

ЦИРКУЛЯРНЫЙ ТОННЕЛЬНЫЙ ФЕМТОКРОССЛИНКИНГ В ЛЕЧЕНИИ БОЛЬНЫХ С ПРОГРЕССИРУЮЩИМ КЕРАТОКОНОСУМ

Н. П. Паштаев, Н. А. Поздеева, В. В. Зотов

ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова» Минздрава России, Чебоксарский филиал

Проведен сравнительный анализ клинико-функциональных результатов стандартного кросслинкинга роговичного коллагена (СКРК) и циркулярного тоннельного фемтокросслинкинга (ЦТФКРК) у 116 пациентов (127 глаз) с прогрессирующим кератоконусом I и II стадий. ЦТФКРК является эффективным методом стабилизации прогрессирующего кератоконуса I и II стадии при сроке наблюдения 3 года, обеспечивая улучшение функциональных показателей на фоне минимизации риска осложнений.

Ключевые слова: кросслинкинг роговичного коллагена, фемтосекундный лазер, циркулярный тоннельный фемтокросслинкинг, кератоконус.

CIRCULAR TUNNEL FEMTO CROSSLINKING IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH PROGRESSIVE KERATOCONUS

N. P. Pashtayev, N. A. Pozdeyeva, V. V. Zotov

Cheboksary Affiliate of the Federal State Autonomous Institution «The S. N. Fyodorov Eye Microsurgery Complex» of the Ministry of Public Health of the Russian Federation, Cheboksary

127 eyes of 116 patients with progressive keratoconus stage 1-2 (classification Amsler-Krumeich), were divided into 2 groups depending on the method of CXL. The main group included 64 eyes underwent the procedure CTFCXL using femtosecond laser. The control group consisted of 63 eyes undergone standard CXL. The main and control group were divided into 2 subgroups: the 1st subgroup — eyes with I stage of keratoconus. 2nd subgroup — eyes with II stage. CTFCXL is an effective method for stabilization progressive keratoconus at 3 years of follow-up, providing improved of functional indicators comparable with the standard CXL, and minimizing the risk of complications.

Key words: Corneal collagen crosslinking, femtosecond laser, femtocrosslinking, keratoconus.

Процедура кросслинкинга роговичного коллагена (КРК) позволяет добиться стабилизации дистрофического процесса в роговице у больных с кератоконусом [2—4, 6, 7, 9, 12—14]. В связи с необходимостью удаления роговичного эпителия при проведении стандартной методики КРК в раннем послеоперационном периоде пациенты отмечают жалобы на боль, раздраженный глаз, а также возможны осложнения в виде рецидивирующей эрозии, кератита, рубцов и перфорации роговицы [5, 10]. В связи с этим идет разработка вариантов КРК, направленных на повышение безопасности и комфорта пациента путем проведения процедуры без удаления роговичного эпителия.

Перспективной представляется техника трансэпителиального УФ-кросслинкинга с использованием фемтолазера, предложенная А. Kanellopoulos в 2009 г. Согласно данной методике раствор рибофлавина вводится в роговичный карман, сформированный фемтосекундным лазером (ФСЛ) на определенной глубине, с последующим УФ облучением [8]. Однако в клинических исследованиях данной методики КРК с применением ФСЛ были зарегистрированы осложнения в виде отека и облачковидного помутнения передних и средних слоев стромы в центральной зоне роговицы, вызывающие снижение остроты зрения в первые месяцы после процедуры. При этом в доступной нам литературе экспериментальных доказательств эффективности данной методики мы не обнаружили.

С. И. Анисимовым с соавторами (2011) разработана технология локального УФ-кросслинкинга, учитывающая топографическое расположение вершины кератоконуса. Она предполагает использование на этапе УФ-облучения индивидуальных масок, формирующих направление светового потока для локального облучения роговицы непосредственно в месте эктазии и участках роговицы со сниженной ригидностью. Однако данная методика требует локальной дезэпителизации роговицы для пропитывания стромы фотосенсибилизатором, что влечет за собой значительный послеоперационный дискомфорт, а также повышение риска развития инфекционных осложнений [1].

Нами был проведен ретроспективный анализ 100 кератотопограмм 78 последовательных пациентов с кератоконусом, проходивших обследование в Чебоксарском филиале ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова» Минздрава России в период с 2005 по 2010 г. Было обнаружено, что наиболее часто встречаемая форма топограммы при кератоконусе — это периферическое расположение вершины в зоне 5 мм. Периферическое расположение вершины кератоконуса выявили в 82 %, центральное — в 18 % случаев.

Учитывая достоинства технологии УФ-кросслинкинга, предложенной А. Kanellopoulos, с использованием интрастромального кармана для введения раствора фотосенсибилизатора, а также методики С. И. Анисимова, учитывающей топографическое расположение

верхушки кератоконуса и позволяющей проводить УФ облучение направленным потоком света в области эктазии и участков роговицы со сниженной ригидностью, одновременно принимая во внимание недостатки указанных методик (болевого синдром, риск инфекционных осложнений, помутнение в оптической зоне роговицы) и большую частоту преимущественного расположения вершины кератоконуса вне центральной зоны, нами предложена новая технология циркулярного тоннельного КРК с фемтолазерным формированием кольцевидного интрастромального тоннеля для введения фотосенсибилизатора с учетом расположения зоны эктазии.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Сравнительный анализ отдаленных клинико-функциональных результатов стандартного кроссликинга роговичного коллагена и циркулярного тоннельного фемтокроссликинга у пациентов с прогрессирующим кератоконусом I и II стадий.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Клинико-функциональные результаты проанализированы на основе хирургического лечения 127 глаз 116 пациентов с прогрессирующим кератоконусом I и II стадии (по классификации Amsler-Krumeich), которые были разделены на 2 группы в зависимости от метода проведения КРК.

Критериями отбора пациентов являлись: прогрессирующий кератоконус, отсутствие помутнений и рубцов роговицы, толщина роговицы не менее 400 мкм, максимальная кератометрия не более 65 дптр. При увеличении показателя максимальной кератометрии (Kmax) более чем на одну диоптрию в год, говорили о прогрессировании кератоконуса.

В основную группу включены 64 глаза с периферическим расположением вершины эктазии, на которых была проведена процедура циркулярного тоннельного КРК с применением ФСЛ. Контрольную группу составили 63 глаза с центральным расположением вершины КК, на которых КРК был проведен по стандартной методике. В соответствии со стадиями клинического течения кератоконуса основная группа была разделена на 2 подгруппы: 1-я подгруппа — 33 глаза (26 % от общего количества) с I стадией кератоконуса; 2-я подгруппа — 31 глаз (24,5 %) пациентов со II стадией. Контрольная группа также была разделена на 2 подгруппы: 1-я подгруппа — 32 глаза (25 %) пациентов с I стадией, 2-я подгруппа — 31 глаз (24,5 %) пациентов со II стадией кератоконуса.

Возраст больных основной группы составил в среднем (30 ± 4) года, контрольной — (28 ± 3) года.

Процедуру ЦТФКРК начинали с формирования интрастромального тоннеля с помощью ФСЛ IntraLase FS 60 кГц. Для этого на заданной глубине 150 мкм формировали кольцевидный канал, проходящий через вершину кератэктазии, внутренним диаметром 4,0 мм и внешним 9,0 мм, после чего в радиальном направле-

нии проводили входной разрез длиной 2,0 мм. Энергия импульса составила 1,5—1,8 мкДж. В сформированный таким образом тоннель вводили раствор «Декстралинк» с интервалом 5 минут в течение 15 минут до полного пропитывания стромы в выше и нижележащих областях от сформированного тоннеля. Затем в проекции сформированного кольцевидного тоннеля проводили облучение ультрафиолетовым светом в течение 30 минут с использованием аппарата для фототерапии роговицы EVOLUTION производства ООО «Трансконтакт» (Москва), в котором применяли специальную диафрагму в виде двух полукруглых сегментов.

В контрольной группе была выполнена процедура КРК, которая включала в себя удаление роговичного эпителия диаметром 9,0 мм с помощью шпателя с последующей инстилляцией раствора «Декстралинк» каждые 5 минут в течение 30 минут, затем облучение ультрафиолетовым светом длиной волны 375—376 нм и плотностью мощности 3 мВт/см² в течение 30 минут.

Для оценки результатов до и после операции в течение 3 лет пациентам проводилось полное обследование: визометрия, биомикроскопия, кераторефрактометрия (UKR 700, Unisos, Корея), определение биомеханических свойств роговицы (ORA Riechert, США), aberromетрия с корнеотопографией (Tomey 4, OPD-Scan II Nidek, Япония), конфокальная биомикроскопия с подсчетом плотности эндотелиальных клеток (ПЭК) на конфокальном микроскопе Confoscan-4 (Nidek, Япония). Для изучения степени интенсивности болевых ощущений после проведения КРК в обеих группах после процедуры проводили анкетирование, где пациентам предлагали оценить выраженность болевых ощущений в баллах от 1 до 4 (0 = отсутствие боли; 4 = самая сильная боль). Срок наблюдения 3 года.

Статистическую обработку результатов исследования проводили на персональном компьютере с использованием статистической программы Statistica 6.1 (программный продукт «StatSoft», США). Достоверность различий оценивали по параметрическим критериям Стьюдента ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранний послеоперационный период у пациентов основной группы характеризовался наличием роговичного синдрома слабой интенсивности, в среднем $(1,65 \pm 0,65)$ балла по 4-балльной шкале, который сохранялся в течение первых 12 часов после операции до наступления полной эпителизации. Степень интенсивности и длительности роговичного синдрома у пациентов после стандартной процедуры КРК была большей, в среднем $(3,55 \pm 0,55)$ балла, а его купирование происходило в среднем на 3-и сутки после процедуры, в связи с большой площадью деепителизации и облучения роговичной ткани. Выявленная нами закономерность говорит о большей травматизации роговицы при проведении процедуры СКРК в сравнении с ЦТФКРК.

Из осложнений раннего послеоперационного периода отмечен 1 случай (0,78 %) развития кератита и 1 случай (0,78 %) длительно незаживающей эрозии роговицы у пациентов контрольной группы. Ранние послеоперационные осложнения возникли в основном у пациентов контрольной группы, чему способствовала большая площадь дезэпителизации и облучения роговицы, а также неправильный уход за контактной линзой при ее применении в послеоперационном периоде. Само применение МКЛ является фактором риска развития кератита и инфильтратов роговицы при неправильной гигиене при закапывании пациентом капель в послеоперационном периоде на фоне ухудшения оксигенации роговицы и относительно длительного контакта между поверхностью линзы и дезэпителизованной роговичной стромой.

Динамика остроты зрения в основной и контрольной группах была различна. В послеоперационном периоде в 1-й подгруппе основной группы через 1 месяц не было отмечено достоверного изменения сред-

них показателей НКОЗ и КОЗ по сравнению с дооперационными значениями, в то время как в 1-й подгруппе контрольной группы было достоверное снижение средних показателей НКОЗ на $0,09 \pm 0,04$ и КОЗ на $0,08 \pm 0,04$ по сравнению с дооперационными значениями, что связано с появлением хейза в центральной зоне роговицы, подвергавшейся облучению, выявляемом при биомикроскопии, представляющим отек стромы роговицы на месте гибели кератоцитов. Через 3 года в обеих группах наблюдалось равное увеличение остроты зрения по сравнению с дооперационными значениями — НКОЗ увеличилась в 1,5 раза, а КОЗ — в 1,2 раза.

Послеоперационная динамика клинико-функциональных показателей у пациентов 2-й подгруппы была сходна с таковой у пациентов 1-й подгруппы. Так, показатель НКОЗ увеличился в 2 раза, а КОЗ в 1,3 раза в обеих группах через 36 месяцев после процедуры (табл. 1, 2).

В обеих группах в послеоперационном периоде отмечали уменьшение преломляющей силы роговицы.

Таблица 1

Динамика изменений клинико-функциональных показателей у пациентов с кератоконусом I стадии после ЦТФКРК (основная группа, $n = 33$), стандартного КРК (контрольная группа, $n = 32$), $M \pm SD$

Метод операции	Параметры	До операции	Через 1 мес.		Через 36 мес.	
		$M \pm SD$	$M \pm SD$	p	$M \pm SD$	p
ЦТФКРК (основная группа)	НКОЗ	$0,22 \pm 0,11$	$0,26 \pm 0,09$	0,2853	$0,33 \pm 0,10$	0,0019
	КОЗ	$0,64 \pm 0,19$	$0,65 \pm 0,10$	0,8941	$0,75 \pm 0,14$	0,0123
	K_{max}, D	$53,03 \pm 2,95$	$52,35 \pm 2,16$	0,0688	$50,75 \pm 2,16$	0,0003
	K_{ave}, D	$46,30 \pm 2,48$	$46,50 \pm 2,05$	0,0778	$45,11 \pm 2,31$	0,0069
	ФРР, мм рт. ст.	$6,74 \pm 1,31$	$7,7 \pm 2,9$	0,0431	$8,50 \pm 1,25$	0,0012
	КГ, мм рт. ст.	$7,90 \pm 1,22$	$8,1 \pm 2,2$	0,0531	$9,30 \pm 1,31$	0,0020
Стандартный КРК (контрольная группа)	НКОЗ	$0,20 \pm 0,14$	$0,11 \pm 0,10$	0,0122	$0,30 \pm 0,09$	0,0004
	КОЗ	$0,53 \pm 0,20$	$0,45 \pm 0,10$	0,0331	$0,63 \pm 0,14$	0,0011
	K_{max}, D	$52,80 \pm 2,75$	$52,88 \pm 2,32$	0,0688	$50,60 \pm 2,31$	0,0188
	K_{ave}, D	$45,2 \pm 2,4$	$45,08 \pm 2,24$	0,0778	$42,90 \pm 2,22$	0,0099
	ФРР, мм рт. ст.	$6,23 \pm 1,21$	$7,2 \pm 2,0$	0,0431	$8,10 \pm 1,05$	0,0008
	КГ, мм рт. ст.	$7,47 \pm 1,09$	$7,9 \pm 2,08$	0,0634	$8,9 \pm 1,2$	0,0017

Таблица 2

Динамика изменений клинико-функциональных показателей у пациентов с кератоконусом II стадии после ЦТФКРК (основная группа, $n = 31$), стандартного КРК (контрольная группа, $n = 31$), $M \pm SD$

Метод операции	Параметры	До операции	Через 1 мес.		Через 36 мес.	
		$M \pm SD$	$M \pm SD$	p	$M \pm SD$	p
ЦТФКРК (основная группа)	НКОЗ	$0,11 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,09$	0,3792	$0,21 \pm 0,09$	0,0007
	КОЗ	$0,41 \pm 0,14$	$0,45 \pm 0,10$	0,0862	$0,53 \pm 0,11$	0,0042
	K_{max}, D	$57,29 \pm 3,05$	$56,95 \pm 2,86$	0,2317	$54,95 \pm 2,96$	0,0073
	K_{ave}, D	$50,23 \pm 2,77$	$49,90 \pm 2,65$	0,5691	$48,30 \pm 2,38$	0,0012
	ФРР, мм рт. ст.	$6,30 \pm 0,96$	$6,7 \pm 0,8$	0,0955	$7,90 \pm 1,17$	0,0047
	КГ, мм рт. ст.	$7,31 \pm 1,20$	$7,90 \pm 1,14$	0,0451	$8,70 \pm 1,16$	0,0002
Стандартный КРК (контрольная группа)	НКОЗ	$0,09 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,02$	0,0492	$0,19 \pm 0,09$	0,0007
	КОЗ	$0,35 \pm 0,11$	$0,29 \pm 0,10$	0,0335	$0,47 \pm 0,13$	0,0089
	K_{max}, D	$56,88 \pm 3,19$	$56,76 \pm 3,10$	0,7892	$54,60 \pm 2,77$	0,0022
	K_{ave}, D	$49,33 \pm 2,8$	$48,90 \pm 2,95$	0,0855	$47,25 \pm 3,05$	0,0127
	ФРР, мм рт. ст.	$5,8 \pm 0,8$	$6,2 \pm 0,9$	0,0567	$7,70 \pm 0,95$	0,0016
	КГ, мм рт. ст.	$7,30 \pm 1,02$	$7,9 \pm 1,2$	0,0459	$8,73 \pm 1,11$	0,0001

Уменьшение в 1-й подгруппе основной группы показателей Кмах и Kave через 3 года после операции в среднем составило $(2,28 \pm 0,4)$ дптр и $(2,1 \pm 0,5)$ дптр, в то время как в 1-й подгруппе контрольной группы уменьшение Кмах и Kave через 3 года после операции составило $(2,2 \pm 0,4)$ дптр и $(2,3 \pm 0,6)$ дптр по сравнению с дооперационными значениями. Во 2-й подгруппе основной группы снижение Кмах и Kave по сравнению с дооперационными значениями в среднем составило $(2,34 \pm 0,8)$ дптр и $(1,93 \pm 0,7)$ дптр, в контрольной — $(2,28 \pm 0,5)$ дптр и $(2,08 \pm 0,7)$ дптр соответственно.

При изучении биомеханических свойств роговицы у пациентов 1-й и 2-й подгруппы выявлено статистически значимое повышение данных в основной и контрольной группе: корнеального гистерезиса (КГ) в 1,2 и фактора резистентности роговицы (ФРП) в 1,3 раза через 3 года после процедуры.

При анализе изменений кератопахиметрических величин у пациентов обеих групп были отмечены одинаковые закономерности. Пахиметрия роговицы в месте облучения незначительно снижалась, что свидетельствовало об уплотнении роговицы и формировании прочных интра- и межфибриллярных связей волокон коллагена. В дальнейшем в течение всего послеоперационного периода отмечали постепенное увеличение толщины роговицы, которая оставалась однако ниже дооперационных значений.

По данным ОКТ переднего отрезка у пациентов основной и контрольной групп просматривали почти равное увеличение оптической плотности передних отделов стромы роговицы и наличие демаркационной линии через 1 месяц после операции, которая постепенно исчезала к 6 месяцу наблюдения. Через 1 месяц после вмешательства в основной группе средняя глубина расположения демаркационной линии составила (336 ± 21) мкм, в контрольной группе данный показатель составил (329 ± 28) мкм. Статистически значимых различий между данными показателями обнаружено не было ($p = 0,2351$).

Анализ карт подъема передней поверхности роговицы у пациентов 1-й подгруппы обеих групп через 3 года после операции выявил статистически значимое снижение элевации передней поверхности с $(24,4 \pm 5,1)$ до $(12,4 \pm 3,1)$ мкм. У пациентов 2-й подгруппы основной и контрольной групп было обнаружено статистически значимое снижение ($p = 0,024$) элевации передней вершины с $(32,4 \pm 6,7)$ до $(18,7 \pm 4,4)$ мкм.

По данным конфокальной микроскопии обнаруживали одинаковые изменения у пациентов основной и контрольной групп в передних и средних слоях стромы в пределах глубины 300—350 мкм, задняя строма оставалась без выраженных изменений, визуализировался лишь переход гипоцеллюлярных слоев к слоям с нормальной плотностью кератоцитов, что доказывает безопасность КРК для подлежащих структур глаза. Безопасность обоих методов была подтверждена исследованиями плотности эндотелиальных клеток, достоверного снижения которой не выявляли в после-

операционном периоде, а также вычислением коэффициента безопасности, который соответствовал нормальным значениям и был больше 1,0 в обеих подгруппах основной и контрольной групп, что свидетельствовало об отсутствии потери строк КОЗ.

Различия между изменениями гистоморфологической картины роговицы после КРК, выполненного по стандартной методике, и ЦТФКРК проявлялись на уровне боуеновой мембраны, с изменениями которой начинается развитие КК. После СКРК выявлялась уплотненная боуенова мембрана с линейными гипер- и гипорефлексирующими включениями, что, по нашему мнению, свидетельствует о травматичности этапа удаления эпителия. Изменений в боуеновой мембране после ЦТФКРК выявлено не было.

В ходе данного исследования было отмечено 4 случая (3,14 % от общего количества глаз) прогрессирования КК в послеоперационном периоде. В частности, на 2 глазах (1,57 %), перенесших ЦТФКРК, и 2 (1,57 %) после СКРК через 1 год после процедуры имело место повышение показателей Кмах и Kave на 1 дптр и более, которое было расценено как прогрессирование КК. Во всех 4 случаях Кмах была более 57 дптр, что, вероятно, является фактором риска прогрессирования КК и может служить ограничением для выполнения КРК. На 1-м глазу контрольной группы была выполнена передняя глубокая послойная пересадка роговицы в связи с переходом заболевания в III стадию с истончением роговичной ткани менее 350 мкм. На остальных 3 глазах была проведена процедура имплантации кольца MyoRing, что позволило стабилизировать прогрессирование КК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Циркулярный тоннельный фемтокреслинкинг, выполняемый с учетом периферического топографического расположения верхушки эктазии в зоне от 4,0 до 9,0 мм, наравне со стандартной методикой креслинкинга является эффективным методом стабилизации прогрессирующего кератоконуса I—II стадии при сроке наблюдения 3 года, обеспечивая равное улучшение биомеханических свойств роговицы, остроты зрения, уменьшение кератометрических показателей, стабильные данные ПЭК; в то же время циркулярный тоннельный фемтокреслинкинг демонстрирует большую безопасность за счет ускоренного восстановления целостности эпителиального покрова, обеспечивает меньшую по интенсивности послеоперационную боль по сравнению со стандартной методикой КРК на фоне минимизации риска инфекционных осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, С. И. Динамика изменения остроты зрения и топографических параметров после проведения персонализированного (локального) креслинкинга / С. И. Анисимов, С. Ю. Анисимова, К. А. Золоторевский // Современные технологии катарактальной и рефрак-

ционной хирургии — 2011: материалы XII науч.-практ. конф. — М., 2011. — С. 308—310.

2. *Зотов В. В., Сальников В. В., Поздеева Н. А.* Изменение ультраструктуры стромы роговицы после проведения кросслинкинга // Практическая медицина. — 2012. — №1 (4). — С. 95—96.

3. *Зотов В. В., Паштаев Н. П., Ларионов Е. В., Поздеева Н. А., Анисимов С. И.* Сравнительное гистохимическое исследование структуры коллагена нормальной и кератоконусной роговицы в ходе моделирования процедуры кросслинкинга с применением фемтолазера *in vitro* // Катарактальная и рефракционная хирургия. — 2013. — № 13. — С. 32—36.

4. *Паштаев Н. П., Зотов В. В.* Сравнительный анализ отдаленных результатов стандартного и локального фемтокросслинкинга у больных с прогрессирующим кератоконусом // Вестник ОГУ. — 2014. — № 12. — С. 248—251.

5. *Faschinger C., Kleinert R., Wedrich A.* Corneal melting in both eyes after simultaneous corneal cross-linking in a patient with keratoconus and Down syndrome // Ophthalmology. — 2010. — № 107. — P. 951—952.

6. *Fujimori E.* Cross-linking and Fluorescence Changes of Collagen by Glycation and Oxidation / E. Fujimori // Biochimica et Biophysica Acta. — 1998. — Vol. 998. — P. 105—110.

7. *Kamaev P., Friedman M. D., Sherr E., Muller D.* Photochemical kinetics of corneal cross-linking with riboflavin. Investigative Ophthalmology and Visual // Science. — 2012. — № 53. — P. 2360—2367. DOI: 10.1167/iops.11—9385

8. *Kanellopoulos A. J.* Collagen cross-linking in early keratoconus with riboflavin in a femtosecond laser-created

pocket: initial clinical results / A. J. Kanellopoulos // J. Refract. Surg. — 2009. — Vol. 25, № 11. — P. 1034—1037.

9. *Koller, T., Mrochen, M., Seiler, T.* Complication and failure rates after corneal crosslinking // J. Cataract Refract. Surg. — 2009. — Vol. 35.— P. 1358—1362. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.03.035

10. *Koppen C., Vryghem J. C., Gobin L., Tassignon, M.-J.* Keratitis and corneal scarring after UVA/riboflavin cross-linking for keratoconus // J. Refract. Surg. 2009. — Vol. 25. — P. 819—823. DOI: 10.3928/1081597x-20090813-11

11. *Leccisotti A.* Transepithelial corneal collagen cross-linking in keratoconus / A. Leccisotti, T. Islam // J. Refract. Surg. — 2010. — Vol. 26, № 12. — P. 942—948

12. *Spoerl E., Seiler T.* Techniques for stiffening the cornea // J. Refract. Surg. — 1999. — Vol. 15. — P. 711—713.

13. *Spoerl E., Huhle M., Seiler T.* Induction of cross-links in corneal tissue // Exp. Eye Res. — 1998. — Vol. 66. — P. 97—103. DOI: 10.1006/exer.1997.0410.

14. *Wollensak G., Spoerl E., Seiler T.* Riboflavin/ultraviolet-a-induced collagen crosslinking for the treatment of keratoconus // Am. J. Ophthalmol. — 2003. — Vol. 135. — P. 620—627. DOI: 10.1016/s0002-9394(02)02220-1 DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.10.028

Контактная информация

Зотов Вадим Валерьевич — врач-офтальмолог Чебоксарского филиала ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова» Минздрава России, e-mail: vadim_zot@mail.ru