

# Асимметричные интрастромальные роговичные сегменты в хирургическом лечении кератоконуса. Обзор литературы



Д.А. Сагоненко<sup>1</sup> Ю.Ю. Калинин<sup>2</sup> С.Ю. Калинин<sup>3</sup>  
Л.Ф. Рагимова<sup>2</sup>, З.М. Исмаилова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Клиника амбулаторной микрохирургии глаза»  
ул. Яблочкова, 21, к. 3, Москва, 127322, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Делегатская, 20, Москва, 127473, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2025;22(4):750–757

Кератоконус (КК) — хроническое прогрессирующее заболевание роговицы, характеризующееся ее истончением и конусовидным выпячиванием, что приводит к значительному снижению остроты зрения (ОЗ) и трудно поддается оптической коррекции очками или мягкими контактными линзами (МКЛ). Хирургические методы зависят от стадии КК и скорости его прогрессирования. На начальных стадиях наиболее часто применяются кросслинкинг роговичного коллагена (КРК) с различными модификациями протоколов облучения; интраламеллярная кератопластика (ИЛКП) с имплантацией роговичных сегментов (ИРС) или колец; на более поздних стадиях возможно проведение сквозной (СКП) или передней послойной кератопластики (ППК). Однако, несмотря на большой арсенал методов лечения КК, далеко не многие являются персонализированными и помогают достичь высоких функциональных результатов. Нерешенной является проблема остаточных аметропий и неправильного астигматизма, в связи с чем разработка новых подходов к хирургическим методам лечения КК остается актуальной по сегодняшний день.

**Ключевые слова:** кератоконус, кератоконизация, интрастромальные роговичные сегменты, кросслинкинг, склеральные линзы

**Для цитирования:** Сагоненко Д.А., Калинин Ю.Ю., Калинин С.Ю., Рагимова Л.Ф., Исмаилова З.М. Асимметричные интрастромальные роговичные сегменты в хирургическом лечении кератоконуса. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2025;22(4):750–757. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-4-750-757>

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов отсутствует.**



# Asymmetric Intrastromal Corneal Ring Segments in the Surgical Treatment of Keratoconus. Review

D.A. Sagonenko<sup>1</sup>, Yu.Yu. Halinnikov<sup>2</sup>, S.Yu. Halinnikova<sup>3</sup>, L.F. Ragimova<sup>2</sup>, Z.M. Ismailova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Outpatient Eye Microsurgery Clinic  
Yablochkova str., 21, bld. 3, Moscow, 127322, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian University of Medicine (ROSUNIMED)  
Delegatskaya str., 20, Moscow, 127473, Russian Federation

<sup>3</sup> S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Beskudnikovskiy ave., 59A, Moscow, 127486, Russian Federation

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2025;22(4):750-757**

Keratoconus (KC) is a chronic progressive disease of the cornea characterized by thinning and cone-shaped protrusion, leading to a significant reduction in visual acuity. It is often difficult to correct optically using glasses or soft contact lenses. Surgical methods depend on the stage of KC and the rate of its progression. In the early stages, corneal collagen crosslinking (CXL) with various protocol modifications is most used, along with intralaminar keratoplasty (ILKP) with the implantation of corneal ring segments (ICRS) or rings. At later stages, penetrating (PHP) or deep anterior lamellar keratoplasty (DALH) may be required. However, despite the wide range of treatment options for KC, few methods are personalized and achieve high visual acuity outcomes. The issue of residual ametropia and irregular astigmatism remains unresolved, making the development of new approaches to the surgical treatment of KC a relevant and pressing challenge to this day.

**Keywords:** keratoconus, keratoectasia, intrastromal corneal ring segments, crosslinking, scleral lenses

**For citation:** Sagonenko D.A., Halinnikov Yu.Yu., Halinnikova S.Yu., Ragimova L.F., Ismailova Z.M. Asymmetric intrastromal corneal ring segments in the surgical treatment of keratoconus. Review. *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(4):750-757. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-4-750-757>

**Financial Disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**There is no conflict of interests.**

## ВВЕДЕНИЕ

КК — дегенеративное невоспалительное заболевание роговицы, которое характеризуется ее истончением и, как следствие, конусовидным выпячиванием (эктазией), что приводит к значительному снижению остроты зрения (ОЗ) и сложно поддающейся полной очковой или контактной коррекции.

Выбор метода коррекции и тактики лечения зависят от степени прогрессирования и стадии КК, а также наличия сопутствующей патологии органа зрения. К нехирургическим методам относятся очковая и коррекция мягкими контактными линзами (МКЛ, монофокальные и и/или торические). Существуют ортокератологические варианты коррекции жесткими (ЖКЛ) и склеральными контактными линзами (СКЛ). Однако их использование может быть эффективно только при стабилизированном КК 1–3-й стадии [1].

При прогрессирующем КК, непереносимости или наличии противопоказаний к контактной коррекции используются хирургические методы лечения, такие как: кросслинкинг роговичного коллагена (КРК), который повышает биомеханическую прочность роговицы, замедляет или полностью останавливает прогрессирование болезни [2]; интраламеллярная кератопластика (ИЛКП) с имплантацией ИРС для восстановления сферичности роговицы (уменьшения ее кривизны и величины

астигматизма); глубокая передняя послойная или сквозная кератопластика (ГПКП/СКП), которая используется на более поздних стадиях при наличии помутнений роговицы в оптической зоне.

В данном обзоре будет рассмотрена ИЛКП с имплантацией различных видов сегментов.

## ИНТРАЛАМЕЛЛЯРНАЯ КЕРАТОПЛАСТИКА С ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИРС

Идея имплантации ИРС впервые была высказана в 1966 году J. Barraquer, а первая подобная операция выполнена в 1991 году, сначала на слепых глазах, впоследствии с целью коррекции миопии, и только в 2000 году по поводу лечения КК [3, 4]. В настоящее время ИЛКП с имплантацией ИРС чаще всего используется при прогрессирующем КК 2–3-й стадий, ятрогенной кератоктазии после рефракционных операций и при пеллюцидной маргинальной дегенерации (ПМД) [5, 6]. Стоит отметить, что имплантация ИРС — микроинвазивная процедура, позволяющая избежать и/или отсрочить проведение кератопластики. Основными противопоказаниями к проведению ИЛКП с ИРС являются: кератометрия более 65D, толщина роговицы менее 350 мкм в месте имплантации, помутнение роговицы в центральной зоне, системные аутоиммунные заболевания, беременность и грудное вскармливание [7, 8].

Как правило, ИРС выполнены из биосовместимого материала полиметилметакрилата (ПММА) и могут иметь различный размер, высоту, диаметр, форму сечения и длину дуги.

### ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КЕРАТОТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ ПРИ ВЫБОРЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИРС

Выбор имплантации того или иного ИРС зависит не только от исходных данных ОЗ пациента и степени астигматизма, но и в большей степени от кератотопографического паттерна («галстук-бабочка», «уточка», «снеговик» и др.), при этом может использоваться как один, так и пара сегментов согласно номограммам производителей [9]. Принципиальное значение в выборе методики имплантации ИРС имеет определение фенотипа КК, который может быть симметричным и асимметричным [8, 10]. Первый характеризуется равномерной elevацией передней поверхности, центральным или парацентральным расположением эктазии, при этом может встречаться «регулярный» астигматизм. При симметричном КК можно ожидать относительно прогнозируемое изменение роговицы после имплантации ИРС. К таким фенотипам относятся: «круглый», «овальный» и «галстук-бабочка». Асимметричные фенотипы КК по определению характеризуются неравномерными зонами кривизны роговицы, в связи с этим нерегулярный астигматизм более выражен и труднее поддается очковой и контактной коррекции. К таким типам относятся «снеговик», «уточка», «круассан» (рис. 1А, Б). Стоит также отметить что при таких фенотипах чаще используются два ИРС с разными параметрами, что требует оптимизации номограмм.

### ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЛКП С ИРС

Хирургическая техника ИЛКП с ИРС стандартно включает в себя разметку оси по сильному меридиану роговицы, где выполняется насечка. Далее интрастромально на 2/3 глубины производится формирование туннеля

для ИРС, что может выполняться как мануально [11], так и с помощью фемтосекундного лазера (ФСЛ) [12]. Выбор проведения операции в том или ином варианте во многом зависит от навыков хирурга, технического оснащения клиники и финансовых возможностей пациента.

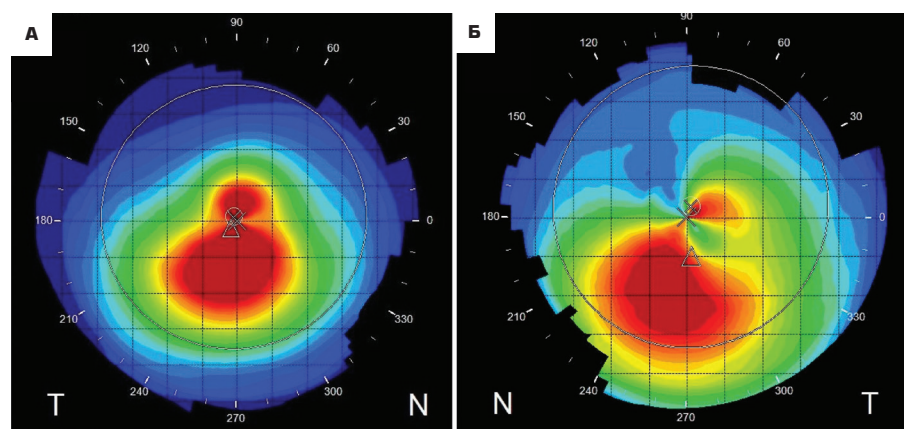
При оценке клинко-функциональных результатов после имплантации ИРС отмечают снижение максимальных значений кератометрии (Kmax) и сферозэквивалента (SE), однако показатели НКОЗ и МКОЗ в обоих случаях не достигают высоких значений [13, 14]. В связи с этим основные жалобы пациентов после ИРС связаны с нечеткой ОЗ, двоением, субъективным чувством инородного тела и косметическим дискомфортом [15].

Таким образом, ИРС не гарантирует окончательную высокую ОЗ, что также требует проведения дополнительных методов коррекции после имплантации ИРС: использование контактной коррекции, проведение ФРК и/или имплантацию факичных интраокулярных линз (ФИОЛ) [14, 16, 17]. Одним из перспективных направлений является разработка асимметричных интрастромальных роговичных сегментов (АИРС), которые позволяют более эффективно избежать оптических искажений по сравнению со стандартными ИРС.

### ПРИМЕНЕНИЕ АИРС В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С КК

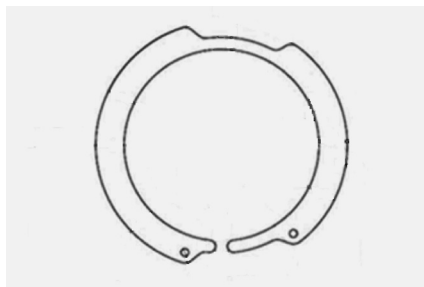
Увеличение рефракционных показателей на фоне неправильного астигматизма и повышение удовлетворенности пациентов достигается за счет использования АИРС [18, 19]. Данные сегменты, в отличие от традиционных, толще с одного конца и тоньше с другого, что обеспечивает градиент толщины и оказывает более выраженный рефракционный эффект, который достигается путем уплощения роговицы более толстым концом сегмента в месте наибольшей эктазии. АИРС в большей степени адаптированы к асимметричным кератотопографическим паттернам КК, таким как «снеговик», «уточка», «круассан», что позволяет хирургу более точно моделировать роговицу.

Первая публикация об АИРС в зарубежной научной прессе была сделана в 2019 году A. Vega-Estrada, при этом были представлены результаты имплантации ИРС под названием Visumring (VR), представляющие собой асимметричную дугу длиной 353° с изменяемой шириной основания, толщиной и длиной дуги (рис. 2) [20]. Данное исследование продемонстрировало следующие кератометрические, рефракционные и aberрометрические результаты: средняя НКОЗ повысилась с 0,08 до 0,22, сферический компонент уменьшился с -10,35 до -2,84D, цилиндрический увеличился с -4,05 до -4,35D, МКОЗ



**Рис. 1.** Кератотопограмма пациентов с КК 2–3-й стадий с различными вариантами паттернов (топограф Zeiss Atlas 9000): А — фенотип «снеговик», Б — фенотип «уточка»

**Fig. 1.** Corneal Topography of patients with stage 2–3 KC with different patterns (Zeiss Atlas 9000 Corneal Topographer): А — «duck» phenotype, Б — «snowman» phenotype



**Рис. 2.** Схематическое изображение первого асимметричного сегмента Visumring (VR)

**Fig. 2.** Schematic representation of the first asymmetric segment Visumring (VR)



**Рис. 3** Схематическое изображение асимметричного роговичного сегмента Keraring AS

**Fig. 3.** Schematic representation of an asymmetric corneal segment Keraring AS

выросла с 0,24 до 0,43. К<sub>max</sub> уменьшилась с 51,8 до 47,6D, однако было показано статистически незначительное ( $p > 0,53$ ) снижение коэффициентов aberromетрии роговицы. Стоит также отметить, что в 5 из 30 случаев в течение всего периода наблюдения ( $14,7 \pm 7,9$  мес.) потребовалось удаление VR из-за расплавления роговицы. Такой высокий уровень осложнений (16,67 %), на наш взгляд, мог быть связан с неправильным позиционированием VR или его дизайном, что вызвало избыточное давление на окружающие ткани и способствовало их повреждению.

В том же году О. Prisant опубликовал работу о результатах имплантации АИРС с прогрессивной толщиной Keraring AS (Mediphacos Ltd, Minas Gerais, Бразилия, рис. 3) и различными вариациями длины дуги: 150°, 160°, 180° и 330°, диаметром 5 мм и переменной толщиной от 250 до 350, от 200 до 300 и от 150 до 250 мкм [18]. Пациенты (84 человека, 104 глаза) были разделены на 2 группы в зависимости от кератотопографического паттерна и количества установленных АИРС. Первая ( $n = 75$  глаз) — с одним Keraring AS (паттерн «уточка»), вторая ( $n = 29$  глаз) — с двумя АИРС (паттерн «снеговик»). В обеих группах было получено статистически значимое увеличение НКОЗ (с 0,82 до 0,46 по шкале LogMAR) и МКОЗ (с 0,31 до 0,21), снижение сферического (с -1,74 до -0,90D) и цилиндрического компонента (с -4,22 до -2,01D), К<sub>max</sub> (с 53,6 до 50,3D), а также роговичного астигматизма (РА) (с -4,6 до -2,2D).

В 2020 году Е. Соşkunseven опубликовал результаты 12-месячного наблюдения за 58 пациентами, которым была произведена имплантация Keraring AS. После операции наблюдалось улучшение средних показателей ОЗ с 0,71 до 0,28 (LogMAR) и МКОЗ от 0,28 до 0,10 (LogMAR), средний сферический компонент рефракции снизился на 1,63D, с -2,56 до -0,93D, а цилиндрический уменьшился на 1,80D, с -4,15 до -2,35D. Наблюдалось также значительное уменьшение К<sub>max</sub> с 54,21 до 50,93 D. При оценке изменений вертикальной комы было выявлено его уменьшение на 30,7 % [21]. Данная процедура рядом исследователей была признана эффективной и безопасной, а результаты стабильными [18].

В том же году Р.М. Baptista обратил внимание на важность использования номограмм, предоставляемых онлайн-сервисом от компании-производителя Keraring AS Mediphacos™ (<https://keraring.online>), которые на данный момент доступны также в виде приложения для смартфонов на базе iOS и Android [22]. В исследовании принимали участие пациенты с КК типа 2 («уточка») и типа 3 («снеговик») по классификации F.-V. Alfonso, которые трудно поддаются коррекции стандартными ИРС [23]. Хотя имплантация АИРС по номограммам Keraring AS Mediphacos позволила улучшить ряд рефракционных, топографических и aberromетрических параметров в обеих группах, большая эффективность была выражена у пациентов с типом 2 («уточка»): НКОЗ ( $0,53 \pm 0,3$  против  $0,37 \pm 0,3$ ), а показатель МКОЗ был практически аналогичным ( $0,62 \pm 0,2$  против  $0,65 \pm 0,2$ ). У пациентов с 3 типом наблюдалось несколько более значительное снижение SE ( $1,52 \pm 3,0$  против  $1,16 \pm 1,3$ ). В связи с этим авторы отметили необходимость дальнейшего совершенствования номограмм.

Наибольший эффект повышения НКОЗ при имплантации АИРС у пациентов с КК 2-го типа («уточка»), на наш взгляд, мог быть обусловлен особенностью топографического профиля: асимметрия кератотопографии выражена сильнее и часто локализуется в ниже-центральной части роговицы. Это дает возможность более точной коррекции астигматизма, а также значительно уменьшает кому и сферические aberrации, которые существенно влияют на качество зрения. Кроме того, пациенты с типом «уточка» часто имеют более низкую исходную ОЗ из-за выраженной асимметрии роговицы.

В публикации J.G. Arbelaez были приведены не только собственные результаты имплантации Keraring AS при КК типа «уточка», но и осуществлен сравнительный анализ исследований с имплантацией симметричных АИРС, отразивший более высокие показатели ОЗ при использовании АИРС [24].

Последние наиболее значимые публикации, посвященные результатам использования АИРС при коррекции асимметричных паттернов у пациентов с КК представлены в табл. 1.



**Таблица 1.** Сравнение исследований, посвященных имплантации ИРС при фенотипах «уточка» и «снеговик»**Table 1.** Comparison of studies on the implantation of ICRS with the “duck” and “snowman” type

Исследование Study	Тип и количество ИРС Type and number of ICRS	НКОЗ до операции, logMAR UDVA preop, LogMAR	НКОЗ после операции, logMAR UDVA postop, LogMAR	МКОЗ до операции, logMAR CDVA preop, LogMAR	МКОЗ после операции, logMAR CDVA postop, LogMAR
Prisant и соавт. 2019, тип «снеговик» (22 пациента, 29 глаз, 3 мес. наблюдения) Prisant et al. 2019, “snowman” type (22 patients, 29 eyes, 3-month follow-up)	Асимметричный, 2 ИРС Progressive thickness, 2 ICRS	0,89	0,53	0,34	0,29
Prisant и соавт. 2019, тип «уточка» (60 пациентов, 75 глаз, 3 мес. наблюдения) Prisant et al. 2019, “duck” type (60 patients, 104 eyes, 3-month follow-up)	Асимметричный, 1 ИРС Progressive thickness, 1 ICRS	0,80	0,44	0,30	0,18
Fernández-Vega-Cueto и соавт. 2020, тип «снеговик» (83 пациента, 89 глаз, 1 год наблюдения) Fernández-Vega-Cueto et al. 2020, “snowman” type (83 patients, 89 eyes, 3-month follow-up)	Симметричный, 1 ИРС Uniform thickness, 1 ICRS	0,49	0,30	0,11	0,06
Arbelaez и соавт. 2021, тип «уточка» (17 пациентов, 23 глаза, 6 мес. наблюдения) Arbelaez et al. 2021, “duck” type (17 patients, 23 eyes, 6-month follow-up)	Асимметричный, 1 ИРС Progressive thickness, 1 ICRS	0,70	0,22	0,33	0,14

Таблица суммирует данные клинических исследований, в которых сравнивались результаты имплантации ИРС при двух основных асимметричных фенотипах КК: «уточка» и «снеговик». Приведенные исходные и послеоперационные показатели НКОЗ и МКОЗ показывают, что при фенотипе «уточка» наибольший прирост зрительных функций достигается при имплантации одного АИРС, при этом НКОЗ в среднем улучшается более чем в два раза, а МКОЗ — на 0,12–0,16 logMAR.

При фенотипе «снеговик» также имеется положительная динамика, однако разброс результатов больше, а улучшение менее выражено при использовании одного симметричного ИРС по сравнению с двумя АИРС [18, 25]. Это указывает на возможную зависимость выбора конструкции и количества сегментов от типа кератотопографического паттерна. На наш взгляд, оба варианта имеют право на существование, но требуют дальнейшего изучения, так как исследования охватывают небольшое количество глаз ( $n = 104$  и  $n = 89$ ).

По имеющимся публикациям, фенотип «уточка» подразумевает имплантацию только одного ИРС, что не означает принципиальную невозможность использования двух ИРС в аспекте появляющихся у производителей новых моделей, необходимости докоррекции остаточного астигматизма без реимплантации ИРС.

Barugel и соавт. провели еще одно сравнительное исследование между симметричными ИРС и АИРС у 56 пациентов (68 глаз): 1 группа (34 глаза) с типом «уточка» (1 сегмент) и 2 группа (34 глаза) с типом «снеговик» (2 сегмента) [8]. При этом существенной разницы между использованием одного асимметричного или несимметричного ИРС при типе «уточка» обнаружено не было. При типе «снеговик» верхний-нижний индекс Рабиновича (I-S) значительно снизился при использовании 1 асимметричного ИРС в отличие от 2 несимметричных. Аберрации высшего порядка и кома были незначительно

ниже после имплантации двух асимметричных сегментов у пациентов с фенотипом «снеговик» (от  $2,85 \pm 0,89$  до  $2,60 \pm 0,91$  мкм и от  $2,64 \pm 0,93$  до  $2,39 \pm 0,98$  мкм) и значительно выше после имплантации двух несимметричных ИРС (от  $2,56 \pm 1,28$  до  $3,08 \pm 1,62$  мкм и от  $2,34 \pm 1,27$  до  $2,84 \pm 1,62$  мкм). Таким образом, имплантация двух АИРС не улучшила результаты у пациентов во второй группе, однако была более эффективной в отношении уменьшения вертикальной асимметрии и аберраций при фенотипе «снеговик» в сравнении с двумя стандартными ИРС.

В работе Cuiña Sardiña была проведена имплантация АИРС AJL-pro+ (AJL Ophthalmic, Испания), которые имеют два типа прогрессии толщины: как по основанию (600–800 мкм), так и по толщине (0,15–0,25/0,15–0,30 мм), причем доступны варианты увеличения градиента как по часовой стрелке, так и против нее, расчет производился по номограммам Dr. Kamoun собственной разработки на основе клинической практики [26]. После операции у 25 пациентов (31 глаз) статистически значимо наблюдались изменения НКОЗ (с 0,75 до 0,43 logMAR), МКОЗ (с 0,18 до 0,10 logMar) и Kmax (с 47,53 до 45,29D). Среднее снижение аберрации по типу «кома» составило 40,1 %, что, по-видимому, является основным фактором, приводящим к улучшению МКОЗ, и преимуществом перед стандартными ИРС.

Для лучшего понимания механизма действия АИРС и совершенствования номограмм авторы разработали модели конечных элементов в двух и трех измерениях [27, 28], которые показали, что АИРС с переменной толщиной и шириной основания обладают потенциалом для специфической коррекции оптических аберраций, преобладающих при асимметричных типах топограмм у пациентов с КК. Применение АИРС может быть направлено на коррекцию не только астигматизма, но и на горизонтальную/вертикальную кому и другие

абберации высшего порядка, учитывающую эффекты послеоперационного ре-моделирования коллагена роговицы. Исследователи обратили внимание, что до сих пор абберометрические данные практически не учитывались в клинике для интерпретации результатов после имплантации ИРС, и предложили развивать это направление.

Несмотря на достоинства полимерных ИРС, они имеют свои недостатки: ограничения по толщине роговицы пациента в зоне имплантации, риски протрузии и экстррузии и т.д. В связи с этим последним достижением в ИЛКП стала возможность применения различных вариантов аллогенных сегментов, изготовленных из донорской роговицы.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛОГЕННЫХ ИНТРАСТРОМАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ У ПАЦИЕНТОВ С КК**

Аллогенные интрастромальные роговичные сегменты — CAIRS (Corneal Allogenic Intrastromal Ring Segments) впервые были представлены в 2015 году S. Jacob и соавт. [29]. Несомненно, наиболее сложным аспектом в данной технологии является расчет толщины сегмента. Так, в 2023 году была опубликована работа S. Jacob по кастомизации CAIRS [30]. Как и биосинтетические сегменты, CAIRS можно сформировать по любой длине дуги, толщине или объему, а также оптической зоне, но наиболее важным является возможность подбора индивидуальной формы сегмента. Стоит также отметить, что CAIRS могут быть имплантированы более поверхностно (на 50 % глубины), чем традиционные ИРС (на 70–80 % глубины).

Для изготовления асимметричных CAIRS используются донорский трансплантат стромы роговицы, из которого с помощью трепана Jacob CAIRS (внутренний/внешний диаметр 6,5/8 или 7,75/8 мм) выкраивают ткань и моделируют под необходимые характеристики.

После имплантации асимметричных CAIRS (29 пациентов, 32 глаза) НКОЗ увеличилась с 0,25 до 0,42, МКОЗ с 0,67 до 1, сферический компонент рефракции уменьшился с -1,38D до 0, цилиндрический с -3,5 до -3,0D, а Kmax с 58,25 до 53,55D. CAIRS по сравнению с синтетическими ИРС обладают более высокой биосовместимостью и показателем преломления, аналогичным показателю преломления роговицы пациента. Использование CAIRS помогает избежать некоторых осложнений, присущих традиционным сегментам, таким как некроз передних слоев стромы, экстррузия сегментов, васкуляризация и помутнение стромы в проекции сегмента. При этом стоит отметить возможность имплантации CAIRS у пациентов со значительным истончением роговицы (до 320 мкм) и большими значениями кератометрии (до 74D). Российским аналогом CAIRS является операция бандажной лечебно-оптической кератопластики (БЛОК), разработанная и примененная в 2014 году В.Р. Мамиконяном и соавт. в НИИ ГБ РАМН [31].

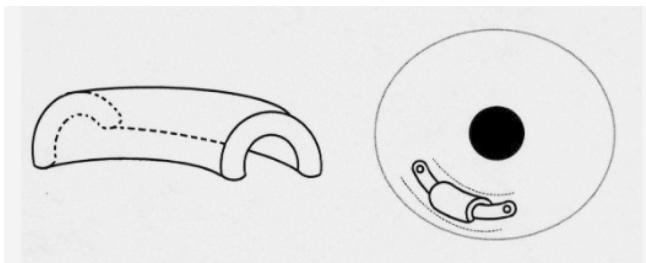
Несмотря на преимущества и высокие послеоперационные результаты, применение данного метода у пациентов с КК ограничено, так как исследование проводилось на больных с развитыми стадиями, также отсутствуют данные отдаленных клинико-функциональных результатов лечения. Данная технология, на наш взгляд, представляется достаточно перспективной, однако значительным недостатком является отсутствие номограмм для более точного прогнозирования результатов и сложность в заготовлении и хранении донорского материала.

### **ОБСУЖДЕНИЕ**

Говоря о выборе того или иного способа хирургического лечения КК, необходимо учитывать такие факторы, как стадия КК и степень прогрессирования, образ жизни и профессия пациента, исходная толщина роговицы и кератотопографические особенности роговицы, желание и возможность использования дополнительных методов коррекции и т.д. Известно, что ношение СКЛ у пациентов с КК способствует достижению высоких функциональных результатов, как было неоднократно показано рядом авторов [32, 33]. Тем не менее в случае невозможности использования контактной коррекции единственным методом выбора остается ИРС. Мнения авторов носят различный характер в отношении методики имплантации [11–14], этапности проведения КРК и ИРС [34], вариантов моделей РС (сечения, материала, наличия градиента).

Преимуществами традиционных ИРС являются простота в расчете и установке благодаря стандартным номограммам, относительно низкий уровень осложнений при соблюдении техники имплантации и хорошие результаты коррекции сферического компонента рефракции, а также надежность и предсказуемость при коррекции регулярного астигматизма и симметричных форм КК. Стоит отметить, что имплантация симметричных РС у пациентов с асимметричными паттернами, такими как «уточка» или «снеговик», показывает низкие клинико-функциональные результаты как в раннем, так и в позднем послеоперационном периоде [8, 24]. Это обстоятельство, на наш взгляд, обусловлено не только сложностями расчета и прогнозирования результата, которые носят непредсказуемый характер в отношении конечной рефракции при асимметричных фенотипах КК, но и ограниченными функциональными возможностями стандартных РС в коррекции асимметричных форм КК [23, 24]. Таким образом, наибольшую роль в выборе того или иного РС играют исходные топографические показатели пациентов [3, 35, 36].

Так, при асимметричных паттернах, например «уточка», наибольшую эффективность показали РС Keraring AS, что, по-видимому, объясняется наличием номограмм производителя и большим количественным опытом их применения. При паттерне «снеговик» могут использоваться как два симметричных РС, так и два или один АИРС различных производителей (Keraring



**Рис. 4.** Схематическое изображение дополнительного блока «дополнительный + основной» ИРС («Glide-ICRS»)

**Fig. 4.** Schematic representation of the additional and “additional + main” block of the ICRS (“Glide-ICRS”)

AS, AJL-pro+ и др.). Все варианты показывают повышение НКОЗ и МКОЗ, однако небольшое количество глаз в исследованиях (29–89) и различные исходные данные не позволяют достоверно определиться с наиболее эффективным вариантом [13, 15, 16].

Преимуществами АИРС являются более эффективная коррекция асимметричных форм кератоконуса за счет градиентной толщины сегментов, улучшение зрительных функций за счет уменьшения комы. Среди недостатков АИРС можно выделить сложность расчета и выбора оптимального сегмента, требующие высокой квалификации хирурга, более высокий риск осложнений, таких как расплавление роговицы или экстррузия сегмента, при неправильной установке, а также ограниченные данные о долгосрочной стабильности метода. Как видно из приведенных публикаций Barugel, Arbelaez и др., послеоперационные данные не показывают максимальный возможный результат по зрительным функциям [8, 24]. На данном этапе единственная возможность изменить полученные результаты в рамках ИЛКП с ИРС — удаление установленных ИРС и замена их на новые, имеющие отличные параметры, что несет определенные риски и не гарантирует итогового высокого результата.

В 2022 году Ю.Ю. Калининским и соавт. был предложен способ докоррекции остаточной аметропии после

имплантации различных видов ИРС, достигаемый за счет введения дополнительного имплантата поверх ИРС в роговичный карман<sup>1</sup> (рис. 4). Дополнительный мини-сегмент позволяет прогнозируемо осуществлять коррекцию остаточных аметропий с минимальной травматизацией роговицы, что способствует более точному топографическому выравниванию иррегулярной поверхности роговицы и приводит к уменьшению аберраций высшего порядка и стабилизации прогрессирования заболевания, а следовательно, к повышению зрительных функций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проанализированной литературы можно сделать вывод, что достижение высоких клинико-функциональных результатов лечения у пациентов с КК является актуальным направлением по сей день. Выбор АИРС — эффективный метод коррекции асимметричных кератэктазий, способствующий значительному улучшению ОЗ и качества жизни пациента. Несмотря на обилие предложенных вариантов симметричных и асимметричных РС, выбор наиболее оптимального остается открытым. На наш взгляд, дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку более точных алгоритмов подбора АИРС, учитывающих не только топографические, но и аберрометрические параметры, а также оценку эпителиального профиля роговицы. Перспективным является использование CAIRS, которые обладают большей биосовместимостью и могут быть использованы в сложных случаях при истончении роговицы и сочетаться с традиционными ИРС из ПММА.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Сагоненко Д.А. — разработка и дизайн исследования, получение и анализ данных, написание текста;  
Калинников Ю.Ю. — разработка и дизайн исследования, окончательное утверждение рукописи;  
Калиникова С.Ю. — разработка и дизайн исследования, получение и анализ данных, написание и редактирование текста;  
Рагимова Л.Ф. — получение и анализ данных, написание текста;  
Исмаилова З.М. — получение и анализ данных, написание текста.

<sup>1</sup> Патент RU 2761731, 13.12.21 «Glide-ICRS».

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Fuller DG, Wang Y. Safety and Efficacy of Scleral Lenses for Keratoconus. *Optom Vis Sci.* 2020 Sep;97(9):741–748. doi: 10.1097/OPX.0000000000001578.
- Angelo L, Gokul Bopptom A, McGhee C, Ziaei M. Corneal Crosslinking: Present and Future. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila).* 2022 Sep 1;11(5):441–452. doi: 10.1097/APO.0000000000000557.
- Sakellaris D, Balidis M, Gorou O, Szentmary N, Alexoudis A, Grieshaber MC, Sagri D, Scholl H, Gatziofufas Z. Intracorneal Ring Segment Implantation in the Management of Keratoconus: An Evidence-Based Approach. *Ophthalmol Ther.* 2019 Oct;8(Suppl 1):5–14. doi: 10.1007/s40123-019-00211-2.
- David C, Kallel S, Trinh L, Goemaere I, Borderie V, Bouheraoua N. Les anneaux intra-cornéens dans la prise en charge du kératocône [Intracorneal ring segments in keratoconus management]. *J Fr Ophtalmol.* 2021 Jun;44(6):882–898. French. doi: 10.1016/j.jfo.2020.10.021.
- He C, Joergensen JS, Knorz MC, McKay KN, Zhang F. Three-Step Treatment of Keratoconus and Post-LASIK Ectasia: Implantation of ICRS, Corneal Cross-linking, and Implantation of Toric Posterior Chamber Phakic IOLs. *J Refract Surg.* 2020 Feb 1;36(2):104–109. doi: 10.3928/1081597X-20191217-01.
- Калинников ЮЮ, Невров ДВ, Калининкова СЮ, Ткаченко ИС. Клинико-функциональные результаты этапного комбинированного хирургического лечения пеллюцидной дегенерации роговицы. *Офтальмология.* 2021;18(1):54–60. doi: 10.18008/1816-5095-2021-1-54-60.
- Kalinnikov YuYu, Nevrov DV, Kalinnikova SYu, Tkachenko IS. Clinical and Functional Results of a Combined Surgical Treatment of Pellucid Marginal Degeneration. *Ophthalmology in Russia.* 2021;18(1):54–60 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2021-1-54-60.
- Deshmukh R, Ong ZZ, Rampat R, Alió Del Barrio JL, Barua A, Ang M, Mehta JS, Said DG, Dua HS, Ambrósio R Jr, Ting DSJ. Management of keratoconus: an updated review. *Front Med (Lausanne).* 2023 Jun 20;10:1212314. doi: 10.3389/fmed.2023.1212314.
- Barugel R, David C, Kallel S, Borderie M, Cuyaubère N, Goemaere I, Borderie V, Bouheraoua N. Comparative Study of Asymmetric Versus Non-asymmetric Intrastromal Corneal Ring Segments for the Management of Keratoconus. *J Refract Surg.* 2021 Aug;37(8):552–561. doi: 10.3928/1081597X-20210526-01.
- Sakellaris D, Balidis M, Gorou O, Szentmary N, Alexoudis A, Grieshaber M, Sagri D, Scholl H, Gatziofufas Z. Intracorneal ring segment implantation in the management of keratoconus: an evidence-based approach. *Ophthalmol Ther.* 2019;8(Suppl. 1):5–14. doi: 10.1007/s40123-019-00211-2.
- Niazi S, Gatziofufas Z, Doroodgar F. Keratoconus: exploring fundamentals and future perspectives — a comprehensive systematic review. *Therapeutic Advances in Ophthalmology.* 2024;16:1–26. doi: 10.1177/25158414241232258.
- Costa JV, Monteiro T, Franqueira N, Faria-Correia F, Alfonso J, Vaz F. Five-year long-term outcomes of intrastromal corneal ring segment implantation using the manual technique for keratoconus management. *J Cataract Refract Surg.* 2021 Jun 1;47(6):713–721. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000500.

12. Heikal MA, Abdelshafy M, Soliman TT, Hamed AM. Refractive and visual outcomes after Keraring intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus assisted by femtosecond laser at 6 months follow-up. *Clin Ophthalmol*. 2016 Dec 23;11:81–86. doi: 10.2147/OPTH.S120267.
13. Туйчибаева ДМ, Ким АА. Сравнительная оценка эффективности хирургического лечения кератоконуса методом имплантации интрастромальных роговичных сегментов. Современные технологии в офтальмологии. 2023;2. Tychibaeva DM, Kim AA. Comparative evaluation of the effectiveness of the method of surgical treatment of keratoconus by implantation of intrastromal corneal segments. *Modern Technologies In Ophthalmology*. 2023;2. doi: 10.25276/2312-4911-2023-2-217-223.
14. Montalt JC, Porcar E, España-Gregori E, Peris-Martínez C. Visual quality with corneo-scleral contact lenses after intracorneal ring segment (ICRS) implantation for keratoconus management. *Cont Lens Anterior Eye*. 2019 Feb;42(1):111–116. doi: 10.1016/j.clae.2018.07.006.
15. Yildirim A, Uslu H, Kara N, Ozgurhan EB. Treatment of visual problems after intracorneal ring implantation. *Clin Ophthalmol*. 2013;7:1251–1255. doi: 10.2147/OPTH.S45773.
16. Benoist d'Azy C, Pereira B, Chiambaretta F, Dutheil F. Efficacy of Different Procedures of Intra-Corneal Ring Segment Implantation in Keratoconus: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Transl Vis Sci Technol*. 2019 Jun 11;8(3):38. doi: 10.1167/tvst.8.3.38.
17. Emerah SH, Sabry MM, Saad HA, Ghobashy WA. Visual and refractive outcomes of posterior chamber phakic IOL in stable keratoconus. *Int J Ophthalmol*. 2019 May 18;12(5):840–843. doi: 10.18240/ijo.2019.05.22.
18. 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 Feb;39(2):155–160. doi: 10.1097/ICO.0000000000002160.
19. Alejandro N, Pérez-Merino P, Velarde G, Jiménez-Alfaro I, Marcos S. Optical Evaluation of Intracorneal Ring Segment Surgery in Keratoconus. *Transl Vis Sci Technol*. 2022 Mar 2;11(3):19. doi: 10.1167/tvst.11.3.19.
20. Vega-Estrada A, Chorro E, Sewelam A, Alio JL. Clinical Outcomes of a New Asymmetric Intracorneal Ring Segment for the Treatment of Keratoconus. *Cornea*. 2019 Oct;38(10):1228–1232. doi: 10.1097/ICO.0000000000002062.
21. Coşkunseven E, Ambrósio R Jr, Smorádková A, Sánchez León F, Sahin O, Kavadarlı I, Jankov MR 2nd. Visual, refractive and topographic outcomes of progressive thickness intrastromal corneal ring segments for keratoconic eyes. *Int Ophthalmol*. 2020 Nov;40(11):2835–2844. doi: 10.1007/s10792-020-01467-5. Epub 2020 Jun 13. Erratum in: *Int Ophthalmol*. 2020 Aug 27. PMID: 32535750.
22. Baptista PM, Marques JH, Neves MM, Gomes M, Oliveira L. Asymmetric Thickness Intracorneal Ring Segments for Keratoconus. *Clin Ophthalmol*. 2020 Dec 16;14:4415–4421. doi: 10.2147/OPTH.S283387.
23. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega Cueto L, Poo A, Madrid D. Clasificación del queratocono basada en fenotipos clínicos. In: Del Buey Sayas MA, Peris Martínez C, editors. *Influencia del astigmatismo congénito en la morfología del queratocono. Biomecánica y arquitectura corneal*. Elsevier: Vol Monografías SECOIR. España, Barcelona; 2014:165–184.
24. Arbelaez JG, Arbelaez MC. Efficacy of progressive thickness intrastromal corneal ring segments in the treatment of duck phenotype keratoconus. *Eur J Ophthalmol*. 2021 Sep;31(5):2191–2199. doi: 10.1177/11206721211001722.
25. Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, Alfonso-Bartolozzi B, Madrid-Costa D, Alfonso JF. Intrastromal corneal ring segment implantation in paracentral keratoconus with perpendicular topographic astigmatism and comatic axis. *Eur J Ophthalmol*. 2021 Jul;31(4):1540–1545. doi: 10.1177/1120672120952346.
26. Cuiña Sardiña R, Arango A, Alfonso JF, Álvarez de Toledo J, Piñero DP. Clinical evaluation of the effectiveness of asymmetric intracorneal ring with variable thickness and width for the management of keratoconus. *J Cataract Refract Surg*. 2021 Jun 1;47(6):722–730. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000525.
27. García de Oteyza G, Álvarez de Toledo J, Barraquer RI, Kling S. Refractive changes of a new asymmetric intracorneal ring segment with variable thickness and base width: A 2D finite-element model. *PLoS One*. 2021 Sep 15;16(9):e0257222. doi: 10.1371/journal.pone.0257222.
28. García de Oteyza G, Álvarez de Toledo J, Barraquer RI, Kling S. Localized Refractive Changes Induced by Symmetric and Progressive Asymmetric Intracorneal Ring Segments Assessed with a 3D Finite-Element Model. *Bioengineering (Basel)*. 2023 Aug 27;10(9):1014. doi: 10.3390/bioengineering10091014.
29. Jacob S, Patel SR, Agarwal A, Ramalingam A, Saijimal AI, Raj JM. Corneal allogenic intrastromal ring segments (CAIRS) combined with corneal cross-linking for keratoconus. *J Refract Surg*. 2018;34:296–303. doi: 10.3928/1081597X-20180223-01.
30. Jacob S, Agarwal A, Awwad ST, Mazzotta C, Parashar P, Jambulingam S. Customized corneal allogenic intrastromal ring segments (CAIRS) for keratoconus with decentered asymmetric cone. *Indian J Ophthalmol*. 2023 Dec 1;71(12):3723–3729. doi: 10.4103/IJO.IJO\_1988\_23.
31. Оси́пян ГА, Хра́йстин Х. Возможности межслойной кератопластики в реабилитации пациентов с кератоконусом. Офтальмология. 2019;16(2):169–173. Osipyan GA, Khayst Kh. Possibilities of Intralaminar Keratoplasty in Rehabilitation of Keratoconus Patients. *Ophthalmology in Russia*. 2019;16(2):169–173. (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2019-2-169-173.
32. Аляева ОО, Рябенко ОИ, Тананакина ЕМ, Юшкова ИС. Опыт применения склеральных линз Zenlens для зрительной реабилитации пациентов с irregularной роговицей. Российский офтальмологический журнал. 2018;11(4):68–74. Alyaeva OO, Ryabenko OI, Tananakiina EM, Yushkova IS. Zenlens scleral lenses for visual rehabilitation of patients with irregular cornea: a usage experience. *Russian Ophthalmological Journal*. 2018;11(4):68–74. (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-4-68-74.
33. Mushtaq A, Alvi I. Long-Term Effectiveness of Scleral Lens Treatment in the Management of Keratoconus: A Systematic Review. *Cureus*. 2025 Jan 7;17(1):e77102. doi: 10.7759/cureus.77102.
34. Liu XL, Li PH, Fournie P, Malecaze F. Investigation of the efficiency of intrastromal ring segments with cross-linking using different sequence and timing for keratoconus. *Int J Ophthalmol*. 2015 Aug 18;8(4):703–708. doi: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.04.11.
35. Ghaith AA. Patient satisfaction after femtosecond-assisted intracorneal ring segment implantation in the treatment of keratoconus. *The Egyptian Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 23 2017;23:11–16.
36. D'Oria F, Abdelghany AA, Ledo N, Barraquer RI, Alio JL. Incidence And Reasons For Intrastromal Corneal Ring Segment Explantation. *Am J Ophthalmol*. 2021 Feb;222:351–358. doi: 10.1016/j.ajo.2020.09.041.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сагоненко Дмитрий Алексеевич  
аспирант  
<https://orcid.org/0009-0004-6625-7965>

Калинников Юрий Юрьевич  
доктор медицинских наук, профессор  
<https://orcid.org/0000-0001-7624-7163>

Калинникова Светлана Юрьевна  
кандидат медицинских наук, научный сотрудник  
<https://orcid.org/0000-0002-9109-2400>

Рагимова Ляман Фазил кызы  
аспирант  
<https://orcid.org/0000-0003-3441-5434>

Исмаилова Зури Муслимовна  
аспирант  
<https://orcid.org/0009-0007-7503-2444>

## ABOUT THE AUTHORS

Sagonenko Dmitry A.  
postgraduate  
<https://orcid.org/0009-0004-6625-7965>

Kalinnikov Yuri Yu.  
MD, Professor  
<https://orcid.org/0000-0001-7624-7163>

Kalinnikova Svetlana Yu.  
PhD, researcher  
<https://orcid.org/0000-0002-9109-2400>

Rahimova Laman F.  
postgraduate  
<https://orcid.org/0000-0003-3441-5434>

Ismailova Zuri M.  
postgraduate  
<https://orcid.org/0009-0007-7503-2444>