

УДК 617.713–007.64
EDN: FNAKRO
<https://doi.org/10.15275/ssmj1902128>

Обзор

ИМПЛАНТАЦИЯ ФАКИЧНЫХ ИНТРАОКУЛЯРНЫХ ЛИНЗ У ПАЦИЕНТОВ СО СТАБИЛИЗИРОВАННЫМ КЕРАТОКОНОСУМ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА (ОБЗОР)

А.Д. Казанцев, С.В. Костенев

ФГАУ «НМИЦ «МНТК 'Микрохирургия глаза' им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, Москва, Россия

PHAKIC INTRAOCULAR LENS IMPLANTATION IN PATIENTS WITH STABILIZED KERATOCONUS: CURRENT STATE OF THE ISSUE (REVIEW)

A. D. Kazantsev, S. V. Kostenev

S. N. Fedorov NMRC "MNTK "Eye Microsurgery", Moscow, Russia

Для цитирования: Казанцев А.Д., Костенев С.В. Имплантация факичных интраокулярных линз у пациентов со стабилизированным кератоконусом: современное состояние вопроса (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал. 2023; 19 (2): 128–131. <https://doi.org/10.15275/ssmj1902128>. EDN: FNAKRO.

Аннотация. Цель: представить текущие данные об эффективности и безопасности применения факичных интраокулярных линз при кератоконусе для коррекции аметропий у пациентов со стабилизированным кератоконусом. Методика написания обзора. Для поиска статей использовали базы данных PubMed и Google Academy. Запросы формулировались с учетом основной тематики обзора; основными ключевыми фразами поиска стали «факичные интраокулярные линзы» и «кератоконус», всего найдено 72 статьи. В обзоре использовано 26 источников литературы, опубликованных в период с 2003 по 2021 г. Заключение. Представленные на данный момент исследования указывают на достаточную предсказуемость и эффективность описанной методики. Однако применение данного метода сопряжено с определенными сложностями и возможными побочными эффектами. Одной из главных проблем применения факичных интраокулярных линз у пациентов с кератоконусом являются трудности расчета силы линзы, в особенности торического компонента.

Ключевые слова: кератоконус, факичные интраокулярные линзы, близорукость

For citation: Kazantsev AD, Kostenev SN. Phakic intraocular lens implantation in patients with stabilized keratoconus: Current state of the issue (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2023; 19 (2): 128–131. <https://doi.org/10.15275/ssmj1902128>. EDN: FNAKRO.

Abstract. Objective: to present current data on the efficacy and safety of phakic intraocular lenses in keratoconus to correct ametropia in patients with stabilized keratoconus. Methods. The PubMed and Google Academy databases were used to search for articles. Queries were formulated taking into account the main topic of the review; the main key search phrases were: "phakic intraocular lenses", "keratoconus" in Russian and English. These keywords were used to find 72 articles. A total of 26 literature references published between 2003 and 2021 were used in this review. Conclusion. The studies presented so far indicate sufficient predictability and efficacy of the above technique. However, there are certain difficulties and possible side effects associated with this method. One of the main problems in the use of phakic intraocular lenses in patients with keratoconus is the difficulty in calculating the lens power, especially the toric component.

Keywords: keratoconus, phakic intraocular lenses, myopia

Введение. К одной из самых распространенных первичных кератэктазий относится кератоконус (КК), представляющий собой конусовидное выпячивание центральной части роговицы [1]. По мере прогрессирования КК происходит увеличение индуцированной близорукости и неправильного астигматизма, что, в свою очередь, приводит к снижению качества зрения за счет нарастания аберраций высшего и низшего порядков [2]. Лечение КК заключается в предотвращении прогрессирования заболевания, а также в устранении аномалий рефракции для достижения наилучшего качества жизни у данных пациентов.

Предотвращение прогрессирования КК стало возможным с появлением кросслинкинга (КЛ) роговичного коллагена. При данной процедуре используется рибофлавин и ультрафиолетовое излучение для создания ковалентных связей между молекулами коллагена, что приводит к усилению биомеханической прочности роговицы [3].

Коррекция аномалий рефракции у пациентов с КК является затруднительной задачей. Очки и мягкие контактные линзы эффективны только на ранних

стадиях развития КК. Для достижения более приемлемых зрительных результатов требуются жесткие контактные линзы. Раньше, исторически, когда КК прогрессировал до стадии, на которой жесткие контактные линзы уже не были эффективны в улучшении остроты зрения, следующим этапом выполнялась трансплантация роговицы. В дальнейшем стали доступны новые, менее инвазивные способы коррекции аметропий и улучшения остроты зрения у данных пациентов. Между тем данные методики обладают существенными ограничениями. Фоторефракционная кератэктомия и лазерный кератомилез традиционно считаются противопоказанными пациентам с КК, так как истончение роговицы при применении данных методик может ухудшить течение заболевания [4]. Имплантация интрастромальных колец эффективна в коррекции только небольших степеней близорукости, а предсказуемость ожидаемых результатов невысока [5].

Применение факичных интраокулярных линз (фиОЛ) у пациентов со стабилизированным КК является новой методикой, обладающей рядом преимуществ. Так, имплантация фиОЛ не изменяет анатомию роговицы, не требует дорогостоящего оборудования, необходимого для других методик; особенностью данного метода является ее обратимость.

Ответственный автор — Антон Дмитриевич Казанцев
Corresponding author — Anton D. Kazantsev
Тел.: +7 (901) 7060563
E-mail: antonkaz0404@gmail.com

Цель — представить текущие данные об эффективности и безопасности применения факичных интраокулярных линз при кератоконусе для коррекции аметропий у пациентов со стабилизированным кератоконусом.

Методика написания обзора. Найдены 72 научные работы с использованием для поиска баз данных Google Academy, PubMed по следующим запросам: «факичные интраокулярные линзы», «кератоконус». Критериями исключения являлись применение других хирургических методик для коррекции аметропии в сочетании с имплантацией ФИОЛ, период наблюдения пациентов менее 6 мес. Из выборки были исключены материалы конференций, работы с описанием единичных клинических случаев. Для написания работы использованы оригинальные исследования, опубликованные в рецензируемых научных изданиях в период с 2003 по 2021 г. на английском и русском языках.

Переднекамерные факичные интраокулярные линзы. Исторически первыми из применяемых ФИОЛ были переднекамерные модели, выполненные из полиметилметакрилата с опорой гаптических элементов в углу передней камеры [6]. Первые данные о применении данных линз при КК опубликованы A. Leccisotti, S. Fields в 2003 г. [7]. В последующем дизайн переднекамерных ФИОЛ претерпел изменения, были разработаны модели с фиксацией опорных элементов за радужку (Artisan, Ophtec BV). Так, J. Venter представлены данные о применении линзы Artisan при КК у 11 пациентов (18 глаз). Дооперационный сферозэквивалент (СЭ) составил $-4,64 \pm 2,74$ дптр, а цилиндр — $-3,07 \pm 2,04$ дптр (от $-7,75$ до $-0,50$ дптр). У 22% пациентов удалость достичь некорригированной остроты зрения (НКОЗ) в 1,0, у 94% НКОЗ составила 0,63 и выше. Плотность эндотелиальных клеток (ПЭК) роговицы снизилась на 23 клетки/мм² через 6 мес. наблюдения [8]. В 2011 г. другими авторами были опубликованы результаты применения переднекамерных ФИОЛ после КЛ роговичного коллагена у пациентов с КК. Имплантация ФИОЛ была выполнена через 6 мес. после выполнения КЛ. У всех пациентов отмечено улучшение НКОЗ на 5 и более строчек таблицы logMAR, во всех случаях НКОЗ была выше 0,5. Дооперационная ПЭК (после выполнения КЛ) составила $2739,09 \pm 156,99$ клеток/мм², через 6 мес. ПЭК была $2668,82 \pm 133,17$ клетки/мм² ($P=0,03$) [9]. По мнению авторов, имплантация линзы Artisan в сочетании с КЛ роговичного коллагена является безопасной и эффективной процедурой при тщательном отборе пациентов. Исследования по данной теме выполняли и отечественные авторы. Так, М. Д. Пожарицким, В. Н. Трубилиным, Е. М. Пожарицкой представлены результаты имплантации переднекамерных ФИОЛ у пациентов со стабилизированным КК после КЛ. Результаты имплантации переднекамерных ФИОЛ по показателям остроты зрения составили $0,66 \pm 0,25$ (НКОЗ) и $0,82 \pm 1,11$ (максимально корригированная острота зрения — МКОЗ). Сферический компонент рефракции уменьшился в среднем на $6,2 \pm 0,25$ дптр ($p < 0,05$), а цилиндрический не представлял статистически значимой разницы с дооперационными значениями ($p > 0,05$). Потеря эндотелиальных клеток за срок наблюдения в 18 мес. была в пределах допустимой нормы, варьировала от 2,5 до 4,5%, среднее послеоперационное значение ПЭК составило 2378 ± 358 клеток/мм² (до операции 2452 ± 358 клеток/мм²) [10].

Тем не менее все больше опубликованных данных указывает на серьезные возможные осложнения применения данной модели линз у пациентов, даже без сопутствующей роговичной патологии. Наиболее масштабное исследование по данной теме выполнено Американским Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, FDA). В исследовании было включено 1140 глаз с близорукостью от $-4,5$ до -22 дптр. На протяжении трех лет с момента операции было отмечено снижение ПЭК на $-4,8 \pm 7,8\%$. В 3,48% случаев пациентам потребовалась повторная операция из-за послеоперационных осложнений [11]. По данным S. Jonker с соавт., на протяжении 10-летнего периода наблюдения общее снижение ПЭК достигает 21,5% от изначального. Авторы отмечают то, что наибольшим риском снижения ПЭК являются мелкая передняя камера и расстояние от края ФИОЛ до эндотелия [12]. Сегодня переднекамерные ИОЛ в целом утратили востребованность из-за высокого риска осложнений.

Заднекамерные факичные интраокулярные линзы. На данный момент среди заднекамерных ФИОЛ представлены следующие модели: Visian ICL (STAAR Surgical, США) и IPCL (Care Group, Индия), а также PRL (Carl Zeiss, Германия). Последняя линза в Российской Федерации не зарегистрирована.

IPCL (Care Group, Индия) представляет собой гидрофильную заднекамерную ФИОЛ, выполненную из акрила. Имплантация ФИОЛ осуществляется через разрез роговицы длиной 2,8 мм. Конструкция линзы включает шесть гаптических элементов, два отверстия в периферической части линзы в верхней зоне и четыре отверстия вне оптической зоны для облегчения загрузки в картридж и разворачивания внутри глаза (передняя сторона линзы обращена вверх). Модель V 2.0 имеет дополнительное центральное отверстие, предназначенное для снижения рассеивания и бликов, а также для облегчения циркуляции внутриглазной жидкости. Иридоэктомия при имплантации IPCL модели V2.0 не требуется. Линза асферичная, корригирует близорукость от $-1,00$ до $-30,00$ дптр. [13].

Visian ICL (STAAR Surgical) является наиболее часто используемой заднекамерной ФИОЛ. Используется для коррекции миопии в диапазоне от $-3,0$ до $-23,0$ дптр. Линза является моноблочной, изготовлена из коллагена и доступна в четырех диаметрах. Данная ИОЛ имплантируется через разрез шириной 3,2 мм [13]. После имплантации в переднюю камеру четыре подложки линзы заправляются под радужную оболочку в цилиарную борозду. При имплантации модели V4b требуется иридоэктомия. Модель V4c, разработанная в 2011 г., имеет центральное отверстие в дополнение к двум другим отверстиям вне оптической зоны. Тем самым облегчается циркуляция жидкости и снижается риск помутнения хрусталика, формирование колобомы радужки не требуется [14].

Первые данные о имплантации заднекамерных ФИОЛ представлены К. Kamiya с соавт. Пациентам с непереносимостью контактных линз и стабильной рефракцией на протяжении 3–4 лет были имплантированы торические ФИОЛ. Авторы отмечают выраженное улучшение НКОЗ и МКОЗ в каждом из случаев, прогрессирования КК за год наблюдения выявлено не было [15].

В ходе исследования J.F. Alfonso, A. Palacios, R. Montés-Micó была выполнена имплантация ФИОЛ 16 пациентам (25 глаз). Дооперационно миопия была

от -3 до -18 дптр, а астигматизм — от $-0,5$ до $-3,00$ дптр. Через год наблюдения НКОЗ и МКОЗ составили $0,17 \pm 0,19$ и $0,12 \pm 0,12$ соответственно. Индекс эффективности (определяемый как средняя послеоперационная НКОЗ, разделенная на среднюю предоперационную МКОЗ) составил $0,98$, а индекс безопасности (средняя послеоперационная МКОЗ, разделенная на среднюю предоперационную МКОЗ, при значении $>1,0$ говорит о безопасности метода) составил $1,05$. СЭ рефракции находился в пределах $\pm 1,00$ дптр от желаемой рефракции во всех случаях, а в 84% случаев — в пределах $\pm 0,50$ дптр [16].

Тем же коллективом авторов было выполнено исследование по имплантации торических ФИОЛ модели ICL у 30 пациентов (21 глаз). Дооперационно СЭ составил $-5,38 \text{ D} \pm 3,26$ дптр, а цилиндрический компонент рефракции $-3,48 \text{ D} \pm 1,24$ дптр. Через год наблюдения в $86,7\%$ случаев рефракция была в пределах $\pm 0,50$ дптр от желаемой, во всех случаях в пределах $\pm 1,00$ дптр. Средняя НКОЗ по таблице Снеллена составила $0,81 \pm 0,20$, средняя МКОЗ фиксирована $0,83 \pm 0,18$. Индекс эффективности определен $1,07$, безопасности — $1,16$. Осложнений или побочных реакций выявлено не было. По мнению авторов, для имплантации ФИОЛ при КК пациент должен соответствовать следующим условиям: дооперационная МКОЗ $0,4$ и выше, отсутствие помутнений в центральной зоне роговицы, кератометрия менее $52,50$ дптр, стабильная рефракция на протяжении двух лет [17].

Другими авторами на протяжении трех лет наблюдались пациенты, которым была выполнена имплантация торических ФИОЛ через 12 мес. после КЛ. Дооперационная НКОЗ была в пределах $0,63 \pm 0,14$, а послеоперационная НКОЗ составила $0,8$ на 1-й нед. и весь дальнейший период наблюдения. СЭ дооперационно составлял $-8,5 \pm 4,00$ дптр, в послеоперационный период был менее $-0,25$ дптр [18].

S. J. Hashemian с соавт. в 2013 г. представили результаты собственного исследования. В исследование было включено 22 глаза. Средний СЭ дооперационно составил $-4,98 \pm 2,63$ дптр (от $-1,75$ до -11 дптр), средний СЭ послеоперационно был $-0,42$ и $-0,33$ на 1 нед. и 6-м мес. соответственно. Дооперационные значения астигматизма в среднем составили $-2,77 \pm 0,99$ дптр, через 1 нед. и 6 мес. $-1,25$ и $1,23$ дптр соответственно. В двух случаях в ранний послеоперационный период потребовалась репозиция торической ИОЛ из-за ротации [19].

K. Kamiya с соавт. были представлены имплантации торических ФИОЛ в более продвинутых стадиях КК. В исследование был включен 21 глаз со СЭ в $-9,70 \pm 2,33$ дптр, астигматизм составлял $-3,21 \pm 1,56$ дптр дооперационно. МКОЗ по таблице LogMAR составила $-0,12 \pm 0,07$, $-0,13 \pm 0,08$, $-0,13 \pm 0,09$, $-0,13 \pm 0,10$, $-0,11 \pm 0,09$ и $-0,12 \pm 0,09$ на 1, 3, 6-й мес. и 1, 2 и 3-му годам наблюдения соответственно. Средние значения снижения ПЭК составили $4,4\%$ к 3-му году наблюдения [20].

В 2015 г. группой авторов были представлены результаты имплантации торических ФИОЛ после выполненного КЛ. В исследование было включено 30 глаз, КЛ роговичного коллагена был выполнен за 6 мес. до имплантации ФИОЛ. Дооперационно средний СЭ составлял $6,96 \pm 3,68$ дптр, цилиндрический компонент рефракции $-2,95 \pm 1,40$ дптр. В послеоперационный период среднее значение СЭ и астигматизма составило $-0,83 \pm 0,76$ и $1,03 \pm 0,60$ дптр соответственно. НКОЗ в после- и дооперационный периоды

была $1,57 \pm 0,56$ и $0,17 \pm 0,06$ по таблице logMAR соответственно ($P < 0,001$) [21].

Осложнения. Наиболее частым возможным осложнением имплантации заднекамерных ФИОЛ является развитие катаракты, а также повышение внутриглазного давления [22, 11]. В ходе исследования линзы ICL, выполненного FDA, оценивалась частота развития помутнения хрусталика и катаракт после имплантации ФИОЛ у пациентов без патологии роговицы. В исследование было включено 526 глаз со значениями миопии от -3 до -20 дптр. Через 12 мес. наблюдения НКОЗ составляла $0,5$ и выше в $92,5\%$ случаев. В $5,9\%$ случаев наблюдалось формирование передних субкапсулярных помутнений хрусталика через 7 лет или позже после имплантации ФИОЛ. В $1,3\%$ случаев развивались клинически значимые катаракты, из них 73% случаев были выявлены на протяжении первых трех лет наблюдения. Необходимо отметить то, что подавляющее большинство случаев развития катаракты наблюдалось у возрастных пациентов с очень высокими степенями близорукости [22].

В отечественных исследованиях имплантации ФИОЛ у пациентов с КК не выявлялось случаев развития катаракты, пигментной глаукомы, зрачкового блока и других угрожающих зрению осложнений, что может быть связано с небольшим объемом представленных данных.

Одной из главных проблем применения ФИОЛ у пациентов с КК являются трудности расчета силы линзы, в особенности ее торического компонента. Наличие КК существенно усложняет точный расчет силы линзы, что связано с большим разбросом показателей при выполнении диагностических обследований и сложностью выявления оси и силы астигматического компонента рефракции. Все указанные факторы существенно влияют на прогнозируемость послеоперационных результатов [15, 20, 23–25]. Нужно подчеркнуть то, что на развитых стадиях КК имплантация ФИОЛ может дать неудовлетворительные зрительные результаты за счет выраженного количества аберраций высшего порядка и помутнения центральной зоны роговицы [25]. Следует выделить также то, что точность расчета критически зависит от качества выполненных диагностических исследований, в частности ультразвуковой биометрии глаза. На текущий момент нет единого стандарта выполнения расчетов по данным ультразвуковой биометрии. Одни исследователи используют диаметр цилиарной борозды, другие — горизонтальный диаметр роговицы (white-to-white). Самые последние данные указывают на использование внутреннего диаметра цилиарного тела как самого точного параметра для расчета размера ФИОЛ.

В настоящее время не существует четких критериев отбора пациентов с КК для имплантации ФИОЛ. Так, одни авторы указывают на МКОЗ от $0,4$ и выше [17], другие — на остроту зрения от $0,8$ и выше [20, 24]. Стабильность рефракции оценивается на протяжении от 6 мес. [20] до 1 года [24, 26] или 2 лет [17]. Возраст пациента, по данным разных исследователей, должен составлять от 21 года [26], от 22 лет [17], от 25 лет [16], от 30 лет [20, 24]. Отдельные авторы указывают минимальную ПЭК в 2000 клеток/мм² [17, 19]. L. Izquierdo, M. A. Henriquez, M. McCarthy предлагают выдерживать временной промежуток между КЛ роговичного коллагена и имплантацией ФИОЛ 6 мес. [9], другие считают период 2 мес. достаточным для стабилизации роговицы.

Заключение. Применение ФИОЛ при стабилизированном КК является перспективным направлением рефракционной хирургии. Использование ФИОЛ при КК обладает неоспоримыми преимуществами, в частности обратимостью операции и отсутствием влияния на биомеханические свойства роговицы. Представленные в данном обзоре исследования указывают на достаточную предсказуемость, эффективность и безопасность выбранной методики. Однако на данный момент в литературе представлено небольшое количество научных изысканий на эту тему, а указанные нами ранее исследования характеризуются малым объемом выборки пациентов и отсутствием длительного периода наблюдения. Кроме того, отсутствует консенсус в выборе оптимальных критериев отбора пациента для применения данной методики. Все перечисленное обуславливает необходимость дальнейших исследований для определения безопасности и эффективности применения ФИОЛ у пациентов с кератоконусом.

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References (Список источников)

- Ormonde S. Refractive surgery for keratoconus. *Clin Exp Optom.* 2013; 2 (96): 173–82. DOI: 10.1111/cxo.12051.
- Miháltz K, Kovacs I, Kranitz K, et al. Mechanism of aberration balance and the effect on retinal image quality in keratoconus: optical and visual characteristics of keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2011; 5 (37): 914–22. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.12.040.
- Raiskup F, Spoerl E. Corneal crosslinking with riboflavin and ultraviolet A. Part II. Clinical indications and results. *Ocul Surf.* 2013; 2 (11): 93–108. DOI: 10.1016/j.jtos.2013.01.003.
- Eldanasoury A, Tolees S, Bains HS. Phakic intraocular lens in keratoconus. Cham: Springer International Publishing, 2021; p. 83–97. DOI: 10.1007/978-3-030-66143-4_7.
- Güell J. Are intracorneal rings still useful in refractive surgery? *Current Opinion in Ophthalmology.* 2005; 4 (16): 260–5. DOI: 10.1097/01.icu.0000172831.18523.dd.
- Güell J, Morral M, Kook D, et al. Phakic intraocular lenses part 1: Historical overview, current models, selection criteria, and surgical techniques. *J Cataract Refract Surg.* 2010; 11 (36): 1976–93. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.08.014.
- Leccisotti A, Fields S. Angle-supported phakic intraocular lenses in eyes with keratoconus and myopia. *J Cataract Refract Surg.* 2003; 8 (29): 1530–6. DOI: 10.1016/s0886-3350(03)00346-8.
- Venter J. Artisan phakic intraocular lens in patients with keratoconus. *J Refract Surg.* 2009; 25 (9): 759–64. DOI: 10.3928/1081597X-20090813-01.
- Izquierdo L, Henriquez MA, McCarthy M. Artiflex phakic intraocular lens implantation after corneal collagen cross-linking in keratoconic eyes. *J Refract Surg.* 2011; 7 (27): 482–7. DOI: 10.3928/1081597X-20101223-02.
- Pozharitsky MD, Trubilin VN, Pozharitskaya EM. Our experience in correction of stabilized keratoconus with toric phakic IOLs. *Modern Technologies in Ophthalmology.* 2014; (3): 204. (In Russ.) Пожарицкий М. Д., Трубилин В.Н., Пожарицкая Е.М. Наш опыт коррекции стабилизированного кератоконуса торическими факчными ИОЛ. *Современные технологии в офтальмологии.* 2014; (3): 204.
- Stulting R, Maurice E, Maloney R, et al. Three-year results of Artisan/Verisyse phakic intraocular lens implantation: Results of the United States Food and Drug Administration Clinical Trial. *Ophthalmology.* 2008; 3 (115): 464–72. DOI: 10.1002/central/CN-00628473.
- Jonker S, Berendschot T, Ronden A, et al. Long-term endothelial cell loss in patients with Artisan myopia and Artisan toric phakic intraocular lenses: 5- and 10-year results. *Ophthalmology.* 2018; 4 (125): 486–94. DOI: 10.1016/j.ophtha.2017.08.011.
- Pineda R 2nd, Chauhan T. Phakic intraocular lenses and their special indications. *J Ophthalmic Vis Res.* 2016; (11): 422. DOI: 10.4103/2008-322X.194140.
- Kawamorita T, Uozato H, Shimizu K. Fluid dynamics simulation of aqueous humour in a posterior-chamber phakic intraocular lens with a central perforation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2012; 6 (250): 935–9. DOI: 10.1007/s00417-011-1850-2.
- Kamiya K, Shimizu K, Ando W, et al. Phakic toric Implantable Collamer Lens implantation for the correction of high myopic astigmatism in eyes with keratoconus. *J Refract Surg.* 2008; 8 (24): 840–2. DOI: 10.3928/1081597X-20081001-12.
- Alfonso JF, Palacios A, Montés-Micó R. Myopic phakic STAAR collamer posterior chamber intraocular lenses for keratoconus. *J Refract Surg.* 2008; 9 (24): 867–74. DOI: 10.3928/1081597X-20081101-03.
- Alfonso JF, Fernandez L, Lisa C, et al. Collagen copolymer toric posterior chamber phakic intraocular lens in eyes with keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2010; 6 (36): 906–16. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.11.032.
- Shafik Shaheen M, El-Kateb M, El-Samadouny M, et al. Evaluation of a toric implantable collamer lens after corneal collagen crosslinking in treatment of early-stage keratoconus: 3-year follow-up. *Cornea.* 2014; 5 (33): 475–80. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000094.
- Hashemian SJ, Soleimani M, Foroutan A, et al. Toric implantable collamer lens for high myopic astigmatism in keratoconic patients after six months. *Clin Exp Optom.* 2013; 2 (96): 225–32. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2012.00800.x.
- Kamiya K, Shimizu K, Kobashi H, et al. Three-year follow-up of posterior chamber toric phakic intraocular lens implantation for the correction of high myopic astigmatism in eyes with keratoconus. *Br J Ophthalmol.* 2015; 2 (99): 177–83. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305612.
- Antonios R, Dirani A, Fadlallah A, et al. Safety and visual outcome of visian toric ICL implantation after corneal collagen cross-linking in keratoconus: up to 2 years of follow-up. *J Ophthalmol.* 2015; (2015): 514834. DOI: 10.1155/2015/514834.
- Sanders DR. Anterior subcapsular opacities and cataracts 5 years after surgery in the visian implantable collamer lens FDA trial. *J Refract Surg.* 2008; 6 (24): 566–70. DOI: 10.3928/1081597X-20080601-04.
- Esteve-Taboada J, Domínguez-Vicent A, Ferrer-Blasco T, et al. Posterior chamber phakic intraocular lenses to improve visual outcomes in keratoconus patients. *J Cataract Refract Surg.* 2017; 1 (43): 115–30. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.05.010.
- Kamiya K, Shimizu K, Kobashi H, et al. Clinical outcomes of posterior chamber toric phakic intraocular lens implantation for the correction of high myopic astigmatism in eyes with keratoconus: 6-month follow-up. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2011; 7 (249): 1073–80. DOI: 10.1007/s00417-010-1540-5.
- Naderan M, Rajabi MT, Zarrinbakhsh P. Distribution of Anterior and Posterior Corneal Astigmatism in Eyes With Keratoconus. *American J Ophthalmol.* 2016; (167): 79–87. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.03.051.
- Iovieno A, Guglielmetti S, Capuano V, et al. Correction of postkeratoplasty ametropia in keratoconus patients using a toric implantable Collamer lens. *European J Ophthalmol.* 2013; 3 (23): 361–7. DOI: 10.5301/ejo.5000232.

Статья поступила в редакцию 26.04.2023; одобрена после рецензирования 18.05.2023; принята к публикации 25.05.2023. The article was submitted 26.04.2023; approved after reviewing 18.05.2023; accepted for publication 25.05.2023.

Информация об авторах:

Антон Дмитриевич Казанцев — аспирант, antonkaz0404@gmail.com; **Сергей Владимирович Костенев** — старший научный сотрудник отдела лазерной рефракционной хирургии, доктор медицинских наук, Kostenev@mail.ru.

Information about the authors:

Anton D. Kazantsev — Post-graduate Student, antonkaz0404@gmail.com; **Segrey V. Kostenev** — Senior Research Scientist of the Division for Laser Refractive Surgery, DSc, Kostenev@mail.ru.