

Обзор
УДК 617.713-007.64:79-053.2
doi: 10.25276/0235-4160-2022-2-78-83

Хирургическое лечение начальных стадий прогрессирующего кератоконуса у детей

С.Б. Измайлова¹, Е.Ю. Маркова¹, А.З. Цыганов¹, Л.Л. Арутюнян²

¹НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России, Москва

РЕФЕРАТ

Введение. В обзоре представлены современные данные о способах хирургического лечения начальных стадий кератоконуса у детей, о возможном проявлении кератоконуса как одного из симптомов недифференцированной дисплазии соединительной ткани, а также о возможных методах профилактики прогрессирования заболевания.

Цель. Представить современные данные литературы о хирургическом лечении начальных стадий прогрессирующего кератоконуса у детей. **Материал и методы.** Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2022 г. включительно с использованием ключевых слов «ICRS», «corneal collagen crosslinking», «Keratoconus», «connective tissue dysplasia». Всего была отобрана 51 статья, относящаяся к теме обзора. **Результаты.** Многочисленными исследованиями подтверждена эффективность своевременной хирургии началь-

ных стадий кератоконуса в улучшении анатомо-функциональных исходов лечения различных заболеваний. Однако даже своевременная и безупречно выполненная операция по лечению прогрессирующего кератоконуса может иметь разные последствия в зависимости от степени проявления дисплазии соединительной ткани. **Заключение.** Проведенный анализ литературы позволяет утверждать, что кератоконус у детей следует рассматривать как патологию, связанную с нарушением структур и организации коллагенового матрикса всего организма, а также необходимо отметить, что тактика лечения должна быть определена индивидуально и основываться на возрасте и значениях всестороннего специального обследования каждого конкретного ребенка.

Ключевые слова: кератоконус, кератоконус у детей, кросслинк-инг роговичного коллагена, интрастромальная кератопластика, роговичные сегменты, соединительная ткань, недифференцированная дисплазия соединительной ткани, роговица, коллаген ■

Для цитирования: Измайлова С.Б., Маркова Е.Ю., Цыганов А.З., Арутюнян Л.Л. Хирургическое лечение начальных стадий прогрессирующего кератоконуса у детей. Офтальмохирургия. 2022;2: 78–83. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-2-78-83>
Автор, ответственный за переписку: Артем Захарович Цыганов, zokogama@gmail.com

ABSTRACT

Review

Surgical treatment of the initial stages of progressive keratoconus in children

S.B. Izmailova¹, E.Yu. Markova¹, A.Z. Ciganov¹, L.L. Arutyunyan²

¹Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

²Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

Introduction. The review presents the current data on the methods of surgical treatment of the initial stages of keratoconus in children, the possible manifestation of keratoconus as one of the symptoms of undifferentiated connective tissue dysplasia, as well as possible methods of prevention of the disease progression. **Purpose.** To present current literature data regarding surgical treatment of the initial stages of progressive keratoconus in children. **Material and methods.** For the review the literature sources were searched through the abstract

databases PubMed and Scopus for the period up to and including 2022 using the following key words: ICRS, corneal collagen crosslinking, Keratoconus, connective tissue dysplasia. A total of 51 articles relevant to the review topic were selected. **Results.** Numerous studies have confirmed the effectiveness of timely surgery for the initial stages of keratoconus in improving the anatomical and functional outcomes of treatment of various diseases. However, even timely and perfectly performed surgery for progressive keratoconus may have different consequences depending

on the degree of connective tissue dysplasia. **Conclusion.** The performed analysis of the literature allows to claim that keratoconus in children should be considered as a pathology related to the disturbance of structures and organization of collagen matrix of the whole body. It is also necessary to note that treatment tactics should be determined individually

and be based on the age and values of comprehensive special examination of each particular child.

Key words: *keratoconus, keratoconus in children, corneal collagen cross-linking, intrastromal keratoplasty, corneal segments, connective tissue, undifferentiated connective tissue dysplasia, cornea, collagen* ■

For quoting: Izmailova S.B., Markova E.Yu., Ciganov A.Z., Arutyunyan L.L. Surgical treatment of the initial stages of progressive keratoconus in children. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2022;2: 78–83. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-2-78-83>

Corresponding author: Artem Z. Ciganov, zokogama@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Кератоконус – это двустороннее невоспалительное заболевание роговицы, отличительной чертой которого является прогрессивное истончение роговицы, что приводит к нерегулярному астигматизму и снижению некорригированной (НКОЗ) и максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) [1, 2]. Нерегулярный астигматизм может прогрессировать до уровня, который значительно повлияет на повседневную деятельность и качество жизни в общем [3, 4]. Кератоконус имеет достаточно хорошо изученные клинические проявления, однако ранние стадии могут остаться незамеченными без детального изучения всех данных многоуровневого обследования, а именно остроты зрения без и с коррекцией, скиаскопии, рефрактометрии, офтальмометрии, кератотопографии, aberрометрии, пахиметрии, оптической когерентной томографии (ОКТ), компьютерной томографии роговицы (анализ элевационных карт), конфокальной сканирующей микроскопии, сканирующей проекционной топографии [5–8]. Дифференциальный диагноз проводится с кератоглобусом, пеллюцидной маргинальной дегенерацией, дегенерацией Терриена и астигматизмом. Прогрессия кератоконуса наиболее часто начинается во втором и продолжается до третьего или четвертого десятилетия жизни [9]. Некоторые авторы считают, что распространенность кератоконуса варьирует в зависимости от географических, региональных и климатических факторов [10–13]. С совершенствованием методов диагностики частота обнаружения этой патологии возросла до 1 случая на 100 человек [14, 15]. Гендерное преобладание отсутствует, однако, по некоторым данным, в детском возрасте страдают чаще представители мужского пола [16].

Растущий интерес к лечению начальных стадий кератоконуса у молодых с помощью высокотехнологичных операций объясняется внедрением инновационных методов исследования в педиатрическую офтальмологию и обновлением алгоритмов диагностики глазных болезней у детей [17]. Начало заболевания у детей обычно связывают с периодом полового созревания, а максимальную скорость прогрессирования отмечают в подростковом и раннем взрослом возрасте [18]. Течение кератоконуса

в детском возрасте отличается большей агрессивностью и высокой скоростью течения [19]. Без лечения спонтанная стабилизация процесса может случиться на третьем или четвертом десятилетии жизни, когда происходит уплотнение стромы роговицы за счет увеличения количества связей между коллагеновыми волокнами [20, 21]. Однако тяжесть расстройства в момент останова прогрессирования может варьировать от очень легкого неправильного астигматизма до сильного истончения [22]. К сожалению, прогрессирование кератоконуса в течение многих лет может привести к тяжелым последствиям, таким как рубцы роговицы и высокие показатели аметропии.

В течение длительного времени единственным возможным методом лечения кератоконуса являлась сквозная кератопластика [23]. При выявлении начальных стадий кератоконуса пациентам предлагалось пользоваться очками либо жесткими контактными линзами для коррекции аметропии, что, однако, не влияло на стабилизацию процесса [24]. Начиная с 90-х гг. прошлого века в арсенале офтальмохирургов появились новые возможности лечения кератоконуса с помощью различных методов хирургических вмешательств соответственно стадиям развития патологического процесса [25]. На начальных стадиях методом выбора являются ультрафиолетовый (УФ) кросслинкинг и имплантация внутрироговичных сегментов, а на далеко зашедших стадиях – передняя послойная или сквозная кератопластика. Кератопластика является серьезной процедурой, связанной со значительными рисками и сложностями, такими как отторжение трансплантата, инфекционные процессы, непредсказуемость конечного результата, длительный период восстановления, недостаток донорского материала, длительность операции, пожизненные ограничения, а также проблемы, связанные со швами и расхождением раны [26]. В то же время вопрос лечения начальных стадий кератоконуса у детей в настоящее время остается до конца не изученным. В отличие от лечения кератэктатического процесса у взрослых, кератоконус у детей характеризуется быстрым прогрессированием и молниеносным течением в молодом возрасте, особенностями вязкоэластических свойств роговицы, которые меняются в зависимости от периода роста ребенка и часто маскируют развитие кератэктатического процесса, трудностью работы с детским контингентом, боязнью родителей опе-

ризовать своего ребенка и т.д. [27]. Так как в детском возрасте происходит формирование органа зрения, необходимо учитывать значимость этого органа чувств как пути между сознанием ребенка и внешним миром. Поэтому вопрос адекватного ведения детей, учитывая современные методы диагностики и лечения с достижением максимальных клиничко-функциональных результатов, является безусловно актуальным на сегодняшний день.

Одним из основных методов стабилизации прогрессирования кератоконуса у детей является УФ-кросслинкинг [28]. Проведение его по стандартной методике показывает сопоставимые со взрослыми результаты по эффективности и безопасности в период наблюдения до 3 лет [29]. Данные же об использовании трансэпителиальных и ускоренные методик кросслинкинга до 2015 г. были очень скудны. Это объяснялось тем, что изучение интервенционных процедур более уместно для группы пациентов более взрослого возраста, чтобы легче было понять характер лечения и получить информированное согласие. Нам понятен интерес авторов к трансэпителиальным и ускоренным методикам из-за упрощения работы с пациентами молодого возраста. Тем не менее исследования были проведены и показали хорошие результаты при наблюдении более 3 лет [3]. Большинство данных литературы, изученных нами, приводит в пример УФ-кросслинкинг как вариант борьбы с детским кератоконусом, однако данный метод лечения не оказывает существенного влияния на МКОЗ и НКОЗ в послеоперационном периоде, влияя при этом на комфорт жизни каждого ребенка. Главной задачей данного вида лечения является стабилизация процесса. Однако в литературе нет достоверных данных о том, что УФ-кросслинкинг будет достаточно эффективен при лечении быстро прогрессирующего кератоконуса у детей.

ЦЕЛЬ

Представить современные данные литературы о хирургическом лечении начальных стадий прогрессирующего кератоконуса у детей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В этом обзоре обсуждаются основные аспекты хирургического лечения детского кератоконуса на основе современных данных, с целью предложить наиболее эффективный метод диагностики и лечения.

Методикой выбора для более тяжелых стадий кератоконуса, а именно 2–3-й стадии по классификации С.Б. Измайловой, является имплантация интрастромальных колец (ICRS). Это достаточно молодая методика хирургического лечения, которая влияет не только на остроту зрения, но и на вязкоэластические свойства роговицы путем создания интракорнеального кар-

каса за счет образования так называемого «вторичного лимба» Она используется для замедления прогрессирования кератоконуса, восстановления высокой остроты зрения и отсрочки операции по пересадке роговицы. Однако эта методика лечения детского кератоконуса все еще малоизучена. Имплантация ICRS – это минимально инвазивное и обратимое хирургическое лечение, которое уменьшает аномалии рефракции за счет изменения биомеханических свойств роговицы. В настоящее время для лечения кератоконуса используется несколько типов ICRS включая Ferrara Ring (Ferrara Ophthalmics), KeraRing (Mediphacos), Intacs, Intacs SK (Addition technology США), DaxerRing (DIOPTEX GmbH, Австрия) и НЭП МНТК (Россия) и др. Они отличаются формой поперечного сечения, внутренним и внешним диаметром, длиной и высотой. Малая распространенность этого вида лечения в педиатрии может быть объяснена тем, что в общемировую практику лишь недавно был введен такой метод, как фемтосопровождение хирургии роговицы, что упрощает технически проведение операции в детском возрасте, а также позволяет индивидуально рассчитывать параметр каждого хирургического вмешательства. Введение данной технологии ставит перед нами вопрос расчета параметров операции, основанных на изменении вязкоэластических свойств роговицы соответственно каждому этапу взросления. Подготовка, периоперационное лечение, особенности послеоперационного периода также вызывают множество вопросов, связанных с возрастом пациента. Актуальным остается вопрос о целесообразности этапного лечения, включающего имплантацию интрастромальных сегментов и УФ-кросслинкинг, а также их очередность.

К сожалению, нами были найдены лишь единичные работы, посвященные этой теме в педиатрии. Все ICRS в этих работах устанавливались под местной анестезией после создания роговичного тоннеля с помощью фемтосекундного лазера. Стоит заметить, что во всех из них описываются хорошие результаты после данного хирургического вмешательства. Первые публикации датируются 2008 г. [19]. Абсолютное большинство пациентов хорошо перенесли операцию, интраоперационные и послеоперационные осложнения единичны [30]. Насколько нам известно, нет никаких сообщений о имплантации ICRS детям. Для оценки применения ICRS у детей необходимы дальнейшие исследования с большим количеством случаев и более длительным наблюдением [31]. Есть лишь одно долгосрочное ретроспективное исследование результатов имплантации ICRS для лечения кератоконуса у 14 детей со средним возрастом 15,36 года (диапазон 10–18 лет). У всех был зарегистрирован прогрессирующий кератоконус за 6 месяцев или более до операции. В послеоперационном периоде наблюдали повышение НКОЗ и МКОЗ, улучшение кератометрических значений после имплантации. K_{max} и K_{min} снизилось в среднем на 3,59 и 3,18 дптр соответственно, что соответствует значениям, наблюдавшимся в пре-

дыдущих исследованиях [32]. Хотелось бы указать, что в данной работе не были изучены различия между имплантацией одного и двух сегментов. Некоторые авторы утверждают, что имплантация одного сегмента дает лучшие результаты [33]. В то время как другие считают, что результаты варьируют в зависимости от топографического паттерна кератоконуса [34–36] или от сферического эквивалента роговицы [37, 38]. Однако работа коллектива других авторов, проводивших ретроспективное исследование на 33 глазах с кератоконусом, которым была проведена операция по имплантации ICRS, сообщает данные о том, что номограммы производителей интрастромальных колец могут быть применимы и в детском возрасте [39]. Основываясь на опыте имплантаций во взрослом возрасте, можно сделать выводы, что стабильность имплантации ICRS в отдаленных сроках наблюдения зависит от модели прогрессирования кератоконуса. Предполагается, что в случаях стабилизации процесса результаты наблюдений лучше, чем в случаях с прогрессией, где результаты могут меняться в зависимости от длительности наблюдения [27, 38, 40]. Однако эти различия не были статистически значимыми. Таким образом, можно сделать вывод о различном влиянии имплантации ICRS в детском и взрослом возрасте. Исследование сочетанных методик имплантации ICRS и кросслинкинга не было достаточно изучено ни в одной стране мира. Однако имеются данные о единичных клинических случаях [30–32, 39, 41].

Соединительная ткань является строительным каркасом всех органов и тканей. Как известно, образование соединительной ткани происходит из мезенхимы. Кроме того, в ходе развития происходит ее дифференцировка, во время которой снаружи образуются такие непохожие ткани, как: кожа, кость, кровь, лимфа, гладкие мышцы, хрящи. Наряду с дифференцированными заболеваниями соединительной ткани (синдром Морфана, синдром Элерса–Данло), имеющими фенотипические признаки, которые вызваны первичными генными нарушениями, существуют ее аномалии в виде неполных, стертых, недифференцированных форм. Эти аномалии объединяют в дисплазии соединительной ткани (ДСТ) [42]. Симптомы нарушений образования соединительной ткани настолько распространены, что обычному врачу становится очень сложно связать их с системной патологией. Частые нарушения в развитии тканей с высоким содержанием коллагена позволяют предположить, что поражение осуществляется на системном уровне [43]. Вопросы значения ДСТ в формировании патологического развития органа зрения у детей до сих пор до конца не изучены [44]. Вопрос причины возникновения и прогрессирования кератоконуса досконально не изучен, но, согласно современным представлениям, в происхождении и прогрессировании кератоконуса ключевую роль играют нарушения биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза (Иомдина и др., 2014). При этом происходит прогрессирование дегене-

рации роговицы, которая вызвана нарушением структуры и организации коллагенового матрикса роговой оболочки глаза, изменением ее физических свойств, истончением, выпячиванием и, как следствие, извращением рефракционных свойств [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение патогенеза нарушений рефракции показало, что аномалии склеры и роговицы (соединительнотканых оболочек глаза) возникают из-за снижения структурной целостности коллагеновых фибрилл и часто являются проявлением синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани (НДСТ). Как и при лечении миопии, борьба с прогрессированием кератоконуса направлена на исправление уже сформированной соединительной ткани и включает в себя УФ-кросслиндинг, интрастромальную кератопластику с имплантацией сегментов роговицы, а также, на более поздних стадиях, более радикальные методы, например, различные виды трансплантации роговицы [35]. Наиболее популярные и доступные в настоящее время варианты лечения и профилактики направлены на борьбу с последствиями нарушения основ образования соединительной ткани и, в частности, на синтез множества различных белков, отвечающих за ее физические свойства: прочность на разрыв, гибкость, растяжимость [45]. Коллаген – ключевой структурный белок. Все физические проявления кератоконуса зависят от закономерности расположения и ориентации коллагеновых волокон и внеклеточного матрикса, которые, в свою очередь, имеют прямую связь со структурными биохимическими и биомеханическими свойствами [46]. Многие авторы рассматривают некоторые глазные заболевания (миопия, астигматизм, гиперметропия, подвывих и вывих хрусталика, отслойка сетчатки) как глазные проявления НДСТ [47–49]. Однако причинно-следственные связи между кератоконусом и системной патологией соединительной ткани до настоящего времени не исследовались и кератоконус с этой точки зрения не рассматривался. Между тем известно, что у 60–67% больных с кератоконусом обнаруживаются сопутствующие заболевания соединительной ткани [50, 51].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышеперечисленных источников нами был сделан вывод, что, наряду с традиционными методами лечения, пациенты с кератоконусом могут нуждаться в проведении дополнительной комплексной диагностики по поводу проявлений НДСТ в других органах и тканях у профильных специалистов. А также, наоборот, пациенты, с выявленными нарушениями в развитии соединительной ткани должны быть как можно раньше

направлены на более детальное обследование в многопрофильный центр с целью выявления серьезных нарушений строения зрительного аппарата и, если такая необходимость имеется, прооперированы.

Выполненный анализ литературы позволяет утверждать, что имплантация роговичных сегментов в детском возрасте обеспечивает улучшение анатомо-функциональных результатов лечения и снижает необходимость повторного хирургического вмешательства. Задача последующих исследований состоит в том, чтобы изучить влияние имплантации роговичных колец в детском возрасте и исследовать резистентные свойства роговицы путем более тщательной диагностики, основанной на взаимодействии с глубинными механизмами синтеза соединительной ткани.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Аветисов С.Э. Конфокальная микроскопия роговицы при кератоконусе. Вестник офтальмологии. 2008;3: 6–10. [Avetisov SE. Confocal microscopy of the cornea in keratoconus. The Russian Annals of Ophthalmology. 2008;3: 6–10. (In Russ.)]
2. Аветисов С.Э., Першин К.Б., Пашнинова Н.Ф. Диагностика кератоконуса. Глаз. 1999; 1. [Avetisov SE, Pershin KB, Pashinova NF. Diagnosis of keratoconus. The Eye. 1999; 1. (In Russ.)]
3. El Rami H, Chelala E, Dirani A, Fadlallah A, Fakhoury H, Cherfan C, Cherfan G, Jarade E. An Update on the Safety and Efficacy of Corneal Collagen Cross-linking in Pediatric Keratoconus. Biomed Res Int Biomed Res Int. 2015;2015.
4. Gomes JA, Tan D, Rapuano CJ, Belin MW, Ambrósio R Jr, Guell JL, Malecize F, Nishida K, Sangwan VS; Group of Panelists for the Global Delphi Panel of Keratoconus and Ectatic Diseases. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases: the group of panelists for the Global Delphi Panel of Keratoconus and Ectatic Diseases Background: despite extensive knowledge regarding the diagnosis. 2015.
5. De-Cunha DA, Woodward EG. Measurement of corneal topography in keratoconus. Ophthalmol Physiol Opt. 1993;13(4): 377–382.
6. Бикбов М.М., Бикбова Г.М. Эктазии роговицы. М.: Издательство «Офтальмология»; 2011. [Bikbov MM, Bikbova GM. Corneal ectasia. Moscow: Publishing House Ophthalmology; 2011. (In Russ.)]
7. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. Некоторые особенности ранней диагностики кератоконуса. IV Евро-Азиатская конференция по офтальмохирургии. Материалы съезда. Разд. II. М.; 2006: 34–51. [Balashevich LI, Kachanov AB, Nikulin SA. Some features of early diagnosis of keratoconus. IV Euro-Asian Conference on Ophthalmic Surgery. Materials of the congress. Section II. M.; 2006: 34–51. (In Russ.)]
8. Weed KH, Macewen CJ, Mcghee CNJ. The variable expression of keratoconus within monozygotic twins: Dundee University Scottish Keratoconus Study (DUSKS). Cont Lens Anterior Eye. 2006;29(3): 123–126. doi: 10.1016/j.clae.2006.03.003
9. Olivo-Payne A, Abdala-Figueroa A, Hernandez-Bogantes E, Pedro-Aguilar L, Chan E, Godefrooij D. Optimal management of pediatric keratoconus: challenges and solutions. Clinical Ophthalmology. Dove Press; 2019;13: 1183–1191.
10. Caporossi A, Baiocchi S, Mazzotta C, Traversi C, Caporossi T. Parasurgical therapy for keratoconus by riboflavin-ultraviolet type A rays induced cross-linking of corneal collagen Preliminary refractive results in an Italian study. J Cataract Refract Surg. 2006;32(5): 837–845. doi: 10.1016/j.jcrs.2006.01.091
11. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Riboflavin/Ultraviolet A-Induced collagen cross-linking in the management of keratoconus. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2005;46(13): 4964–4964.
12. Севостьянов Е.Н., Горскова Е.Н., Экгардт В.Ф. Кератоконус. Челябинск; 2005: 4–7. [Sevostyanov EN, Gorskova EN, Ekgardt VF. Keratoconus. Chelyabinsk; 2005: 4–7. (In Russ.)]
13. Kremer I, Eagle RC, Rapuano CJ, Laibson PR. Histologic evidence of recurrent keratoconus seven years after keratoplasty. Am J Ophthalmol. 1995;119(4): 511–512.
14. Mohd-Ali B, Abdu M, Yaw CY, Mohidin N. Clinical characteristics of keratoconus patients in Malaysia: a review from a cornea specialist centre. J Optometry. 2012;5(1): 38–42.
15. Подтынных Е.В., Басинская Л.А., Комаровских Е.Н. Современные представления об этиопатогенезе и методах диагностики кератоконуса (обзор литературы). Вестник Оренбургского государственного университета. 2015;12: 187. [Podtynnykh EV, Basinskaya LA, Komarovskikh EN. Modern ideas about etiopathogenesis and methods of diagnosis of keratoconus (literature review). Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015;12: 187. (In Russ.)]
16. Tuft SJ, Moodaley LC, Gregory WM, Davison CR, Buckley RJ. Prognostic factors for the progression of keratoconus. Ophthalmology. 1994;101(3): 439–447.
17. Kankariya VP, Kymionis GD, Diakonis VF, Yoo SH. Management of pediatric keratoconus-evolving role of corneal collagen cross-linking: an update. Indian J Ophthalmol. 2013;61(8): 435–440.
18. Mukhtar S, Ambati BK. Pediatric keratoconus: a review of the literature. Int Ophthalmol. 2018;38(5): 2257–2266.
19. Ertan A, Ozkicil E. Effect of age on outcomes in patients with keratoconus treated by Intacs using a femtosecond laser. J Refract Surg. 2008;24(7): 690–695.
20. Daxer A, Misof K, Grabner B, Ettl A, Fratzl P. Collagen fibrils in the human corneal stroma: structure and aging. 644 Reports IOVS. 1998;39(3): 4906–4918.
21. Malik NS, Moss SJ, Ahmed N, Furth AJ, Wall RS, Meek KM. Ageing of the human corneal stroma: structural and biochemical changes. Biochim Biophys Acta. 1992;1138(3): 222–228.
22. Kirwan C, O'Keefe M, Lanigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the reichert ocular response analyzer. Am J Ophthalmol. 2006;142(6): 990–992.
23. Lim N, Vogt U. Characteristics and functional outcomes of 130 patients with keratoconus attending a specialist contact lens clinic. Eye. 2002;16(1): 54–59.
24. Léoni-Mesplé S, Mortemousque B, Mesplé N, Touboul D, Praud D, Malet F, Colin J. Aspects épidémiologiques du kératocône chez l'enfant Epidemiological aspects of keratoconus in children. J Fr Ophthalmol. 2012;35: 776–785.
25. Измайлова С.Б. Медико-технологическая система хирургического лечения прогрессирующих кератэктазий различного генеза. М.; 2014. [Izmailova SB. Medical and technological system of surgical treatment of progressive kerataectasias of various genesis. M.; 2014. (In Russ.)]
26. Rabinowitz YS. Keratoconus. Surv Ophthalmol. 1998;42(4): 297–319.
27. Vega-Estrada A, Alió JL, Plaza-Puche AB. Keratoconus progression after intrastromal corneal ring segment implantation in young patients: five-year follow-up. J Cataract Refract Surg. 2015;41(6): 1145–1152.
28. Buzzonetti L, Bohringer D, Liskova P, Lang S, Valente P. Keratoconus in children: a literature review. Cornea. 2020;39(12): 1592–1598.
29. Слонимский Ю.Б., Слонимский А.Ю., Корчуганова Е.А. К вопросу о рациональном ведении пациентов с острым кератоконусом. Офтальмология. 2014;11(4): 17–24. [Slonimsky YuB, Slonimsky Ayu, Korchuganova EA. On the issue of rational management of patients with acute keratoconus. Ophthalmology in Russia. 2014;11(4): 17–24. (In Russ.)]
30. Abdelmassih Y, El-Khoury S, Dirani A, Antonios R, Fadlallah A, Cherfan CG, Chelala E, Jarade EF. Safety and efficacy of sequential intracorneal ring segment implantation and cross-linking in pediatric keratoconus. Am J Ophthalmol. 2017;178: 51–57.
31. Khan MI, Muhtaseb M. Intrastromal corneal ring segments for bilateral keratoconus in an 11-year-old boy. J Cataract Refract Surg. 2011;37(1): 201–205.
32. Abreu AC, Malheiro L, Coelho J, Neves MM, Gomes M, Oliveira L, Menéres P. Implantation of intracorneal ring segments in pediatric patients: long-term follow-up. Int Med Case Rep J. 2018;11: 23–27.
33. Sharma M, Boxer Wachler BS. Comparison of single-segment and double-segment Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia. Am J Ophthalmol. 2006;141(5): 891–895.
34. Alió JL, Artola A, Hassanein A, Haroun H, Galal A. One or 2 Intacs segments for the correction of keratoconus. J Cataract Refract Surg. 2005;31(5): 943–953.
35. Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Пронкина С.А., Мерзлов Д.Е., Е.П. Поручикова. Тактика лечения и исходы осложненных имплантации роговичных сегментов при кератэктазиях различного генеза. Офтальмохирургия. 2014;2: 16–23. [Izmailova SB, Malugin BE, Pronkina SA, Merzlov DE, Poruchikova EP. Treatment tactics and outcomes of complications of implantation of corneal segments in kerataectasias of various genesis. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2014;2: 16–23. (In Russ.)]
36. Измайлова С.Б., Яркин Д.А., Цыганов А.З. Эффективность имплантации интрастромальных сегментов при лечении прогрессирующего кератоконуса II и III стадии в отдаленные сроки наблюдения (10 лет). Современные проблемы науки и образования. 2021;5. [Izmailova SB, Yarkin DA, Tsyganov AZ. The effectiveness of implantation of intrastromal segments in the treatment of progressive keratoconus of the ii and iii stages in the long-term follow-up (10 years). Modern problems of Science and Education. 2021;5. (In Russ.)]
37. Miranda D, Sartori M, Francesconi C, Allemann N, Ferrara P, Campos M. Ferrara intrastromal corneal ring segments for severe keratoconus. J Refract Surg. 2003;19(6): 645–653.
38. Siganos D, Ferrara P, Chatzinikolas K, Bessis N, Papastergiou G. Ferrara intrastromal corneal rings for the correction of keratoconus. J Cataract Refract Surg. 2002;28(11): 1947–1951.
39. Larco P, Larco P Jr, Torres D, Piñero DP. Intracorneal ring segment implantation for the management of keratoconus in children. Vision (Basel). 2020;5(1): 1–11.
40. Alió JL, Vega-Estrada A, Esperanza S, Barraquer RI, Teus MA, Murta J. Intrastromal corneal ring segments: how successful is the surgical treatment of keratoconus? Middle East Afr J Ophthalmol. 2014;21(1): 3–9.
41. Alfonso JF, Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, Monteiro T, Madrid-Costa D. Long-term follow-up of intrastromal corneal ring segment implantation in pediatric keratoconus. 2019. 38(7): 840–846. doi: 10.1097/ISO.0000000000001945
42. Земцовский Э.В. Диагностика наследственных нарушений соединительной ткани. Трансляционная медицина. 2015;2(5): 567–577. [Zemtsovsky EV. Diagnostics of hereditary disorders of connective tissue. Translational Medicine. 2015;2(5): 567–577. (In Russ.)]
43. Аббакумова Л.Н. Клинические формы дисплазии соединительной ткани у детей. СПб: Санкт-Петербургская государственная педиатрическая медицинская академия; 2006. [Abbakumova LN. Clinical forms of connective tissue dysplasia in children. Saint Petersburg: St Petersburg State Pediatric Medical University; 2006. (In Russ.)]
44. Оганов Р.Г. Наследственные нарушения соединительной ткани. Российские рекомендации. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2009;8(6). [Oganov RG. Hereditary disorders of connective tissue. Russian recommendations. Cardiovascular therapy and prevention. 2009;8(6). (In Russ.)]
45. Першин К.Б. Опыт комбинированного лечения кератоконуса (фемтолазерная имплантация интрастромальных сегментов с последующим кросслинkinгом роговичного коллагена) у детей. Российская педиатрическая офтальмология. 2017;12(4): 200–203. [Pershin KB. Experience of combined treatment of keratoconus (femtosecond laser implantation of intrastromal segments followed by corneal collagen crosslinking) in children. Russian Pediatric Ophthalmology. 2017;12(4): 200–203. (In Russ.)]
46. Аветисов С.Э. Конфокальная микроскопия роговицы. Сообщение 1. Особенности нормальной морфологической картины. Вестник офтальмологии. 2008;3(124): 3–5. [Avetisov SE. Confocal microscopy of the cornea. Message 1. Features of the normal morphological picture. The Russian Annals of Ophthalmology. 2008;3(124): 3–5. (In Russ.)]

47. Нечаева ГИ., Яковлев В.М., Громова О.А. Дисплазии соединительной ткани у детей и подростков. Инновационные стационар-сберегающие технологии диагностики и лечения в педиатрии. М.: Союз педиатров России; 2009. [Nechaeva GI, Yakovlev VM, Gromova OA. Connective tissue dysplasia in children and adolescents. Innovative hospital-saving technologies of diagnostics and treatment in pediatrics. Moscow: Union of Pediatricians of Russia; 2009. (In Russ.)]

48. Нечаева ГИ. Дисплазия соединительной ткани: распространенность, фенотипические признаки, ассоциации с другими заболеваниями. Врач. 2006;1: 19–23. [Nechaeva GI. Connective tissue dysplasia: prevalence, phenotypic signs, associations with other diseases. Doctor. 2006;1: 19–23. (In Russ.)]

49. Дорофеева ГД., Чурилина А.В., Дорофеев А.Э. Недифференцированные синдромы дисплазии соединительной ткани и внутренняя патология. Донецк; 1998: 33–38. [Dorofeeva GD, Churilina AV, Dorofeev AE. Undifferentiated syndromes of connective tissue dysplasia and internal pathology. Donetsk; 1998: 33–38. (In Russ.)]

50. Greenstein SA, Shah VP, Fry KL, Hersh PS. Corneal thickness changes after corneal collagen crosslinking for keratoconus and corneal ectasia: one-year results. J Cataract Refract Surg. 2011; 37(4): 691–700.

51. Daxer A, Fratzl P. Collagen fibril orientation in the human corneal stroma and its implication in keratoconus. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1997;38(1): 121–129.

Информация об авторах

Светлана Борисовна Измайлова, д.м.н., врач-офтальмолог высшей категории, lana-dok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3516-1774>

Елена Юрьевна Маркова, д.м.н., врач-офтальмолог высшей категории, markova_ej@mail.ru

Артем Захарович Цыганов, ординатор, zokogama@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2959-4319>

Лана Лоренцевна Арутюнян, студентка, lana.arutyu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7198-8042>

Information about the authors

Svetlana B. Izmailova, Doctor of Science (Medicine), ophthalmologist of the highest category, lana-dok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3516-1774>

Elena Yu. Markova, Doctor of Science (Medicine), ophthalmologist of the highest category, markova_ej@mail.ru

Artem Z. Ciganov, resident, zokogama@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2959-4319>

Lana L. Arutyunyan, student, lana.arutyu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7198-8042>

Вклад авторов в работу:

С.Б. Измайлова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Е.Ю. Маркова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста, редактирование.

А.З. Цыганов: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Л.Л. Арутюнян: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных.

Authors' contribution:

S.B. Izmailova: significant contribution to the concept and design of the work, writing the text, editing, final approval of the version to be published.

E.Yu. Markova: significant contribution to the concept and design of the work, writing the text, editing.

A.Z. Ciganov: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing the text.

L.L. Arutyunyan: collection, analysis and processing of material, statistical data processing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 04.04.2022
Переработана: 25.04.2022
Принята к печати: 05.05.2022
Originally received: 04.04.2022
Final revision: 25.04.2022
Accepted: 05.05.2022