Анализ отдаленных результатов воздействия термокератокоагуляции и лазерной термокератопластики на роговицу детей с помощью оптической когерентной томографии

И.Л. Куликова, Н.П. Паштаев

Чебоксарский филиал «ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С.Н. Федорова Росздрава», Чебоксары, Россия

Р Е З Ю М Е

Цель. Сравнительный анализ с помощью оптической когерентной томографии отдаленных результатов воздействия термокератокоагуляции (ТКК) и иттербий–эрбиевой лазерной термокератопластики (Glass–Yb:Er ЛТК) на роговицу детей и обоснование рефракционного эффекта операций.

Методы. Обследовано 12 пациентов в возрасте от 8 до 13 лет (средний возраст 10,50±1,7 лет) с гиперметропией и анизометропией, 5 пациентов после ТКК и 7 пациентов после Glass–Yb:Er ЛТК через 2–5 лет после операции (в среднем 3,5 года). До операции средний сферический эквивалент рефракции составил +4,95±1,55 D (от +1,5 до +7,0 D), средний астигматизм 2,25±1,08 D (от 1,0 до 4,0 D). Измерения роговицы проводились с помощью оптического когерентного томографа Viasante ™OCT («Zeiss»).

Результаты. На момент обследования у пациентов после ТКК определялся полный регресс рефракционного эффекта, полученного после операции. По данным ОКТ в месте расположения коагулятов в строме роговицы сформировались рубцы, при этом их глубина достигала в основном ее середины. У пациентов после Glass–Yb:Er ЛТК среднее значение сфероэквивалента рефракции составило +2,83 D (от +1,0 до +4,25 D), средний астигматизм составил 1,25 D (от 0,75 до 2,15 D). По данным среднего значения сферического эквивалента рефракции рефракционный эффект составил 2,15±0,75 D. По результатам ОКТ рубцы, сформировавшиеся в месте лазерного коагулята, располагались в строме роговицы, захватывая все ее слои. При этом рубец имел форму усеченного конуса, меньшим основанием обращенного в сторону заднего эпителия, диаметр конуса составлял примерно 25% от его основания на передней поверхности роговицы.

Заключение. Рефракционный результат операций, основанных на термическом воздействии на роговицу, напрямую зависит от характеристик используемого оборудования, технических параметров воздействия и от глубины проникновения коагулята в роговицу. Через 3,5 года рефракционный эффект Glass–Yb:Er ЛТК у детей в среднем составил 2,15 D, после ТКК наблюдался полный регресс рефракционного эффекта. Оптическая когерентная томография является высокоточным и достоверным методом в объективной оценке результатов воздействия ТКК и Glass–Yb:Er ЛТК на роговицу у детей.

В 1984 году С.Н. Федоровым с соавторами были опубликованы первые результаты применения линейных радиальных поверхностных прижиганий для коррекции сферической гиперметропии. Было показано, что под воздействием температуры происходит сокращение коллагеновых волокон роговицы в месте воздействия, которое в целом и приводит к изменению формы ее передней поверхности, то есть к увеличению радиуса кривизны на периферии и его уменьшению в центре и, соответственно, к увеличению оптической силы. Позднее был создан прибор «HYCOF» с иглой из нихрома сложной конструкции и температурой нагрева до 600°С, проведено математическое моделирование ее тепловых режимов, которое позволило сформулировать требования к методике операции [1, 2]. В 1988 году А.И. Ивашиной с соавторами было сделано первое сообщение о применении термокератокоагуляции (ТКК) у детей с гиперметропическим астигматизмом. Все последующие работы показали большие перспективы этой операции в лечении рефракционной амблиопии у детей. На основании многофункциональных исследований было доказано, что оптимальный возраст для проведения ТКК у детей — 8 лет, когда толщина роговицы, ради-

© 2006 «Рефракционная хирургия и офтальмология»

Адрес для корреспонденции: 428028 Чебоксары, пр–т Тракторостроителей, 40, ЧФ ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза», И.Л. Куликовой

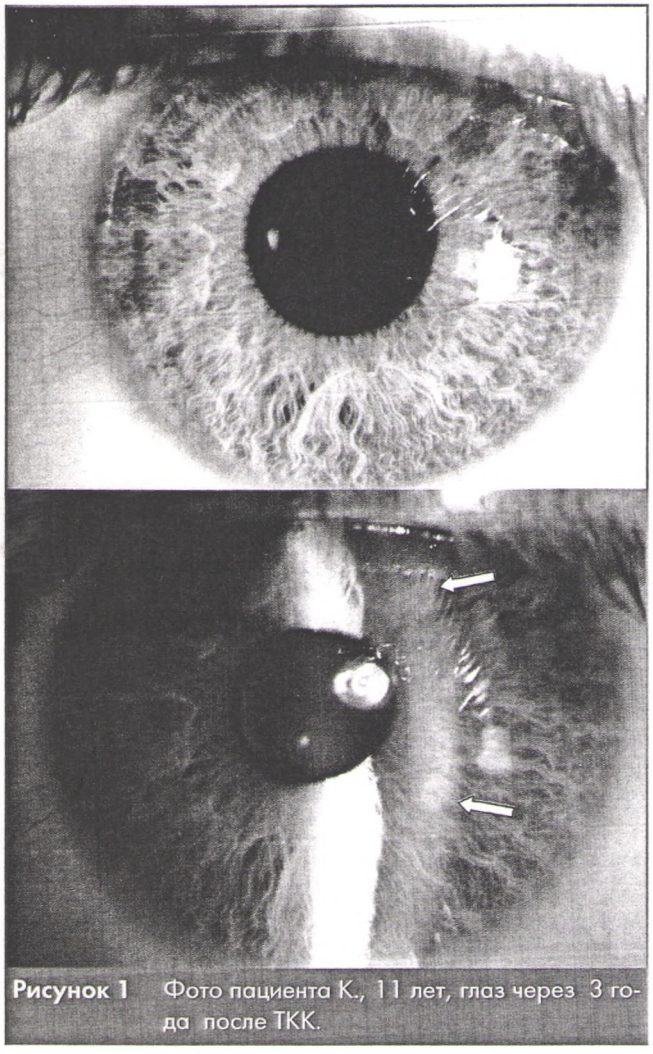

Рисунок 1 Фото пациента К., 11 лет, глаз через 3 года после ТКК.

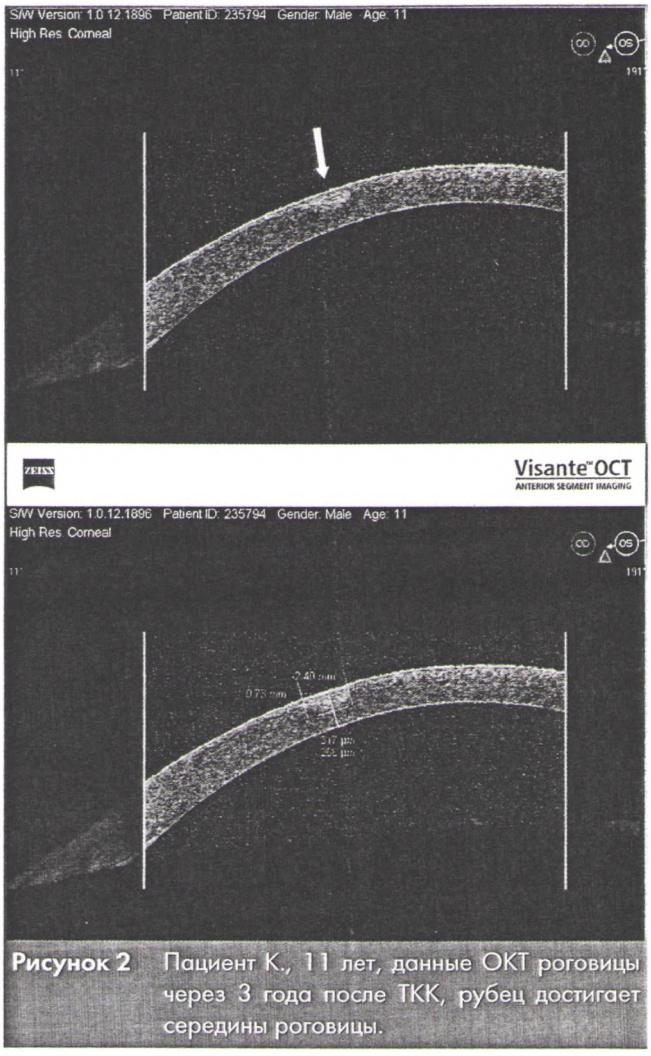

Рисунок 2 Пациент К., 11 лет, данные ОКТ роговицы через 3 года после ТКК, рубец достигает середины роговицы.

ус ее кривизны и глубина передней камеры практически не отличаются от этих параметров у взрослых; а более низкий эффект операции у детей по сравнению со взрослыми обосновывается меньшим объемом содержания коллагена в детской роговице [3, 4]. ТКК получила широкое распространение благодаря своей минимальной инвазивности, интактности центральной оптической зоны роговицы и отсутствию риска серьезных осложнений. Однако отдаленные результаты показали нестабильность рефракционного эффекта ТКК и возможность почти полного его регресса [5].

Для лазерной термокератопластики (ЛТК) в коррекции гиперметропии используют гольмиевый (Ho:YAG, длина волны 2.06–2.12 мкм), диодный (DTK, длина волны 1,885 мкм) и иттербий–эрбиевый лазеры (Glass–Yb:Er, длина волны 1,54 мкм), а также радио–частотную или кондуктивную кератопластику (СК). Рефракционный эффект и его стабильность при ЛТК определяются длиной волны используемого лазера и особенностями его поглощения в роговице. Лазеры, в зависимости от параметров используемого излучения, вызывают различную по глубине коагуляцию тканей роговицы. Одним из основных условий эффективности рефракционной операции является лазерная коагуляция практически на всю толщину роговицы, во всяком случае, коагулят должен достигать ее нижней трети. Немаловажным условием является температурный режим, длительность воздействия и минимальное повреждающее действие на окружающие ткани роговицы, что определяется оптимально подобранными техническими параметрами лазерного воздействия и характеристикой используемого лазерного оборудования [6–11].

В 1990 году T. Seiler at el. при экспериментальном исследовании влияния на роговицу контактного Ho:YAG лазера с длиной волны 2,06 мкм сообщил о образовании конусовидного профиля в роговице на глубину 80–90%. Последующее применение Ho:YAG лазера для лечения гиперметропии слабой и средней степени показало практически полное отсутствие осложнений в послеоперационном периоде, но при этом нестабильность рефракционного эффекта и наличие регрессии, по данным некоторых авторов [7], может достигать 45% от исходных данных в первые 3–12 месяцев после операции. При исследованиях

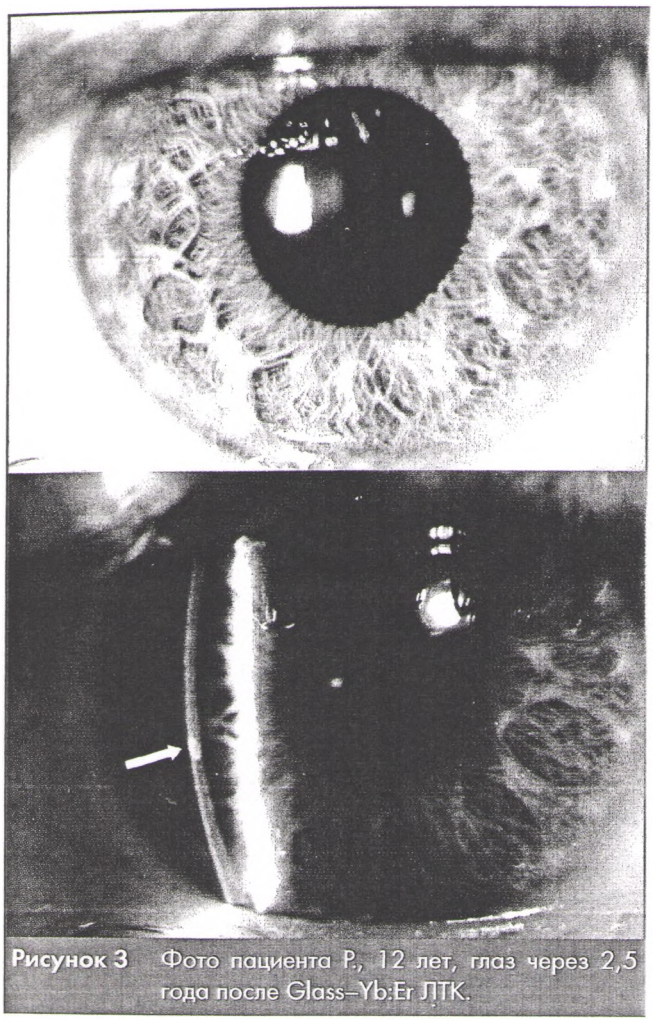

Рисунок 3 Фото пациента Р., 12 лет, глаз через 2,5 года после Glass–Yb:Er ЛТК.

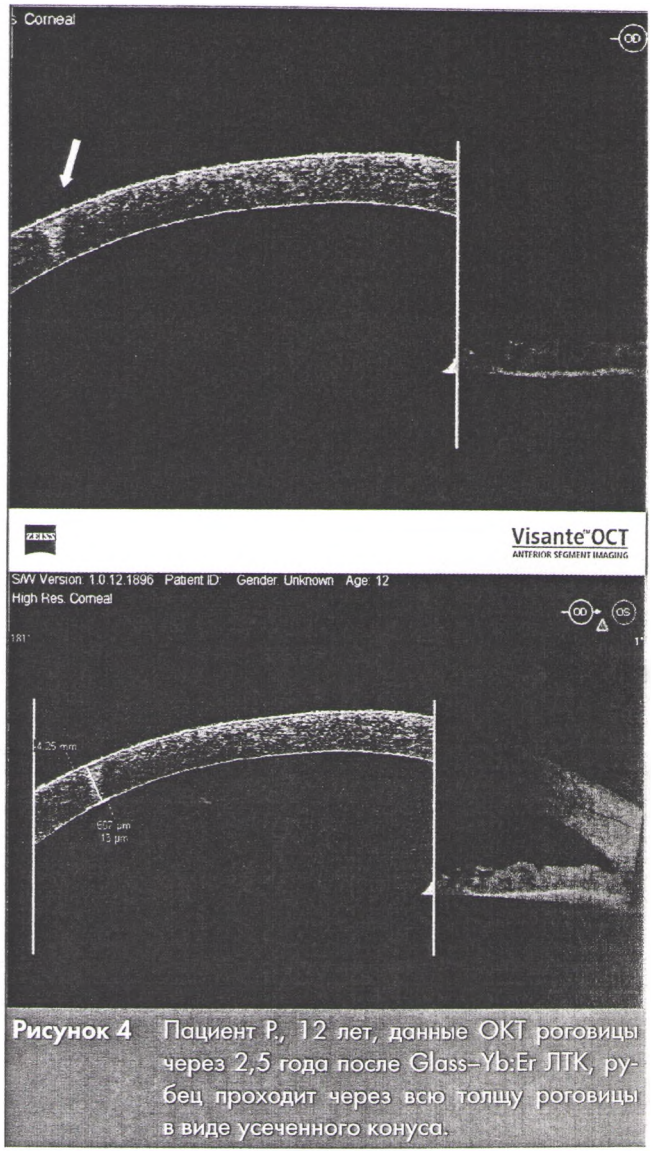

Рисунок 4 Пациент Р., 12 лет, данные ОКТ роговицы через 2,5 года после Glass–Yb:Er ЛТК, рубец проходит через всю толщу роговицы в виде усеченного конуса.

воздействия неконтактного Ho:YAG лазера с длиной волны 2,12 мкм, проведенных S.C. Belmont at el. [9] с помощью высокочастотного ультразвука в роговице, не было выявлено однородного конусовидного профиля после лазерного воздействия, а глубина проникновения лазерного коагулята достигала лишь 64–70% толщины роговицы, то есть меньше необходимых 90% для оптимального и стабильного рефракционного эффекта.

Отличительным свойством излучения с длиной волны 1,54 мкм является его интенсивное поглощение в прозрачной для видимого света роговице, что позволяет коагулировать ее ткань без риска повреждения глубжележащих структур глаза [12, 13]. Вследствие большей проникающей способности по сравнению, например, с излучением Ho:YAG лазера, он обеспечивает объемную коагуляцию роговицы при меньшей энергетической нагрузке. Исследования морфогенеза изменений роговицы после лазерного облучения показали, что при использовании Glass–Yb:Er лазера в участке лазерного коагулята формируется рубцевание стромы, имеющее форму усеченного конуса и обеспечивающее усиление кривизны оптической зоны роговицы при полной безопасности лазерной процедуры для радужки, хрусталика и, тем более, глубжележащих оболочек глаза [14]. Первое сообщение о применении Glass–Yb:Er лазера для коррекции гиперметропии сделал А.С. Сорокин в 1983 году. Усовершенствование лазерных установок и методики операции позволило применить Glass–Yb:Er ЛТК для лечения гиперметропии у детей и подростков при неэффективности традиционных консервативных методов лечения [15].

Цель исследования — сравнительный анализ с помощью оптической когерентной томографии отдаленных результатов воздействия ТКК и Glass–Yb:Er ЛТК на роговицу детей и обоснование рефракционного эффекта операций.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Нами было обследовано 12 пациентов в возрасте от 8 до 13 лет (средний возраст 10,5±1,7 лет) с гиперметропией и анизометропией, 5 пациентов после ТКК и 7 пациентов после Glass–Yb:Er ЛТК через 2–5 лет после операции

(в среднем 3,5 года). До операции средний сферический эквивалент рефракции составил +4,95±1,55 D (от +1,5 до +7,0 D), средний астигматизм составил 2,25±1,08 D (от 1,0 до 4,0 D). Операция проводилась после безуспешного консервативного лечения с целью уменьшения степени анизометропии. Обследование пациентов до и после операции проводилось по стандартной схеме, принятой в ФГУ МНТК «МГ». ТКК была выполнена с помощью кератокоагулятора «HYCOF» по стандартной методике с использованием программ «Инфракератопластика» для персонального компьютера. Glass–Yb:Er ЛТК была выполнена с помощью установки «КЛИО–01» бесконтактным способом под местной анестезией. Энергия лазерного воздействия 160–161 мДж/см², диаметр лазерного коагулята 300–200 мкм, время воздействия 0,5–1,0 мс (патент РФ № 2246288). Для коррекции сферы лазерные коагуляты располагали на периферии роговицы по окружности с диаметром центральной оптической зоны 5,5–6,0 мм. В зависимости от степени гиперметропии количество колец варьировало от 1 до 3, количество коагулятов в кольце составляло 12. В зависимости от степени астигматизма добавляли от 2 до 4 лучей по 2–3 коагулята в каждом в слабой оси (патент РФ № 2278647).

Измерения роговицы проводились с помощью оптического когерентного томографа Viasante™OCT («Zeiss») в отдаленные сроки после операций. Оптическая когерентная томография (ОКТ) проводилась бесконтактным методом. Были получены поперечные срезы роговицы с высоким разрешением, обеспечивающие точную информацию о глубине коагулятов в строме роговицы. Режим обработки изображения позволил провести одномоментное измерение толщины и глубины коагулятов и толщины стромы роговицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На момент обследования (в среднем 3,5 года) по данным рефракции в условиях циклоплегии у пациентов после ТКК определялся полный регресс рефракционного эффекта, полученного после операции. Биомикроскопически в зоне операции определялись легкие помутнения (рис. 1). По данным ОКТ в месте расположения коагулятов в строме роговицы сформировались рубцы, при этом их глубина достигала в основном ее середины (рис. 2).

У пациентов после Glass–Yb:Er ЛТК среднее значение сфероэквивалента рефракции составило +2,83±1,05 D (от +1,0 до +4,25 D), средний астигматизм составил 1,25±0,55 D (от 0,75 до 2,15 D). По данным среднего значения сферического эквивалента рефракции рефракционный эффект составил 2,15±0,75 D. Биомикроскопически определялись «облачковидные» помутнения в зоне коагулятов (рис. 3) По результатам ОКТ рубцы, сформировавшиеся в месте лазерного коагулята, располагались в строме роговицы, захватывая все ее слои. При этом рубец имел форму усеченного конуса, меньшим основанием обращенного в сторону заднего эпителия, диаметр которого составлял примерно 25% от его основания на передней поверхности роговицы (рис. 4).

Нагревание роговицы при ТКК до 600°С нарушает целостность стромы роговицы и приводит к разрушению коллагена, вплоть до некроза ткани, что в итоге вызывает его релаксацию, а не сжатие [9]. По результатам ОКТ в роговице ребенка после ТКК видны нечеткие «размытые» рубцы, доходящие лишь до середины роговицы и неспособные сохранить уменьшение радиуса кривизны центра роговицы. Поэтому рефракционный эффект ТКК со временем снижается и наблюдается практически полная его регрессия.

По сравнению с ТКК, Glass–Yb:Er ЛТК производит конусовидную зону коагуляции с минимальным термическим повреждением окружающей ткани роговицы. В участке лазерного облучения, которое происходит на всю строму роговицы, коллагеновые волокна не разрушаются, а сжимаются и образуется «эффект уплотнения собственного вещества», при этом все эти изменения не выходят за пределы зоны лазерного воздействия [14]. В предыдущих исследованиях нами сообщалось, что несмотря на коагулирующее и уплотняющее действие на все слои роговицы, были подобраны оптимальные параметры лазерного воздействия и потеря плотности эндотелиальных клеток не превысила в среднем 6% [15]. По данным ОКТ в роговице ребенка через 2,5 года после ЛТК рубец в месте коагулята проходит через все слои роговицы и по–прежнему сохраняет исходную форму конуса. Контролируемая доставка лазерной энергии при ЛТК, которая требуется для эффекта сжатия ткани роговицы, обеспечивает непреходящий рефракционный эффект операции. Поэтому и в отдаленном периоде после Glass–Yb:Er ЛТК, даже при частичном регрессе рефракционного эффекта, рубцы в месте коагулятов на периферии роговицы способны удерживать более выпуклую форму центральной зоны роговицы и усиливать рефракцию глаза. Хотя рефракционный результат Glass–Yb:Er ЛТК ограничен, поскольку изменения в центральной зоне роговицы вторичны по отношению к изменению ее кривизны на периферии, минимальная инвазивность хирургической техники, качество эффективной оптической зоны и хорошая переносимость пациентами составляют достойную альтернативу операциям, производимым в центральной оптической зоне.

Технология оптической когерентной томографии с помощью диагностического прибора Visante OCT позволила провести исследование у детей без использования дополнительной анестезии и применения сложной иммерсионной техники [16]. Было получено четкое изображение поперечного среза переднего отрезка глаза и роговицы с высоким разрешением. Проведение высокоточных измерений существенно повысило достоверность исследования и подтвердило, что рефракционный эффект и стабильность рефракции после разных видов термокератопластики у детей зависят от глубины проникновения коагулята в строму роговицы и температурного режима воздействия. Это определяется методикой операции, характеристикой используемого лазерного излучения и техническими параметрами воздействия на роговицу.

ВЫВОДЫ

1. Рефракционный результат операций, основанных на термическом воздействии на роговицу, напрямую зависит от характеристик используемого оборудования, технических параметров воздействия и от глубины проникновения коагулята в роговицу.

2. В отдаленные сроки (в среднем 3,5 года) у детей был получен полный регресс рефракционного эффекта после ТКК, рефракционный эффект Glass–Yb:Er ЛТК в среднем составил 2,15 D.

3. Оптическая когерентная томография является высокоточным и достоверным методом в обосновании послеоперационного рефракционного исхода и в объективной оценке результатов воздействия ТКК и Glass–Yb:Er ЛТК на роговицу у детей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров С.Н., Ивашина А., Антонова Е.Г. и др. Математическое моделирование тепловых режимов иглы термокоагулятора при хирургической коррекции гиперметропии. Офтальмохирургия 1992; 4: 280–281.

2. Ивашина А.И., Гудечков В.Б., Александрова О.Г. и др. Методика определения оптимальных параметров инфракрасной кератопластики с применением персональных компьютеров: Метод. рекомендации МНТК « Микрохирургия Глаза». М., 1988, 12с.

3. Ивашина А.И., Ермилова И.А., Нестеренко Т.И. Отдаленные результаты хирургической коррекции гиперметропии и смешанного астигматизма у детей методом инфракератопластики. Офтальмохирургия 1994; 4: 31–35.

4. Ивашина А.И., Плыгунова Н.Л., Куман И.Г. и др. Динамика зрительных функций после комплексного лечения рефракционной амблиопии у детей при гипеметропии и гиперметропическом астигматизме. Офтальмохирургия 1995; 1: 37–41.

5. Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия. СПб, 2002, 288 с.

6. Антонова Е.Г., Бессарабов А.Н., Ивашина А.И., Мушкова И.А., Хоменко С.И. Лазерная термокератопластика (ЛТК) для коррекции гиперметропии — математическое обеспечение. Федоров чтения, 2002, М.,с.24–40.

7. Nano HD, Muzzin S. Non–contact Holmium: YAG laser thermal keratoplasty for heperopia. J. Cataract Refract. Surg. 1998; 24: 751–757.

8. Pallikaris I.G. et al. Long–term result of conductive keratoplasty for low to moderate hyperopia. J. Cataract Refract. Surg. 2005; 31(8): 1520–1529.

9. Sandra C. Belmont, Sophia Chen, Ramon Ruffy, Samantha J. Chai, Ronald Silverman, D. Jackson Coleman. Very high–frequency ultrasound analysis of non – contact holmium laser termal keratoplasty treatment spots. J. Refract. Surg. 2005; 22: 376–385.

10. Rudolf Beret et al. Diode laser thermal keratoplasty for hyperopia and hyperopic astigmatism. J. Cataract Refract. Surg. 2004; 20(3): 155–161.

11. Волков В.В., Балашевич Л.И., Гацу А.Ф. и др. О воздействии на роговицу импульсного лазерного излучения с длиной волны 1,96 мкм. Вестник офтальмол. 1987; 3: 48–51.

12. Семенов А.Д. Лазеры в оптико–реконструктивной микрохирургии глаза: Автореф. дис...д–ра мед. наук. Москва, 1994, 46 с.

13. Березин Ю.Д., Бойко Э.В., Волков В.В. и др. Особенности коагуляционного действия излучения ИК (1–3 мкм) лазеров на роговицу глаза. Офтальмол. журн. 1996; 4: 238–240.

14. Гацу А.Ф. Инфракрасные лазеры (1–3 мкм) в хирургии наружных отделов глаза (клинико–экспериментальное исследование): Автореф. дисс.... д–ра мед. наук С.Пт., 1995, 40с.

15. Куликова И.Л., Паштаев Н.П., Сусликов С.В. Лазерная термокератопластика в лечении гиперметропии у детей. Вестник офтальмологии 2006; 2: 31–33.

16. Hee M.R., Izatt J.A., Swanson E.A., et al. Optical coherence tomography of the human retina. Arch. Ophthalmol. 1995; 113: 325–332.

A B S T R A C T

The analysis of the remote results of the influence of thermokeratocoagulation and laser thermokeratoplasty on children cornea with the help of optical coherence tomography

I.L. Kulikova, N.P. Pashtaev, Svyatoslav N. Fyodorov SI IRTC «Eye Microsurgery Complex», Cheboksary Branch, Russia

Purpose: The comparative analysis of the remote results of the influence of thermokeratocoagulation (TKC) and non–contact laser thermokeratoplasty (Glass–Yb:Er LTK, wavelength 1.54 *mju*m) on children cornea with the help of optical coherence tomography (OCT) and conclusion on the refraction effect of the surgeries.

Methods: Twelve patients with hypermetropia and anisometropia were investigated. Mean age was 10, 5 years (range 8 to 13 years). Five patients after TKC and 7 patients after Glass–Yb:Er LTK in 2–5 years after the surgery (on average 3,5 years). Before the surgery medium sphere equivalent of refraction was +4,95±1,55 D (range +1,5 to +7,0 D), mean astigmatism 2,25±1,08 D (range 1,0 to 4,0 D). The measurements of cornea were performed using optical coherence tomography Viasante TM OCT («Zeiss»).

Results: Total regress of refraction effect after a TKC surgery was observed at the moment of patients' check–up. According to the OCT data cicatrices formed in the stroma of the cornea, at the treatment spot sites, the depth of the cicatrices mostly achieved half of cornea. After Glass–Yb:Er LTK the average meaning of sphere equivalent of refraction was +2,83 D (from +1.0 to +4,25 D), medium astigmatism was 1,25 D (from 0,75 to 2,15 D). According to the average meaning of sphere equivalent of refraction data refraction effect was 2,15+–0,75 D. According to OCT the cicatrices which formed at the treatment spot sites were situated in stroma of cornea, penetrating all corneal thickness. The cicatrix had a form of cut cone, the smaller basis of which was directed to the posterior epithelium, its diameter – 25% of the basis at the anterior corneal surface.

Conclusions: Refraction results of the surgeries based on thermal influence on cornea directly depends on the characteristics of the equipment used, technical parameters of influence and on the depth of penetration of the treatment to cornea. At 3, 5 years the mean refraction effect of Glass–Yb:Er LTK was 2,15 D in children, after TKC total regress of refraction effect was observed. Optical coherence tomography is high precision and reliable method in objective assessment of the results of TKC and Glass–Yb:Er LTK influence on children cornea.