригированной остроты зрения в среднем с 20/250 до 20/60, корригированной — с 20/100 до 20/40, а также статистически достоверное увеличение объема роговицы (P<0,001) и изменение ее формы до более физиологичной, при этом в случаях крутых роговиц наблюдался более выраженный уплощающий эффект по сравнению с более плоскими роговицами. Кроме того, статистически значимые различия имели показатели астигматизма, значения K1, K2, Km (p<0,001) после операции по сравнению с дооперационными. Векторный анализ показал слабую предсказуемость результатов имплантации сегмента Ferrara с длиной дуги 320°. Однако авторы выделили основное преимущество данного сегмента, которое, по их мнению, состоит в том, что после его имплантации с каждой стороны от края среза остается зазор в 20°, что делает его использование более безопасным по сравнению с аналогами.

В 2020 г. группа авторов O. Prisant, E. Pottier, T. Guedj, T. Hoang Xuan опубликовала результаты применения новой асимметричной модели сегмента Keraring — Keraring AS у пациентов с кератоконусом [35]. Сегменты Keraring AS имеют большую толщину на одном конце (150/250 мм) и меньшую на другом (200/300 мм), длина дуги составляет 160°. При этом более выраженный корригирующий эффект отмечается со стороны утолщенного конца сегмента. По мнению авторов, новая модель интрастромального сегмента позволяет моделировать роговицу пациента с большей точностью. Кроме того, в отличие от общепринятого подхода, когда сегменты имплантируют на глубину 80% толщины роговицы в тончайшем месте тоннеля, в данном исследовании сегменты Keraring AS имплантировали на глубину 70%. Правильность постановки сегментов контролировали при помощи кератоскопа. Срок наблюдения составил 3 месяца. Достигнутые зрительные, рефракционные и кератометрические результаты были расценены как хорошие. Помимо этого, исследование O. Prisant с соавт. выявило различия в результатах, полученных при имплантации одного или двух сегментов Keraring AS. Имплантация одного сегмента обеспечила более высокую некорригированную остроту зрения по сравнению с имплантацией двух сегментов. Авторы объясняют это различием в фенотипе кератоконуса. Один сегмент имплантировали пациентам с асимметричным кератоконусом, два — с центральным.

В литературе также представлены публикации по отдаленному послеоперационному периоду после ИСКП. Так, Min-Ji Kang с соавт. (2019) провели анализ результатов имплантации интрастромальных роговичных колец Intacs со сроком наблюдения 5 лет [36]. Несмотря на то что Intacs широко применяются с целью коррекции астигматизма и повышения остроты зрения при кератоконусе и демонстрируют хорошие результаты, изучению их эффективности в позднем послеоперационном периоде посвящены единичные работы. В указанное исследование были включены 23 пациента (30 глаз) с диагнозом «кератоконус». Оценивались: острота зрения, рефракция, аберрации высшего порядка в сроки до операции, через два месяца, один год, три года и пять лет после ИСКП. Было показано, что некорригированная острота зрения повысилась, сферический эквивалент значительно уменьшился (p<0,05), и эти показатели были стабильны в течение трех лет после операции. Однако через пять лет зафиксировано их ухудшение до предоперационных значений (p<0,05). Тем не менее корригированная острота зрения превышала показатели до операции в течение всех пяти лет наблюдения (p<0,05). Через пять лет после имплантации данные кератометрии свидетельствовали об уплощении роговицы и уменьшении ее неравномерности (p<0,05). Среднеквадратичные значения комы в течение всего срока наблюдения были достоверно ниже предоперационных (p<0,05). Авторы пришли к выводу, что преимуществом интрастромальных роговичных колец Intacs является повышение корригированной остроты зрения за счет уменьшения коматической аберрации. Следует отметить, что особую ценность данной работы представляет анализ аберраций высшего порядка, которые могут оказывать влияние на качество зрения. В ранее проведенных исследованиях внимание специалистов было сосредоточено в основном на показателях рефракции и данных кератотопографии.

Незадолго до Min-Ji Kang с соавт. (2019) исследование отдаленных результатов фемтолазерной имплантации интрастромальных роговичных сегментов типа Ferrara у пациентов с парацентральным кера-

токонусом со сроком наблюдения до пяти лет проводили L. Fernandez-Vega Cueto, C. Lisa, D. Madrid-Costa и др. (2017) [37]. Пациенты были разделены на две группы по возрастному критерию. В 1-ю группу вошли пациенты до 30 лет, во 2-ю — старше 30 лет. При анализе полученных результатов в обеих группах отмечалось улучшение всех исследуемых параметров: некорригированной и корригированной остроты зрения, сферического эквивалента, цилиндрического компонента и данных кератометрии, и они оставались стабильными в течение всего периода послеоперационного наблюдения. Авторы пришли к выводу, что имплантация интрастромальных роговичных сегментов типа Ferrara с использованием фемтосекундного лазера для формирования интрастромального тоннеля является безопасной и эффективной процедурой, обеспечивающей стабильные результаты при непрогрессирующем парацентральном кератоконусе даже у молодых пациентов в возрасте до 30 лет, когда высок риск прогрессирования заболевания.

Интересное исследование по изучению соответствия запланированной глубины фактической глубине имплантации интрастромальных роговичных сегментов Keraring у пациентов с кератоконусом по данным спектральной оптической когерентной томографии в сроки через 3 месяца после операции провела группа авторов: U. de Sanctis, C. Lavia, M. Nassisi, S. D'Amelio (2017) [38]. Сегмент Keraring (Mediphacos, Belo Horizonte, Brazil) имеет треугольное поперечное сечение. Его имплантируют так, чтобы вершина треугольника была обращена к передней поверхности роговицы, а основание — к задней поверхности роговицы. При этом внутренний угол основания треугольника расположен проксимально к задней поверхности роговицы, а внешний — дистально от задней поверхности роговицы. Установлено, что фактическое расстояние от внутреннего угла до задней поверхности роговицы статистически не отличалось от запланированного (p=0,83). Фактическое расстояние от вершины до передней поверхности роговицы было значительно меньше (p<0,001), а расстояние от внешнего угла до задней поверхности роговицы было значительно больше (p<0,001) запланированного, что указывает на необходимость применения методов интраоперационного контроля глубины имплантации роговичных сегментов.

В связи с предыдущей публикацией необходимо отметить, что С. Б. Измайловой был разработан метод имплантации роговичных сегментов при кератоконусе с использованием градуированного вакуумного кольца [39]. Было доказано, что данный метод позволяет добиться более равномерного залегания сегментов на заданной глубине при отсутствии смещения роговичных тоннелей относительно оптической оси и уменьшении времени имплантации.

В целом, несмотря на то что ИСКП имеет преимущества и доказывает свою эффективность, недостаточная прогнозируемость и предсказуемость функционального результата операции, а также отсутствие возможности прецизионного интраоперационного позиционирования сегментов в точном соответствии с предоперационным расчетом требует ее дальнейшего совершенствования.

В этом отношении представляют интерес исследования, проводимые в настоящее время в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» по оптимизации методики фемтолазерной интрастромальной имплантации роговичных сегментов с использованием цифрового разметочного устройства [40, 41]. Установлено, что аппланация апертуры фемтолазера на поверхность конической роговицы приводит к значительной ротации глаза и несовпадению оси среза, заданной в программе лазера, с фактической осью роговицы пациента в среднем на 9°. Интраоперационная разметка роговицы посредством системы Verion позволяет провести центрацию фемтолазера и добиться точного расположения оси среза в соответствии с предоперационным расчетом. Использование проекционных меток Verion обеспечивает объективный контроль при позиционировании интрастромальных сегментов по заданной оси. Анализ клинико-функциональных результатов в сроки наблюдения до 12 месяцев показал, что методика фемтолазерной ИСКП с использованием цифрового разметочного устройства Verion обеспечивает статистически значимое повышение остроты зрения, уменьшение сфероэквивалента и цилиндрического компонента рефракции, снижение и дальнейшую стабилизацию показателей кератометрии, снижение роговичных аберраций высокого и низкого порядка, а также кератотопографических индексов кератоконуса по сравнению с дооперационными значениями, уменьшение высоты подъёма передней и задней поверхности роговицы, отсутствие послеоперационных осложнений.

Рассматривая малоинвазивные методы хирургического лечения кератоконуса, необходимо особое внимание уделить технологии фемтолазерной рефракционной аутокератопластики (ФРАК), разработанной в 2015 гг. В. Ситник с соавт. [42–44]. Лечебный (рефракционный) эффект операции достигается за счет уплощения собственной роговицы, придания ей более физиологичной формы и кривизны. Объективные преимущества ФРАК следующие: отсутствие необходимости в донорских роговицах, отсутствие риска развития иммунного конфликта, непроникающий характер операции, сохранение собственного эндотелия. Непредсказуемость рефракционного результата, отсутствие учета индивидуальных особенностей эктазированной роговицы инициировали начало работ по модификации ФРАК, которые ведутся в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» начиная с 2018 г. [45–49].

К настоящему моменту произведена модификация методики ФРАК, включающая создание специализированной программы для фемтосекундного лазера FEMTO LDV Z8 (Ziemer, Швейцария) с одномоментным выполнением двух циркулярных резов роговицы в ходе одного докинга. Разработана математическая модель для персонифицированного расчета параметров фемторезекции при проведении ФРАК, учитывающая высоту и диаметр основания кератоконуса по данным ОКТ переднего отрезка глаза, а также планируемый радиус кривизны роговицы (патент РФ на изобретение №2689758; патент РФ на изобретение №2688955). Анализ клинико-функциональных результатов показал, что модифицированная методика ФРАК обеспечивает повышение остроты зрения уже в раннем послеоперационном периоде, а также стабильный рефракционный эффект в течение 18 месяцев. Исследования эффективности ФРАК в лечении и профилактике прогрессирования ранних стадий кератоконуса продолжаются.

Таким образом, представленный обзор литературы демонстрирует высокую активность исследователей, направленную на разработку новых и совершенствование имеющихся малоинвазивных методов хирургического лечения кератоконуса. Значительное

количество публикаций посвящено ИСКП. Деятельность исследователей включает как способы формирования интрастромального тоннеля, так и создание новых моделей роговичных сегментов, а также комплексный анализ результатов их клинического применения.

Особого внимания заслуживает прецизионность выполнения ИСКП для достижения высоких функциональных результатов и удовлетворенности пациентов полученным качеством зрения.

Данное направление, на наш взгляд, является особенно перспективным и требует проведения дальнейших изысканий.

Конфликт интересов отсутствует.

References (Литература)

1. Abugova TD. Keratoconus. St. Petersburg: Veko, 2017; 125 p. Russian (Абугова Т.Д. Кератоконус. СПб.: Веко, 2017; 125 с.).

2. Avetisov SE, Novikov IA, Pateyuk LS. Keratoconus: etiological factors and associated manifestations. The Russian Annals of Ophthalmology 2014; (4): 110–6. Russian (Аветисов С.Э., Новиков И.А., Патеюк Л.С. Кератоконус: этиологические факторы и сопутствующие проявления. Вестник офтальмологии 2014; (4): 110–6).

3. Sevostyanov EN, Gorskova EN. Keratoconus. Chelyabinsk: ПИРС, 2006; 148 p. Russian (Севостьянов Е.Н., Горскова Е.Н. Кератоконус. Челябинск: ПИРС 2006; 148 с.).

4. Dronov MM, Pirogov YuI. Keratoconus (species, etiology, pathogenesis). Part I. Ophthalmosurgery and therapy 2002; (2): 33–7. Russian (Дронов М.М., Пирогов Ю.И. Кератоконус (виды, этиология, патогенез). Часть I. Офтальмохирургия и терапия 2002; (2): 33–7).

5. Solodkova EG, Fokin VP, Boriskina LN, Balalin SV. Modern possibilities for the diagnosis and treatment of keratoconus. Volgograd: Panorama, 2018; 125 p. Russian (Солодкова Е.Г., Фокин В.П., Борискина Л.Н., Балалин С.В. Современные возможности диагностики и лечения кератоконуса. Волгоград: Панорама, 2018; 125 с.).

6. Pozdeeva NA, Maslova NA, Zotov VV, et al. Modern methods of diagnosis and surgical treatment of keratoconus: a training manual. Cheboksary: S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Cheboksary branch, 2017; 144 p. Russian (Поздеева Н.А., Маслова Н.А., Зотов В.В. и др. Современные методы диагностики и хирургического лечения кератоконуса: учеб. пособие. Чебоксары: ЧФ ФГАУ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова», 2017; 144 с.).

7. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Riboflavin/ultraviolet-a-induced collagen crosslinking for the treatment of keratoconus. Am J Ophthalmol 2003; 135 (5): 620–7.

8. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Stress-strain measurements of human and porcine corneas after riboflavin-ultraviolet-a-induced crosslinking. J Cataract Refract Surg 2003; 29 (9): 1780–5.

9. O'Brart DPS. Corneal collagen crosslinking for corneal ectasias: a review. Eur J Ophthalmol 2017; 27 (3): 253–69. DOI: 10.5301/ejo. 5000916.

10. Kymionis G, Portaliou D. Corneal crosslinking with riboflavin and UVA for the treatment of keratoconus. J Cataract Refract Surg 2007; 33 (7): 1143–4.

11. Bikbov MM, Bikbova GM, Surkova VK, Zajnullina NB. Clinical results of the treatment of keratoconus by transepithelial corneal collagen crosslinking. Ophthalmology 2016; 13 (1): 4–9. Russian (Бикбов М.М., Бикбова Г.М., Суркова В.К., Зайнуллина Н.Б. Клинические результаты лечения кератоконуса методом трансэпителиального кросслинкинга роговичного коллагена. Офтальмология 2016; 13 (1): 4–9).

12. Neroev VV, Handzhyan AT, Oganesyan OG, et al. Comparative analysis of clinical, functional and morphological results of femtosecond, transepithelial and standard crosslinking of corneal collagen. Russian Ophthalmological Journal 2017; 10 (2): 47–53. Russian (Нероев В.В., Ханджян А.Т., Оганесян О.Г. и др. Сравнительный анализ клинико-функциональных и морфологических результатов фемтосекундного, трансэпителиального и стандартного кросслинкинга роговичного коллагена. Российский офтальмологический журнал 2017; 10 (2): 47–53).

13. Abbondanza M, Feliche VD, Abbondanza G. Peripheral crosslinking of corneal collagen (P-CRK) of ultrathin corneas in terminal stages of keratoconus: a new technique. The Russian Annals of Ophthalmology 2017; 133 (4): 65–7. Russian (Аббонданза М., Феличе В.Д., Аббонданза Г. Периферический кросслинкинг роговичного коллагена (П-КРК) ультратонких роговиц в терминальных стадиях кератоконуса: новая техника. Вестник офтальмологии 2017; 133 (4): 65–7.)

14. Kopaenko AI, Ivanova NV. Transepithelial crosslinking of corneal collagen in progressive keratoconus. The Russian Annals of Ophthalmology 2018; 134 (2): 42–7. Russian (Копаенко А.И., Иванова Н.В. Трансэпителиальный кросслинкинг роговичного коллагена при прогрессирующем кератоконусе. Вестник офтальмологии 2018; 134 (2): 42–7).

15. Kostenev SV, Mushkova IA, Borzenok SA, et al. The first results of a new principle of nonlinear femtosecond laser induced corneal collagen crosslinking in an experiment. Modern technologies in ophthalmology 2018; 5 (25): 285–288. Russian (Костенев С.В., Мушкова И.А., Борзенок С.А. и др. Первые результаты нового принципа нелинейного фемтосекундного лазерного индуцированного кросслинкинга роговичного коллагена в эксперименте. Современные технологии в офтальмологии 2018; 5 (25): 285–8).

16. Schanzlin D, Asbell P, Burris T, Durrie D. The intrastromal corneal ring segments: Phase II results for the correction of myopia. Ophthalmology 1997; 104 (7): 1067–78.

17. Colin J, Cochener B, Savary G, Malet F. Correcting keratoconus with intracorneal rings. J Cataract Refract Surg 2000; 26 (8): 1117–22.

18. Izmajlova SB, Malyugin BE, Poruchikova EP. 10 years of corneal segment implantation: own experience. In: X Congress of Ophthalmologists of Russia. Moscow, 2015: 186 p. Russian (Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Поручикова Е.П. 10 лет имплантации роговичных сегментов: собственный опыт. В кн.: X Съезд офтальмологов России. М., 2015; 186 с.).

19. Malyugin BE, Izmajlova SB, Avramenko SA, Merzlov DE. Treatment of paracentral keratectasias of various genesis by the method of intrastromal keratoplasty with implantation of the corneal segment into the zone of greatest ectasia. Ophthalmosurgery 2011; (4): 16–22. Russian (Малюгин Б.Э., Измайлова С.Б., Авраменко С.А., Мерзлов Д.Е. Лечение парацентральных кератэктазий различного генеза методом интрастромальной кератопластики с имплантацией роговичного сегмента в зону наибольшей эктазии. Офтальмохирургия 2011; (4): 16–22).

20. Park SE, Tseng M, Lee JK. Effectiveness of intracorneal ring segments for keratoconus. Curr Opin Ophthalmol 2019; 30 (4): 220–228. DOI: 10.1097/ICU. 0000000000000582.

21. Giacomin NT, Mello GR, Medeiros CS, et al. Intracorneal Ring Segments Implantation for Corneal Ectasia. J Refract Surg 2016; 32 (12): 829–39. DOI: 10.3928/1081597X-20160822–01.

22. Guber I, Gatzioufas Z, Goldblum D, et al. Clinical Outcomes after Keraring Implantation for Keratoconus Management in Thin Corneas. Klin Monbl Augenheilkd 2019; 236 (12): 1435–38. DOI: 10.1055/a-0659–2549.

23. Amanzadeh K, Elham R, Jafarzadepur E. Effects of single-segment Intacs implantation on visual acuity and corneal topographic indices of keratoconus. J Curr Ophthalmol 2017; 29 (3): 189–193. DOI: 10.1016/j. joco. 2016.10.004.

24. Renesto ADC, Hirai FE, Campos M. Refractive and visual outcomes after Ferrara corneal ring segment implantation at a 60% depth in keratoconic eyes: case series. Arq Bras Oftalmol 2019; 82 (6): 488–94. DOI: 10.5935/0004–2749.20190091.

25. Janani L, Tanha K, Najafi F, et al. Efficacy of complete rings (MyoRing) in treatment of Keratoconus: a systematic review and meta-analysis. Int Ophthalmol 2019; 39 (12): 2929–46. DOI: 10.1007/s10792-019-01121-9.

26. Kalinnikov YuYu, Ioshin IE, Grigoryan AR. Intrastromal corneal ring implantation in the correction of high degree corneal astigmatism after anterior layered deep keratoplasty. Cataract and refractive surgery 2015; (4): 30–4. Russian (Калинников Ю.Ю., Иошин И.Э., Григорян А.Р. Имплантация интрастромального роговичного кольца в коррекции роговичного астигматизма высокой степени после передней послойной глубокой кератопластики. Катарактальная и рефракционная хирургия 2015; (4): 30–4).

27. Moroz ZI, Izmajlova SB, Kalinnikov YuYu, et al. Surgical treatment of keratoconus in the early stages of the disease by the method of intrastromal keratoplasty with segment implantation. Ophthalmosurgery 2012; (4): 22–7. Russian (Мороз З.И., Измайлова С.Б., Калинников Ю.Ю., Гурбанов Р.А., Легких С.Л., Шормаз И.Н. Хирургическое лечение кератоконуса на ранних стадиях заболевания методом интрастромальной кератопластики с имплантацией сегментов. Офтальмохирургия 2012; (4): 22–7).

28. Zadnik K, Money S, Lindsley K. Intrastromal corneal ring segments for treating keratoconus. Cochrane Database Syst Rev 2019; 5: CD011150. DOI: 10.1002/14651858. CD011150. pub[2].

29. Monteiro T, Alfonso JF, Franqueira N, et al. Comparison of clinical outcomes between manual and femtosecond laser techniques for intrastromal corneal ring segment implantation. Eur J Ophthalmol 2019; 10: 1120672119872367. DOI: 10.1177/1120672119872367.

30. Hashemi H, Nabavi A, Bayat R, Mohebbi M. Additional Intrastromal Corneal Ring Segments in Keratoconus. Cornea 2018; 37 (5): 574–9. DOI: 10.1097/ICO. 0000000000001519.

31. Nicula C, Pop RN, Nicula DV. Comparative Results in a Combined Procedure of Intrastromal Corneal Rings Implantation and Crosslinking in Patients with Keratoconus: A Retrospective Study. Ophthalmol Ther 2017; 6 (2): 313–21. DOI: 10.1007/s40123-017-0112-8.

32. Siatiri H, Jabbarvand M, Mohammadpour M, et al. Confocal biomicroscopic changes of the corneal layers following femtosecond laser-assisted MyoRing implantation in keratoconus. J Curr Ophthalmol 2016; 29 (3): 182–8. DOI: 10.1016/j. joco. 2016.11.004.

33. Lisa C, Fernandez-Vega Cueto L, et al. Long-Term Follow-Up of Intrastromal Corneal Ring Segments (210-Degree Arc Length) in Central Keratoconus with High Corneal Asphericity. Cornea 2017; 36 (11): 1325–30. DOI: 10.1097/ICO. 0000000000001339.

34. Torquetti L, Cunha P, Luz A, et al. Clinical Outcomes after Implantation of 320°-Arc Length Intrastromal Corneal Ring Segments in Keratoconus. Cornea 2018; 37 (10): 1299–305. DOI: 10.1097/ICO. 0000000000001709.

35. Prisant O, Pottier E, Guedj T, Hoang Xuan T. Clinical Outcomes of an Asymmetric Model of Intrastromal Corneal Ring Segments for the Correction of Keratoconus. Cornea 2020; 39 (2): 155–60. DOI: 10.1097/ICO. 0000000000002160.

36. Kang M, Byun Y, Yoo Y, et al. Long-term outcome of intrastromal corneal ring segments in keratoconus: Five-year follow up. Sci Rep 2019; 9 (1): 315. DOI: 10.1038/s41598-018-36668-7.

37. Fernandez-Vega Cueto L, Lisa C, Madrid-Costa D, et al. Long-Term Follow-Up of Intrastromal Corneal Ring Segments in Paracentral Keratoconus with Coincident Corneal Keratometric, Comatic, and Refractive Axes: Stability of the Procedure. J Ophthalmol 2017; 2017: 4058026. DOI: 10.1155/2017/4058026. Epub 2017 Aug 29.

38. Sanctis U de, Lavia C, Nassisi M, D'Amelio S. Keraring Intrastromal Segment Depth Measured by Spectral-Domain Optical Coherence Tomography in Eyes with Keratoconus. J Ophthalmol 2017; 2017: 4313784. DOI: 10.1155/2017/4313784.

39. Izmajlova SB, Malyugin BE, Pronkina SA, et al. Tactics of treatment and outcomes of complications of corneal segment implantation during keratectasia of various origins. Ophthalmosurgery 2014; (2): 16–23. Russian (Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Пронкина С.А. и др. Тактика лечения и исходы осложнений имплантации роговичных сегментов при кератэктазиях различного генеза. Офтальмохирургия 2014; (2): 16–23).

40. Tereshchenko AV, Demyanchenko SK, Vishnyakova EN. The use of a digital marking device during femtolaser intrastromal keratoplasty with implantation of itrastromal segments. Siberian Scientific Medical Journal 2019; 39 (3): 60–5. Russian (Терещенко А.В., Демьянченко С.К., Вишнякова Е.Н. Применение цифрового разметочного устройства при проведении фемтолазерной интрастромальной кератопластики с имплантацией итрастромальных сегментов. Сибирский научный медицинский журнал 2019; 39 (3): 60–5).

41. Tereshchenko AV, Demyanchenko SK, Vishnyakova EN. Verion-assisted femtolaser intrastromal keratoplasty: a precision approach. Modern technologies in ophthalmology 2018; 3 (23): 37–9. Russian (Терещенко А.В., Демьянченко С.К., Вишнякова Е.Н. Verion-ассистированная фемтолазерная интрастромальная кератопластика: прецизионный подход. Современные технологии в офтальмологии 2018; 3 (23): 37–9.)

42. Sitnik GV, Slonimskij AYu, Slonimskij YuB, Imshenetskaya TA. Femtolaser refractive autokeratoplasty in the treatment of distant stages of keratoconus (three-year results). The Russian Annals of Ophthalmology 2019; 135 (1): 28–35. Russian (Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б., Имшенецкая Т.А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика в лечении далеко зашедших стадий кератоконуса (трехлетние результаты). Вестник офтальмологии 2019; 135 (1): 28–35).

43. Sitnik GV, Slonimskiy AYu, Slonimskiy YuB, Imshenetskaya TA. The effectiveness of femtolaser refractive autokeratoplasty with keratoconus. Modern technologies in ophthalmology 2017; (3): 250–2. Russian (Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б., Имшенецкая Т.А. Эффективность фемтолазерной рефракционной аутокератопластики при кератоконусе. Современные технологии в офтальмологии 2017; (3): 250–2.)

44. Sitnik GV, Slonimskiy AYu, Slonimskiy YuB, Imshenetskaya TA. Femtolaser refractive autokeratoplasty: a new treatment for keratoconus. Medical Journal 2015; 4 (54): 113–7. Russian (Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б., Имшенецкая Т.А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: новый способ лечения кератоконуса. Медицинский журнал 2015; 4 (54): 113–7).

45. Tereshchenko AV, Demyanchenko SK, Timofeev MA. Clinical and functional results of femtolaser refractive autokeratoplasty using a personalized mathematical model in the surgical treatment of keratoconus. Point of view: East — West 2019; (1): 20–2. Russian (Терещенко А.В., Демьянченко С.К., Тимофеев М.А. Клинико-функциональные результаты фемтолазерной рефракционной аутокератопластики с использованием персонализированной математической модели в хирургическом лечении кератоконуса. Точка зрения: Восток — Запад 2019; (1): 20–2).

46. Timofeev MA, Tereshchenko AV, Demyanchenko SK. Femtolaser refractive autokeratoplasty: analysis of medium-term results. Modern technologies in ophthalmology 2019; 5 (30): 241–4. Russian (Тимофеев М.А., Терещенко А.В., Демьянченко С.К. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: анализ среднесрочных результатов. Современные технологии в офтальмологии 2019; 5 (30): 241–4).

47. Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Demyanchenko SK, et al. FRAK femtolaser refractive autokeratoplasty: clinical experience. Practical medicine 2018; 3 (114): 182–6. Russian (Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К. и др. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика «ФРАК»: опыт клинического применения. Практическая медицина 2018; 3 (114): 182–6).

48. Timofeev MA, Tereshchenko AV, Demyanchenko SK. Mathematical modeling in the surgical treatment of keratoconus by femtolaser refractive autokeratoplasty. Modern technologies in ophthalmology 2018; 4 (24): 239–41. Russian (Тимофеев М.А., Терещенко А.В., Демьянченко С.К. Математическое моделирование в хирургическом лечении кератоконуса методом фемтолазерной рефракционной аутокератопластики. Современные технологии в офтальмологии 2018; 4 (24): 239–41).

49. Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Demyanchenko SK, et al. Femtolaser refractive autokeratoplasty: a personalized approach. Izvestiya Rossijskoj Voenno-medicinskoj akademii 2018: 37 (2): 77–80. Russian (Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., и др. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика — персонализированный подход. Известия Российской Военно-медицинской академии 2018: 37 (2): 77–80).