



Научная статья

УДК 617.713-007.64

DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2022-2-46-53>

## Сравнительная оценка результатов комбинированного применения различных методов лечения: кросслинkinга роговицы, имплантации интрастромальных роговичных колец-сегментов и трансэпителиальной топографической фоторефрактивной кератэктомии при лечении кератоконуса

П.М. Магеррамов<sup>1</sup>, Э.Л. Усубов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный Центр Офтальмологии имени акад. Зарифы Алиевой, Министерства здравоохранения Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

<sup>2</sup>Уфимский НИИ глазных болезней АН РБ, Уфа

### РЕФЕРАТ

На долю кератоконуса (КК) приходится не менее половины всех кератопластик. Методики, позволяющие избежать кератопластики, сохраняя и исправив иррегулярность собственной роговицы, наиболее актуальны в современной офтальмохирургии. **Цель.** Провести сравнительную оценку результатов комбинированного применения кросслинkinга роговицы (CXL), имплантации интрастромальных роговичных колец-сегментов (ICRS) и трансэпителиальной топографической фоторефрактивной кератэктомии (ТЕ-тороPRK) при лечении КК. **Материал и методы.** Исследование проводилось в Национальном Центре Офтальмологии имени акад. Зарифы Алиевой. В течение 2016–2019 гг. на первом этапе исследования по поводу КК II–III стадии (по классификации Amsler M.) были прооперированы: 48 пациентов (48 глаз) с применением только CXL – 1-я группа; 48 пациентов (48 глаз) – только ICRS – 2-я группа; 48 пациентов (48 глаз) с применением комбинации CXL и ICRS (сначала ICRS, через 24 ч CXL) – 3-я группа. Всем пациентам (144 глаза) через 8 месяцев проводился второй этап лечения с применением ТЕ-тороPRK. **Результаты.** Показатели остроты зрения и состояния роговицы через 8 месяцев после CXL, ICRS и комбинации CXL с ICRS существенно изменились, подтверждая достижение ожидаемого эффекта. Сравнение изученных показателей после операции в группах пациентов, оперированных методами CXL, ICRS и при их комбинации, показало, что существенное различие выявлено только по величине некорректируемой остроты зрения: соответственно  $0,22 \pm 0,04$ ,  $0,46 \pm 0,03$  и  $0,52 \pm 0,04$  ( $p < 0,05$ ). При этом результат использования комбинации CXL и ICRS оказался лучшим, чем при их отдельном применении. Всем оперированным пациентам была выполнена ТЕ-тороPRK. **Заключение.** Комбинированное двухэтапное лечение КК с имплантацией ICRS и практически одномоментным (через сутки) CXL с последующей (с интервалом 8 месяцев) ТЕ-тороPRK является более эффективным, чем применение этих операций в отдельности.

**Ключевые слова:** кросслинkinг, роговичные сегменты, кератоконус, топографическая фоторефракционная кератэктомия

**Для цитирования:** Магеррамов П.М., Усубов Э.Л. Сравнительная оценка результатов комбинированного применения различных методов лечения: кросслинkinга роговицы, имплантации интрастромальных роговичных колец-сегментов и трансэпителиальной топографической фоторефрактивной кератэктомии при лечении кератоконуса. Точка зрения. Восток – Запад. 2022;2: 46–53. <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2022-2-46-53>  
**Автор, ответственный за переписку:** Полад Магеррамов оги Магеррамов, maharramov@mail.ru

Original article

## Comparative evaluation of combined use of various methods: crosslinking, ICRS implantation and transepithelial Topo-PRK in the treatment of keratoconus

P.M. Maharramov<sup>1</sup>, E.L. Usubov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ministry of Health of Azerbaijan Republic, National Centre of Ophthalmology named after acad. Zarifa Alyeva, Baku, Azerbaijan Republic

<sup>2</sup>Ufa Eye Research Institute, Ufa, Russian Federation

### ABSTRACT

Keratoconus accounts for at least half of all keratoplasty. Techniques that allow you to avoid keratoplasty, while maintaining and correcting the irregularity of your own cornea, are most relevant in modern ophthalmic surgery. **Purpose.** Comparative evaluation of the results of combined use of corneal cross-linking (CXL) and implantation of intrastromal corneal ring segments (ICRS) followed by transepithelial topographic photorefractive keratotomy (TE-topoPRK) in the treatment of keratoconus. **Material and methods.** The study had been conducted at the National Centre of Ophthalmology named after acad.

Zarifa Aliyeva. Within the frames of the first stage of the study during 2016–2019 years: 48 patients (48 eyes) have been operated only with using CXL (first group); 48 patients (48 eyes) – with using only ICRS (second group); and 48 patients (48 eyes) – with using of combination of CXL and ICRS (ICRS first, then CXL after 24 hours) for treatment of keratoconus of II–III stages due to Amsler M. classification. After 8 months, all patients (144 eyes) underwent the second stage of treatment using TE-topoPRK. **Results.** Visual acuity and corneal status 8 months later after CXL, ICRS and the combination of CXL with ICRS generally changed significantly, which confirms the achievement of the expected effect. Comparing the studied parameters after the operation in the groups of patients operated on by the CXL, ICRS methods and their combination, a significant difference was revealed only in the value of NCVA ( $0.22\pm 0.04$ ,  $0.46\pm 0.03$  и  $0.52\pm 0.04$ ;  $p<0.05$ ). **Conclusion.** The combined two-stage (with the interval of 8 months) treatment of keratoconus by implantation of intrastromal corneal rings with simultaneous corneal crosslinking followed by topographic photorefractive keratectomy is more effective than the use of these operations without combinations.

**Key words:** crosslinking, corneal segments, keratoconus, topographic photorefractive keratectomy

**For quoting:** Maharramov P.M., Usubov E.L. Comparative evaluation of combined use of various methods: crosslinking, ICRS implantation and transepithelial Topo-PRK in the treatment of keratoconus. Point of view. East – West. 2022;2: 46–53. <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2022-2-46-53>.

**Corresponding author:** Polad M. Maharramov, maharramov@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Кератоконус (КК) является прогрессирующей двусторонней патологией роговицы, которая проявляется истончением и выпячиванием ее, что приводит к формированию иррегулярного астигматизма и ухудшению зрения [1]. Для лечения КК в зависимости от тяжести нарушений применяются кросслинкинг роговицы (CXL), имплантация интрастромальных роговичных колец-сегментов (ICRS), кератопластика (КП) (проникающая и глубокая передняя послойная), CXL с фоторефрактивной кератэктомией (PRK) и прочие варианты комбинации вышеотмеченных методов [2–8].

Механизмы эффективности этих методов хорошо изучены. Так, после CXL происходит увеличение механической плотности коллагеновых связей между молекулами роговичного коллагена. Проведение CXL показано при толщине роговицы не менее 400 мкм, а сама операция достаточно эффективна и малотравматична. Имплантация ICRS позволяет снизить иррегулярность роговицы с выраженным рефракционным эффектом. Считается, что все оперативные методы лечения эффективны и безопасны. Такое заключение часто базируется на результатах сравнения показателей остроты зрения, рефракции и топографии роговицы до и после операции.

По данным А-Г.Д. Алиева и соавт., комбинированный метод лечения кератоконуса позволяет повысить остроту зрения без коррекции на 1–2 строчки, а с максимальной коррекцией – на 2–3 строчки и сократить время CXL до 15 мин [2]. Короткое время воздействия УФ-излучения вызывает меньшую потерю кератоцитов. Основными преимуществами данной методики, по мнению авторов, являются проведение однократного хирургического вмешательства и абляция неизменной кросслинkinгом стромы, а также сохранение эпителиального слоя роговицы и быстрая реабилитация пациентов.

Имплантация интрастромальных сегментов в сочетании с CXL роговичного коллагена является эффектив-

ной методикой коррекции КК [3]. В литературе представлены данные об эффективности комбинации PRK и CXL [4, 5]. Имеются сообщения о комбинации CXL, ICRS и топографической фоторефрактивной кератэктомии (тороPRK) [6]. Авторы рассматривают несколько вариантов комбинации методов лечения и показывают их эффективность. Считается, что хирургическое вмешательство на роговице при КК не только должно обеспечить улучшение зрения, но также предупредить прогрессирование КК [7, 8].

Аналитический обзор литературы свидетельствует о том, что применение только CXL для лечения КК почти не влияет на функциональные показатели, но эффективно останавливает прогрессирование патологии вследствие увеличения прочности роговицы [9]. Комбинация CXL с PRK обеспечивает двойной эффект: значительное улучшение остроты зрения и повышение устойчивости роговицы. На основе сравнения до- и послеоперационных показателей остроты зрения, топографической карты, толщины роговицы при лечении КК комбинацией ICRS с CXL сделано заключение об эффективности данной операции [6]. Более обширный обзор протоколов комбинированного применения CXL в сочетании с PRK, с фототерапевтической кератэктомией (ФТК), ICRS, имплантацией факичной интраокулярной линзы (ИОЛ), КП показывает, что эти протоколы требуют проведения дальнейшего исследования для доказательства лучших вариантов лечения [10–12].

## ЦЕЛЬ

Провести сравнительную оценку результатов комбинированного применения кросслинkinга роговицы или имплантации интрастромальных роговичных колец-сегментов и их комбинации с трансэпителиальной топографической фоторефрактивной кератэктомией при лечении кератоконуса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в Национальном Центре Офтальмологии имени акад. Зарифы Алиевой и в Уфимском НИИ глазных болезней АН РБ после утвержденного Локальным этическим комитетом протокола. Пациенты были включены в исследование по их информированному письменному согласию. При этом были полностью соблюдены требования принципов Хельсинкской декларации.

В течение 2016–2019 гг. на первом этапе исследования по поводу КК II–III стадии (по классификации Amsler M.) были прооперированы: 48 пациентов (48 глаз) с применением CXL в виде монолечения (1-я контрольная группа); 48 пациентов (48 глаз) – только ICRS (2-я контрольная группа); 48 пациентов (48 глаз) – комбинации CXL и ICRS (сначала ICRS, через 24 ч после CXL).

Всем пациентам (144 глаза) через 8 месяцев проводился второй этап лечения с применением топографической трансэпителиальной фоторефрактивной кератэктомии (TE-тороPRK).

Хирургическая техника была стандартной. Для ICRS было использовано кольцо KeraRing (Mediphacos, Бразилия), фемтосекундный лазером Wave Light (FS200) создавался тоннель с внутренним диаметром 4,4 мм и внешним диаметром 5,6 мм. Кольцо было имплантировано на глубину 90 мкм, отступя от эндотелия самой тонкой части роговицы. Для выполнения CXL была проведена деэпителизация роговицы в 7-мм зоне под местной анестезией, 0,1% раствор рибофлавина инстиллировали на роговицу (рибофлавин Medio Cross, Avedro) 30 мин, используя UV-X 6 этапов по 5 мин. В конце операции накладывали контактную линзу.

Через 8 месяцев после получения стабильных рефракционных результатов была проведена TE-тороPRK: эпителий роговицы толщиной 50 мкм был удален при проведении ФТК под местной анестезией, после чего была выполнена абляция при ФТК на строуме.

Все пациенты до операции, на каждом этапе и через 8 месяцев после операции (наблюдение пациентов во всех этапах продолжалось более 16 месяцев) были обследованы по унифицированной программе, которая включала: определение остроты зрения без коррекции (НКОЗ) и с максимальной коррекцией (МКОЗ), проведение авторефрактометрии (TOMEY RC-5000), бесконтактной тонометрии (TOMEY FT-1000), топографии роговицы с использованием Pentacam, Wavelight Oculyzer (ALCON), топографии (Topolyzer VARIO, ALCON), оптической когерентной топографии переднего отрезка с помощью Cirrus HD-OCT 5000 (Zeiss, Германия), ультразвуковой пахиметрии.

Статистическая обработка проводилась методами анализа количественных и качественных признаков с применением соответствующего пакета программы Excel-2010. Достоверность различий между группами определяли с помощью критерия Манна–Уитни. При исследовании зави-

симых выборок применяли критерий Фридмана. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Некоторые антропометрические и клинические характеристики пациентов до операции на первом этапе наблюдения приведены в *таблице 1*. Во всех группах пациентов преобладали мужчины. Медиана возраста составляла 30 лет, доля пациентов моложе 30 лет и пациентов 30 лет и старше была сходной.

Показатели остроты зрения и состояния до операции и через 8 месяцев после CXL, ICRS и их комбинации отражены в *таблице 2*. Из нее видно, что острота зрения, сферический и цилиндрический компоненты рефракции, все картометрические индексы через 8 месяцев после указанных вмешательств существенно изменялись в лучшую сторону. При этом топографическая карта роговицы также отражала положительную динамику (*рис. 1*). На кератотопограмме отмечаются уплощение в оптической зоне и значительное улучшение регулярности роговицы, что повлияло и на функциональный результат.

При сравнении изученных показателей после операции в группах пациентов, оперированных методами CXL, ICRS и при их комбинации, существенное различие выявлено только по величине НКОЗ: соответственно  $0,22 \pm 0,04$ ,  $0,46 \pm 0,03$  и  $0,52 \pm 0,04$  ( $p < 0,05$ ) (*табл. 2*).

Как видно, результат комбинации CXL и ICRS оказался значительно лучше, чем при их отдельном применении. Всем оперированным пациентам через 8 месяцев была выполнена TE-тороPRK. Показатели до TE-тороPRK и через 6 месяцев после нее даны в *таблице 3*.

Приведенные данные подтверждают существенное улучшение остроты зрения и основных топографических параметров роговицы после TE-тороPRK во всех группах (*рис. 2*).

По отдельным показателям (НКОЗ, цилиндрическая рефракция и сферический эквивалент, а также индекс вертикальной асимметрии) результаты оказались значительно лучше у пациентов с проведенной комбинацией процедур CXL и ICRS. Частота осложнений после имплантации интрастромальных сегментов, CXL и комбинации этих операций (соответственно  $12,5 \pm 4,7$ ,  $25,0 \pm 7,6$  и  $28,6 \pm 9,8\%$ ) друг от друга существенно отличались.

Применение кроссликинга роговицы с фоторефрактивной кератэктомией ассоциируется с риском послеоперационных осложнений ( $27,3 \pm 13,4\%$ ). Инфекционные осложнения были характерны для всех видов операций:  $\sim 6,3\%$  – при ICRS;  $\sim 3,1\%$  – при CXL;  $\sim 4,8\%$  – при ICRS + CXL;  $\sim 6,3\%$  – при CXL + PRK;  $\sim 9,1\%$  – при комбинации CXL + ICRS + TE-тороPRK. Частота миграции сегмента составляла  $4,2\%$  при ICRS,  $9,5\%$  при ICRS в комбинации с CXL. В зависимости от вариантов CXL, частота отека строумы варьировала в интервале  $6,3$ – $12,5\%$ , помутнение роговицы встречалось в среднем в  $3,1$ – $12,5\%$  случаев.

Таблица 1

## Антропометрическая и клиническая характеристика пациентов с кератоконусом до операции на первом этапе

Table 1

## Antropometric and clinical characteristics of patients with keratoconus before surgery in the first stage

Признак Parameter		До операции Before						p
		ICRS		CXL		ICRS + CXL		
		n	%	n	%	n	%	
Пол Sex	Мужчины Male	36	75,0	32	66,7	30	66,5	>0,05
	Женщины Female	12	25,0	16	33,3	18	37,5	
Возраст, годы (ср. 30) Age	<30	26	54,2	27	56,3	24	50,0	>0,05
	>30	22	45,8	21	43,7	24	50,0	
НКОЗ (ср. 0,20) UCVA	<0,20	28	58,3	26	54,2	21	43,7	>0,05
	≥0,20	20	41,7	12	45,8	27	56,3	
МКОЗ (ср. 0,30) BCVA	<0,30	24	50,0	28	58,3	31	64,6	>0,05
	≥0,30	24	50,0	20	41,7	17	35,4	
Sph, D (ср. -1,0)	<(-1,0)	21	43,8	19	39,6	23	47,9	>0,05
	≥-1,0	27	56,3	29	60,4	25	52,1	
Cyl, D (ср. -2,0)	<(-2,0)	20	41,7	28	58,3	21	43,8	>0,05
	≥(-2,0)	28	58,3	20	41,7	27	56,2	
Kave, D (ср. 46)	< 46,0	25	52,1	28	58,3	21	43,8	>0,05
	≥46,0	23	47,9	20	41,7	27	56,2	
Kmax, (ср. 50)	< 50	26	54,2	24	50,0	23	47,9	>0,05
	≥50	22	45,8	24	50,0	25	52,1	
Kmin, D (ср. 43)	<43	21	43,8	19	39,6	24	50,0	>0,05
	≥43	27	56,2	29	60,4	24	50,0	
ЦТР, мкм (ср. 470) CCT, mc	<470	23	47,9	28	58,3	23	47,9	>0,05
	≥470	25	52,1	20	41,7	25	52,1	

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты ранее проведенных исследований показали высокую эффективность комбинации лазерного интрастромального кератомилеза с кросслинкингом коллагена роговицы по сравнению со стандартным CXL [2]. Комбинированное лечение – кросслиндинг роговицы и имплантация интрастромальных сегментов способствует не только стабилизации КК, но и приводит к улучшению визуальных и топографических результатов у пациентов с данным заболеванием. Впрочем, некоторые исследования не смогли продемонстрировать

превосходство комбинированного лечения ICRS и CXL над монолечением с применением ICRS [1, 13]. По данным же I. Mohammed и соавт., комбинированное применение CXL улучшает рефракционный статус КК в течение 18 месяцев наблюдения, несмотря на возможные ранние послеоперационные осложнения в виде замедленного заживления эпителия и помутнения роговицы [4]. При этом миопический компонент КК уменьшается больше, чем астигматический.

Проведено сравнительное изучение результатов двух комбинированных операций при КК. В частности, комбинацию интрастромального CXL с имплантацией интрастромальных сегментов и сочетанием трансэпи-

Таблица 2

Показатели остроты зрения и состояния роговицы до и после кроссликинга роговичного коллагена (CXL), имплантации интрастромального кольца (ICRS) и сочетанного их применения

Table 2

Indicators visual and of the cornea before and after corneal collagen crosslinking (CXL), intrastromal ring implantation (ICRS) and their combined use

Показатель Parameter	CXL		ICRS		CXL + ICRS	
	до before	после after	до before	после after	до before	после after
НКОЗ UCVA	0,16±0,03	0,22±0,04*	0,14±0,03	0,46±0,03*	0,13±0,03	0,52±0,04*#
МКОЗ BCVA	0,36±0,04	0,43±0,061*	0,39±0,03	0,79±0,03*	0,32±0,04	0,88±0,03*
Cyl, D	-5,20±0,12	-4,80±0,13	-5,36±0,14	-2,46±0,14	-6,22±0,13	-2,24±0,14
Sph, D	-2,11±0,12	-1,89±0,10	-6,04±0,11	-1,88±0,10	-7,08±0,11	-1,87±0,10
SE, D	-5,61±0,14	5,10±0,11*	-5,50±0,11	3,18±0,14*	-5,58±0,11	3,08±0,12*
Кератометрия передней поверхности на крутой оси, D Steep axis anterior keratometry, D	48,90±0,91	47,11±0,12*	50,81±0,12	44,32±0,11*	50,78±0,10	43,11±0,12
Кератометрия задней поверхности на крутой оси, D Steep axis posterior keratometry, D	-7,65±0,08	-7,78±0,07	-7,68±0,09	-7,80±0,07	-7,65±0,08	7,80±0,07
Мин. ТР, мкм Min CT, mc	456±4,1	448±3,8	458±4,5	465±4,2	459±4,1	449±4,0
Объем роговицы, мм <sup>3</sup> Corneal volume, mm <sup>3</sup>	57,0±0,2	56,1±0,3*	56,9±0,3	55,8±0,2*	56,8±0,3	55,4±0,2*
Асферичность (Q) Asphericity	-0,85±0,05	-0,89±0,06	-0,84±0,05	-0,88±0,04	-0,85±0,04	-0,88±0,04
Индекс прогрессирования progression index	2,26±0,05	2,49±0,06*	2,27±0,05	2,50±0,06*	2,26±0,05	2,51±0,07*
Ast, D	4,85±0,21	4,34±0,21	4,86±0,22	2,35±0,22	4,88±0,22	2,28±0,25
Индекс дисперсии поверхности ICV	95,5±5,6	75,4±2,8*	99,0±3,1	76,5±3,3*	98,0±2,9	74,5±3,1*
Индекс вертикальной асимметрии IVA	1,06±0,08	0,82±0,07*	0,99±0,07	0,84±0,07*	1,02±0,08	0,72±0,09*
Индекс КК KI	1,25±0,01	1,19±0,01*	1,28±0,02	1,21±0,01*	1,22±0,01	1,15±0,02*
Индекс асимметрии по высоте IHA	26,2±1,3	23,8±1,2*	26,4±1,5	24,0±1,2*	26,5±1,3	22,9±1,2*
Индекс регулярности поверхности SRI	1,2±0,10	0,9±0,11*	1,21±0,11	0,98±0,10*	1,30±0,12	0,94±0,11*
Индекс асимметрии поверхности SAI	2,9±0,08	2,5±0,10*	2,98±0,09	2,61±0,12*	3,01±0,14	2,68±0,14*

Примечание: # – p&lt;0,05 (сравнение послеоперационных данных); \* – p&lt;0,05 (сравнение с дооперационными данными).

Note: # – p&lt;0,05 (comparison with postop data); \* – p&lt;0,05 (comparison with preop data).

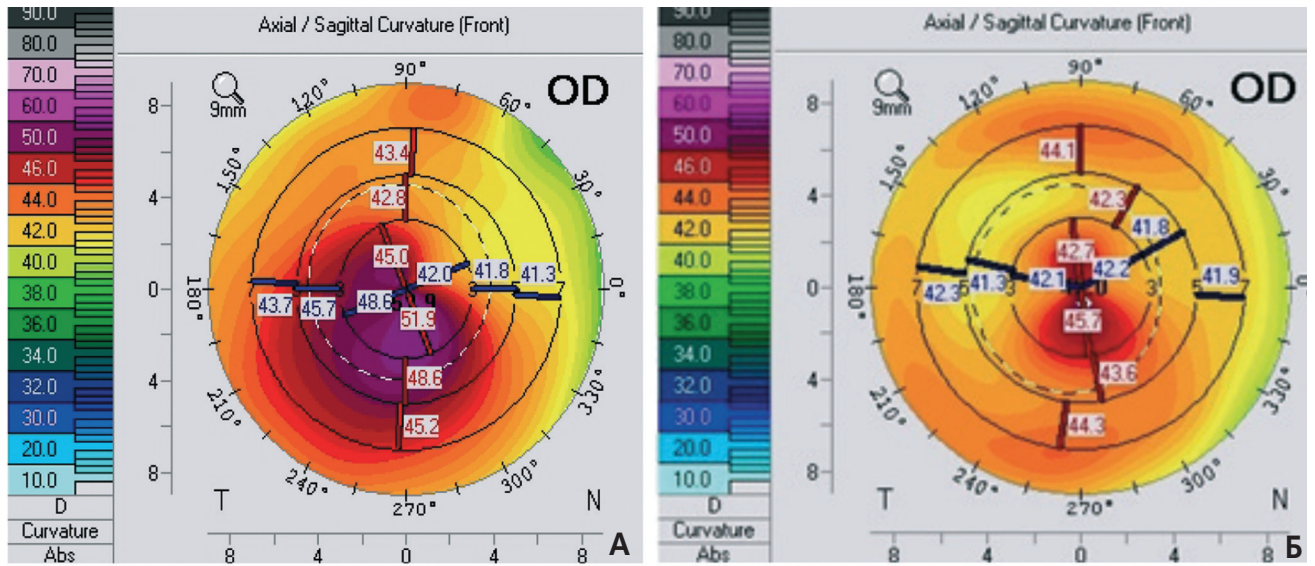


Рис. 1. Пациент М. Показатели кератотопографии: кератотопографии: до лечения (А); после комбинированного лечения ICRS + CXL (Б)

Fig. 1. Patient M. Keratotopography: before treatment (A); after combined treatment – ICRS + CXL (B)

телиального кросслинкинга с ICRS [10, 11]. Проспективное рандомизированное исследование показало, что перекрестное связывание коллагена с одновременной имплантацией интрастромального сегмента роговицы может дать дополнительный визуальный и рефракционный результат. Комбинированная процедура безопасна и заслуживает рассмотрения при лечении прогрессирующего КК для достижения лучшей зрительной реабилитации [4, 11].

Отличительной особенностью нашей работы по сравнению с данными научной литературы [1, 2, 10, 11, 14] является: сравнение результатов комбинации двух (CXL и ICRS) и трех (CXL, ICRS и TE-тороPRK) методов лечения КК между собой и с вариантами монотечения. При этом показана более высокая эффективность этапного применения комбинированного лечения: CXL + ICRS на первом этапе и TE-тороPRK – на втором. При помощи ICRS мы исправляем иррегулярность роговицы, тем самым увеличивая остроту зрения. Применение кросслинкинга стабилизирует прогрессивное течение кератоконизации, а TE-тороPRK обеспечивает докоррекцию остаточных рефракционных показателей для достижения качественной и максимальной остроты зрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комбинированное двухэтапное (с интервалом 8 месяцев) лечение кератоконуса, включающее имплантацию интрастромальных роговичных сегментов с одномоментным кросслинкингом роговицы с последующей

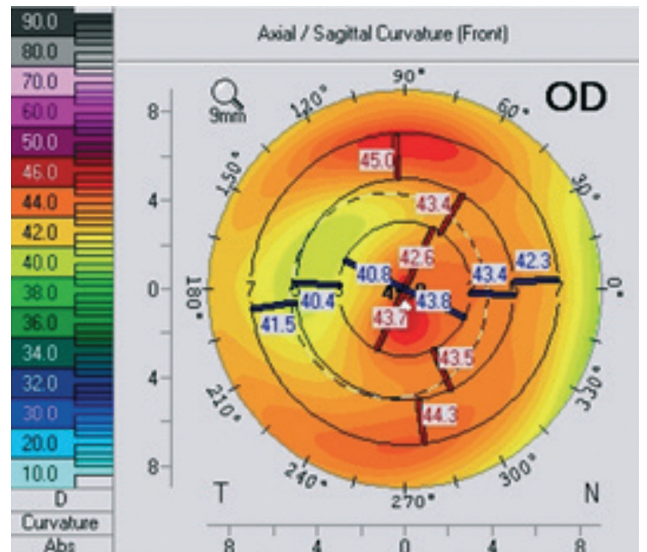


Рис. 2. Кератотопография после третьего этапа TE-тороPRK

Fig 2. Keratotopography after the 3rd step-TE-PTK

транэпителиальной топографической фоторефракционной кератэктомией, является более эффективным методом, чем применение этих операций в отдельности.

Подобный терапевтический подход безопасен и высокоэффективен при деликатном и точном планировании всех вышеизложенных этапов. Он может быть рекомендован больным с прогрессирующим кератокону-

Таблица 3

Показатели состояния роговицы до и после трансэпителиальной топографической фоторефрактивной кератэктомии (TE-topoPRK) у пациентов с ранее проведенным кросслинкингом роговичного коллагена (CXL), имплантацией интрастромального сегмента (ICRS) и сочетанным применением CXL и ICRS

Table 3

Indicators of the state of the cornea before and after transepithelial topographic photorefractive keratectomy (TE-topoPRK) in patients with previous corneal collagen crosslinking (CXL), intrastromal segment implantation (ICRS) and combined use of CXL and ICRS

Показатель Parameter	CXL + TE-topoPRK		ICRS + TE-topoPRK		CXL + ICRS + TE-topoPRK	
	до before	после after	до before	после after	до before	после after
НКОЗ UCVA	0,42±0,04	0,68±0,03*	0,40±0,03	0,70±0,03*	0,42±0,04	0,68±0,03*
МКОЗ BCVA	0,80±0,04	0,95±0,04*	0,79±0,05	0,94±0,04*	0,80±0,04	0,95±0,04*
Cyl, D	-4,80±0,13	-1,89±0,11	-2,46±0,14	-1,10±0,11	-4,80±0,13	-1,89±0,11
Sph, D	-1,89±0,10	-0,68±0,09	-1,88±0,10	-0,64±0,11	-1,89±0,10	-0,68±0,09
SE, D	5,10±0,11	4,89±0,11	5,18±0,14	4,84±0,10*	5,10±0,11	4,89±0,11
Кератометрия передней поверхности на крутой оси, D Steep axis anterior keratometry, D	48,31±0,12	46,10±0,09	44,32±0,11	43,11±0,08	48,31±0,12	46,10±0,09
Кератометрия задней поверхности на крутой оси, D Steep axis posterior keratometry, D	-7,78±0,07	-7,88±0,06	-7,80±0,07	-7,86±0,06	-7,78±0,07	-7,88±0,06
Мин. ТР, мкм Min CT, mc	448±3,8	385,1±3,0	465,0±4,2	406,0±3,1	448±3,8	385,1±3,0
Объем роговицы, мм <sup>3</sup> Corneal Volume, mm <sup>3</sup>	56,1±0,3	56,0±0,2*	55,8±0,2	55,1±0,2*	56,1±0,3	56,0±0,2*
Асферичность (Q) Asphericity	-0,89±0,06	-0,89±0,05	-0,88±0,04	-0,89±0,04	-0,89±0,06	-0,89±0,05
Индекс прогрессирования Progression index	2,49±0,06	2,58±0,05	2,50±0,06	2,64±0,07*	2,49±0,06	2,58±0,05
Индекс дисперсии поверхности ICV	75,4±2,8	65,1±1,9*	76,5±3,3	66,4±2,5*	75,4±2,8	65,1±1,9*
Индекс вертикальной асимметрии IVA	0,82±0,07	0,68±0,05*	0,84±0,07	0,69±0,04*	0,82±0,07	0,68±0,05*
Индекс кератоконуса KI	1,19±0,01	1,11±0,01*	1,21±0,01	1,13±0,02*	1,19±0,01	1,11±0,01*
Индекс асимметрии по высоте IHA	23,8±1,2	20,1±1,1*	24,0±1,5	20,6±1,2*	23,8±1,2	20,1±1,1*
Индекс регулярности поверхности SRI	0,90±0,11	0,72±0,10*	0,98±0,10	0,75±0,11	0,90±0,11	0,72±0,10*
Индекс асимметричности поверхности SAI	2,5±0,10	2,0±0,11*	2,61±0,12	2,11±0,12*	2,5±0,10	2,0±0,11*

Примечание: \* – p<0,05 до и после TE-topoPRK.

Note: \* – p<0,05 before and after TE-topoPRK.

сом, сочетающимся с рефракционными аметропиями. Методика позволяет снизить частоту применения кератопластики, сохранив и исправив иррегулярность собственной роговицы пациента.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Andreas K, Hashemi K, Pertelli M, et al. Keratoconus treatment algorithm. *Ophthalmol Ther.* 2017;6(2): 245–262. doi: 10.1007/s40123-017-0099-1
- Алиев А-ГД, Алиев АА-Г, Магомедова А.Б. Комбинированное лечение кератоконуса. Материалы Всероссийской конференции офтальмологов с международным участием. Махачкала; 2017: 36–40. [Aliiev A-GD, Aliiev AA-G, Magomedova AB. Kombinirovannoe lechenie keratokonusa. Materialy Vserossijskoj konferencii oftal'mologov s mezhdunarodnym uchastiem. Mahachkala; 2017: 36–40. (In Russ.)]
- Першин К.Б., Гурмизов Е.П., Пашинова Н.Ф. и др. Опыт комбинированного лечения кератоконуса (фемтолазерная имплантация интрастромальных сегментов с последующим кросслинкингом роговичного коллагена) у детей. *Российская педиатрическая офтальмология.* 2017;12(4): 200–203. [Pershin KB, Gurmizov EP, Pashinova NF, et al. Experience of combined treatment of keratoconus (femtolasers implantation of intrastromal segments followed by corneal collagen crosslinking) in children. *Rossijskaja pediatričeskaja oftal'mologija.* 2017;12(4): 200–203. (In Russ.)]
- Mohammed I, Ahmed E, Ahmed T, et al. Evaluation of the Effectiveness of Cross-Linking Combined With Photorefractive Keratectomy for Treatment of Keratoconus. *Cornea.* 2018;37(9): 1143–1150. doi: 10.1097/ICO.0000000000001663
- Karmel M, Hersh PS, Lin DT, et al. Keratoconus: consider combination therapy. *EyeNet, Cornea.* 2013;10: 132–144.
- Al-Mohameed MM. Combined corneal CXL and photorefractive keratectomy for treatment of keratoconus: a review. *Int J Ophthalmol.* 2019;12(12): 1929–1938. doi: 10.18240/ijo.2019.12.16
- Arnalich-Montiel F, Alió Del Barrio JL, Alió JL. Corneal surgery in keratoconus: which type, which technique, which outcomes. *Eye Vis (Lond).* 2016;18(3): 2. doi: 10.1186/s40662-016-0033-y
- Бикбов М.М., Оренбуркина О.И., Усубов Э.Л., Нуриев И.Ф. Интраокулярная коррекция аметропии при кератоконусе. *Вестник офтальмологии.* 2020;136(5): 123–128. [Bikbov M, Orenburkina O, Usubov E, Nuriev I. Intraocular correction of ametropia in keratoconus. *Bulletin of Ophthalmology. Vestnik oftal'mologii.* 2020;136(5): 123–128. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma2020136051123
- Zhu AY, Jun AS, Soiberman U. Combined Protocols for Corneal Collagen Cross-Linking with Photorefractive Surgery for Refractive Management of Keratoconus: Update on Techniques and Review of Literature. *Ophthalmol Ther.* 2019;8(1): 15–31. doi: 10.17116/rosakush20151514-8
- Hosny M, Nour M, Azzam S, et al. Simultaneous intra tunnel cross-linking with intrastromal corneal ring segment implantation versus simultaneous epithelium-off-cross-linking with intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus management. *Clin Ophthalmol.* 2018;12: 147–152. doi: 10.2147/OPTH.S151313
- Sharma IP, Bakshi R, Chandhry M. Corneal collagen cross-linking with and without simultaneous intrastromal corneal ring segment implantation one-year pilot study. *Eur J Ophthalmol.* 2021;31(1): 61–68. doi: 10.1177/1120672119887874
- Стентон Г. Медико-биологическая статистика. М.: Практика; 1999. [Stenton AG. *Primer of Biostatistics.* M.: Praktika; 1999. (In Russ.)]
- Синицын М.В., Паштаев Н.П., Поздеева Н.А. Имплантация интрастромальных роговичных колец MyoRing при кератоконусе. *Вестник офтальмологии.* 2014;4: 123–126. [Sinitin MV, Pashayev NP, Pozdeyeva NA. Implantation of intrastromal rings Myoring in keratoconus. *Vestnik oftal'mologii.* 2014;4: 123–126. (In Russ.)]
- Efehan Couskunseven. Combined treatment for keratoconus. *Ophthalmology Times Europe.* 2011;7(6): 1045–1047.

## Информация об авторах

**Полад Магеррамов оглы Магеррамов** – д-р философии по медицине, зав. отделом хирургии и трансплантации роговицы Национального Центра Офтальмологии имени акад. Зарифы Алиевой, maharramov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7211-0343>

**Эмин Логман оглы Усубов** – к.м.н., зав. отделением хирургии роговицы и хрусталика Уфимского НИИ глазных болезней АН РБ, emines.us@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1008-1516>

## Information about the authors

**Polad M. Maharramov** – PhD, Head of department of corneal Surgery and Transplantation, National Centre of Ophthalmology named after acad. Zarifa Alyeva, Baku, Azerbaijan Republic, maharramov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7211-0343>

**Emin L. Usubov** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Corneal and Lens Surgery, Ufa Eye Research Institute, Ufa, Russian Federation, emines.us@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1008-1516>

## Вклад авторов в работу:

**П.М. Магеррамов:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Э.Л. Усубов:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, обработка данных, написание и редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

## Authors' contribution:

**P.M. Magerramov:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical processing of data, writing, editing, final approval of the version to be published.

**E.L. Usubov:** significant contribution to the concept and design of the work, statistical processing of data, writing, editing, final approval of the version to be published.

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

**Конфликт интересов:** Отсутствует.

**Financial transparency:** Authors have no financial interest in the submitted materials or methods.

**Conflict of interest:** None.