Вестник офтальмологии
2020, Т. 136, №5, с. 87-95
https://doi.org/10.17116/oftalma202013605187

Russian Annals of Ophthalmology =
Vestnik Oftal'mologii 2020, vol. 136, №5, pp. 87-95
https://doi.org/10.17116/oftalma202013605187

Коррекция роговичного астигматизма при фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты

© И.Л. КУЛИКОВА[1], Н.П. ПАШТАЕВ[1, 2, 3], Н.С. ТИМОФЕЕВА[1]

[1]Чебоксарский филиал ФГАУ «НМИЦ «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Чебоксары, Россия;
[2]ГАУ ЧР ДПО «Институт усовершенствования врачей» Минздрава Чувашии, Чебоксары, Россия;
[3]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Проведение сравнительного анализа клинико-функциональных результатов и эффективности коррекции роговичного астигматизма после фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации катаракты (ФЛЭК) с имплантацией торической интраокулярной линзой (ТИОЛ) и в сочетании с аркуатной кератотомией (ФЛ-АК).

Материал и методы. В обследование включены 60 пациентов (60 глаз). В 1-ю группу вошли 30 пациентов (30 глаз), которым при проведении ФЛЭК имплантирована ТИОЛ (AcrysofIQToric, Alcon, США); во 2-ю группу — 30 пациентов (30 глаз), которым выполнена ФЛЭК в сочетании с ФЛ-АК. Обследование проводили до операции, на 3-й день и через 3 мес после операции. Эффективность коррекции роговичного астигматизма анализировали по методу Альпинса и с помощью графического векторного анализа.

Результаты. Показатели некорригированной остроты зрения повысились до 0,70±0,24 и 0,66±0,31 в группах ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК без статистически значимой разницы между группами (p=0,03). Величина остаточного цилиндра была статистически значимо ниже в группе ФЭК с ТИОЛ (–0,77±0,58 и —0,80±0,39) по сравнению с ФЛЭК с ФЛ-АК (–1,08±0,81 и –1,18±0,63) как на 3-й день (p=0,02), так и через 3 мес после операции (p=0,02). В группе ФЛЭК с ТИОЛ достигнут более высокий поправочный индекс (0,99±0,18) и меньший вектор разницы (0,77±0,64) по сравнению с группой ФЛЭК с ФЛ-АК (0,78±0,35 и 1,05±0,76 соответственно). Роговичные аберрации высшего порядка статистически значимо различались между группами на 3-й день после операции в 3-миллиметровой (p=0,04) и 5-миллиметровой (p=0,04) зонах. Плотность эндотелиальных клеток составляла 2460,50±328,40 и 2526,125±196,74 кл/мм^2 через 3 мес наблюдения в группе ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК соответственно (p=0,61).

Заключение. Обе методики имели сопоставимые результаты по остроте зрения (p=0,03). Технология ФЛЭК с ТИОЛ обеспечила более эффективную коррекцию цилиндрического компонента рефракции до 3,0 дптр.

Ключевые слова: *астигматизм, фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты, торические интраокулярные линзы, аркуатная кератотомия.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Куликова И.Л. — https://orcid.org/0000-0001-5320-8524
Паштаев Н.П. — https://orcid.org/0000-0003-2324-8044
Тимофеева Н.С. — https://orcid.org/0000-0002-4048-4463; e-mail: nina8820@yandex.ru
Автор, ответственный за переписку: Тимофеева Н.С. — e-mail: nina8820@yandex.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Куликова И.Л., Паштаев Н.П., Тимофеева Н.С. Коррекция роговичного астигматизма при фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(5):87–95. https://doi.org/10.17116/oftalma202013605187

Correction of corneal astigmatism in femtosecond laser-assisted cataract extraction surgery

© I.L. KULIKOVA[1], N.P. PASHTAEV[1, 2, 3], N.S. TIMOFEYEVA[1]

[1]Cheboksary branch of S.N. Fyodorov National Medical Research Center «MNTK «Eye Microsurgery», Cheboksary, Russia;
[2]Postgraduate Doctors' Training Institute, Cheboksary, Russia;
[3]Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

ABSTRACT

Purpose — to perform a comparative analysis of clinical and functional results and efficiency of corneal astigmatism correction after femtosecond laser-assisted cataract surgery (FLACS) with implantation of toric intraocular lens (TIOL) and in combination with arcuate keratotomy (FL-AC).

Material and methods. The examination included 60 patients (60 eyes). The first group consisted of 30 patients (30 eyes) who underwent FLACS with implantation of TIOL (Acrysof IQ Toric, Alcon, U.S.A.); the second group consisted of 30 patients (30 eyes) who underwent FLACS in combination with FL-AC. The examination was carried out before the operation, on the 3rd day and 3 months after surgery. Corneal astigmatism correction efficiency was analyzed using the Alpins method and graphical vector analysis.

Results. Uncorrected visual acuity (UCVA) indices increased to 0.70±0.24 and 0.66±0.31 in the FLACS with TIOL and FLACS with FL-AC groups, respectively, without statistically significant differences between the groups (p=0.03). The value of the residual cylinder was significantly lower in the FLACS with TIOL group (–0.77±0.58 and –0.80±0.39) compared with FLACS with FL-AC

(–1.08±0.81 and –1.18±0.63) both on day 3 (p=0,02), and 3 months after surgery (p=0.02). In the FLACS with TIOL group, a higher correction index (0.99±0.18) and a smaller difference vector (0.77±0.64) were achieved compared to the FLACS with FL-AC group (0.78±0.35 and 1.05±0.76, respectively). Corneal higher-order aberrations (HOA) significantly differed on the 3rd day after surgery in the 3.0 mm (p=0.04) and 5.0 mm (p=0.04) zones between the groups. Endothelial cells density was 2460.50±328.40 and 2526.125±196.74 cl/mm^2 after 3 months of observation in the FLACS with TIOL and FLACS with FL-AC groups, respectively (p=0.61).

Conclusion. Both methods had comparable visual acuity results (p=0.03). FLACS with TIOL provided more effective correction of the cylindrical component of refraction to 3.0 D.

Keywords: *astigmatism, femtosecond laser-assisted cataract surgery, toric intraocular lenses, arcuate keratotomy.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Kulikova I.L. — https://orcid.org/0000-0001-5320-8524
Pachtaev N.P. — https://orcid.org/0000-0003-2324-8044
Timofeyeva N.S. — https://orcid.org/0000-0002-4048-4463; e-mail: nina8820@yandex.ru
Corresponding author: Timofeyeva N.S. — e-mail: nina8820@yandex.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Kulikova IL, Pachtaev NP, Timofeyeva NS. Correction of corneal astigmatism in femtosecond laser-assisted cataract extraction surgery. *The Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2020;136(5):87–95. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma202013605187

Одной из причин получения невысоких функциональных результатов при современных методах хирургического лечения катаракты является наличие предоперационного роговичного астигматизма. Показатели распространенности роговичного астигматизма демонстрируют высокую долю пациентов с астигматизмом до 3,0 дптр, которая, по статистическим данным, в среднем составляет около 30% [1, 2].

Существующие методы коррекции, как правило, либо направлены на изменение кривизны роговицы, либо связаны с интраокулярной коррекцией. На сегодняшний день актуальными являются комбинированные методы коррекции роговичного астигматизма, включающие имплантацию торических интраокулярных линз (ТИОЛ) в ходе хирургии катаракты или проведение факоэмульсификации катаракты в сочетании с фемтолазерной аркуатной кератотомией (ФЛ-АК) [3]. Технологические инновации в области медицины, к которым прежде всего относятся разработка и широкое применение фемтосекундного лазера, позволили усовершенствовать и довести до высокой точности основные этапы факоэмульсификации (капсулорексис, факофрагментация, роговичные разрезы), а также предупредить возможные осложнения при формировании аркуатных разрезов (перфорации, вариабельность глубины и др.), что определило перспективы и основные тенденции направления развития офтальмохирургии в целом [4].

Выбор оптимального метода коррекции во многом определяется величиной и направлением астигматизма. Несмотря на то что диапазон современных ТИОЛ позволяет корригировать астигматизм от 0,75 дптр, имплантация данного вида ИОЛ наиболее часто применяется с целью коррекции первичного астигматизма средней степени и выше, в то время как послабляющие роговичные разрезы используются для коррекции астигматизма более слабой степени, не превышающей 2,0 дптр. В литературе имеются данные об уменьшении глубины резкости при наличии астигматизма 0,75 дптр и более, а также многочисленные исследования, демонстрирующие преимущества различных методов коррекции астигматизма слабой степени в ходе хирургии катаракты в снижении величины исходного астигматизма [5]. В свою очередь, некоторые авторы заявляют об имеющейся вероятности ошибок в измерениях и расчете в случаях с имплантацией ТИОЛ низкой оптической силы [6]. Таким образом, данные методы требуют тщательного изучения и обобщения полученных результатов с целью определения выбора оптимального метода коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты.

Цель исследования — проведение сравнительного анализа клинико-функциональных результатов и эффективности коррекции роговичного астигматизма после фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации катаракты (ФЛЭК) с имплантацией ТИОЛ и в сочетании с аркуатной кератотомией.

Материал и методы

В исследование включено 60 пациентов (60 глаз) с возрастной катарактой в сочетании с роговичным астигматизмом от 1,0 до 3,0 дптр, прооперированных методом ФЛЭК. Все пациенты были разделены на две группы. В 1-ю группу вошли 30 пациентов (30 глаз), которым при проведении ФЛЭК имплантирована ТИОЛ (Acrysof IQ Toric, Alcon, США); во 2-ю группу — 30 пациентов (30 глаз), которым выполнена ФЛЭК в сочетании с ФЛ-АК. Плотность катаракты определялась согласно международной классификации LOCS III (Lens Opacity Classification System III, 1993 г.) в зависимости от градаций цвета ядра и корковой структуры хрусталика [7]. Фемтолазерный

Таблица 1. **Общая характеристика пациентов в исследуемых группах (*n*=60), *M*±σ**
Table 1. **General characteristics of study patients (*n*=60), *M*±σ**

Показатель	1-я группа — ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30)	2-я группа — ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30)
Возраст, годы	57±14	53±17
НКОЗ	0,16±0,15	0,11±0,10
КОЗ	0,48±0,15	0,23±0,19
Sph	0,72±6,36	–3,32±5,90
Cyl	–2,28±0,82	–2,35±0,75
ПЭК	2528±350,80	2586±180,50
Длина глаза, мм	23,61±2,32	25,44±2,68
Плотность катаракты (LOCS III)	2,0±0,81	1,62±0,61
ВГД, мм рт. ст.	18,56±2,10	21,06±4,75

Примечание. НКОЗ — некорригированная острота зрения, КОЗ — корригированная острота зрения, ПЭК — плотность эндотелиальных клеток, ВГД — внутриглазное давление.

этап операции осуществлялся на фемтолазерной системе LenSx (Alcon, США), этап факоэмульсификации проводился на приборе Infinity (Alcon, США). Общая характеристика пациентов в группах до операции представлена в **табл. 1**.

Проводилось обследование с использованием стандартных и специальных методов. Специальные методы исследования включали: кератотопографию (корнеальный топограф TMS-4N, Tomey, Япония; компьютерный топограф Pentacam, Oculus, Германия), пахиметрию (OCT Visante, Carl Zeiss, Германия), измерение волнового фронта (авторефкератотопограф OPD-scan, NIDEK, Япония), определение ПЭК (эндотелиальный биомикроскоп EM-3000, Tomey, Япония), определение общей преломляющей силы роговицы на основании данных прибора Pentacam (Oculus, Германия).

Расчет оптической силы ТИОЛ проводили на online-калькуляторе для торических линз Barrett Toric Calculator (http://www.acrysoftoriccalculator.com/). Оценку расположения ТИОЛ в капсульном мешке с течением времени выполняли с использованием разработанного алгоритма анализа последовательного исследования осевого положения ТИОЛ [8]. Параметры аркуатных разрезов роговицы, а именно угол раскрытия рассчитывали с помощью соответствующего online-калькулятора (www.LRIcalculator.com), глубина аркуатных разрезов во всех случаях составляла 90%, диаметр между дугообразными разрезами — 7,0 мм. Эти показатели вводились в фемтолазерную установку перед выполнением фемтолазерного этапа операции с последующей коррекцией координат расположения аркуатных дуг относительно сильной оси роговицы с использованием алгоритма учета угла циклоторсии у пациентов с астигматизмом (патент РФ № 2718860). Во всех случаях формировались парные аркуатные дугообразные разрезы, расположенные симметрично. Вскрытие разрезов осуществлялось шпателем сразу после завершения этапа факоэмульсификации катаракты.

Анализ изменения астигматизма проводили с помощью стандартного метода Alpins с использованием программного обеспечения ASSORT VectrAK, (Cheltenham, Victoria, Австралия) и графического векторного анализа [9,10]. Учитывая направленность проводимых методов коррекции на получение рефракционного результата, близкого к эмметропии, задаваемая рефракция цели была тождественна величине полной коррекции астигматизма. Рассчитывали три основных векторных параметра: целевой вектор астигматизма (TIA), индуцированный вектор астигматизма (SIA), вектор разницы (DV), указывающий на величину необходимой докоррекции астигматизма для достижения намеченного результата, а также интегральные показатели: поправочный индекс (CI), величина ошибки (ME), угол ошибки (AE) и индекс успеха (IOS), отражающий долю остаточного астигматизма в результате проведенной операции. Медикаментозное сопровождение осуществлялось в соответствии со стандартами в офтальмологии и включало инстилляции антибиотиков, мидриатиков [4]. Обследование проводилось в день выписки (3-й день после операции) и через 3 мес.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета компьютерных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Результаты проверялись на нормальность распределения по Колмогорову—Смирнову и в связи с нормальным распределением переменных анализировались с применением параметрических методов исследования с вычислением количества наблюдений (*n*), среднего значения (M) и стандартного отклонения (σ). Статистически значимым считали уровень $p<0,05$.

Результаты

Все операции прошли без осложнений и в полном объеме. Проведенная оценка расположения ТИОЛ относительно сильного меридиана роговицы в течение всего периода наблюдения выявила ротацию линзы, не превышающую 4,21±5,5° (0—20°).

В 1-й группе НКОЗ на 3-й день после операции повысилась на 0,54±0,05 (p=0,00), во 2-й группе — на 0,55±0,10 (p=0,00) без статистически значимой раз-

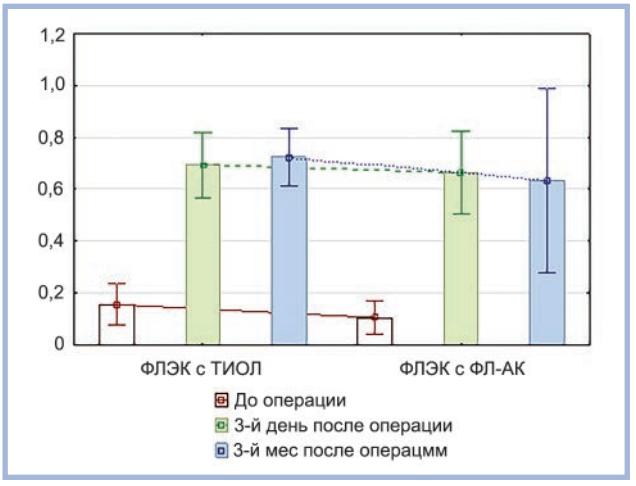


Рис. 1. **НКОЗ до операции, на 3-й день и через 3 мес после операции в группах исследования (*n*=60).**

Fig. 1. **UCVA before, on the 3rd day and 3 months after surgery in the study groups (*n*=60).**

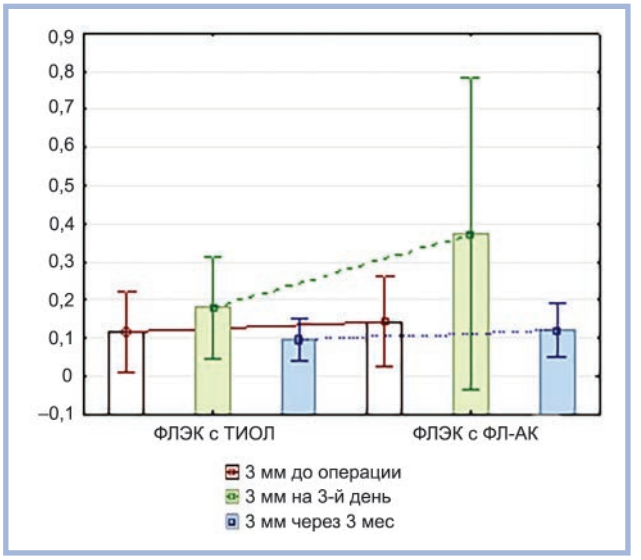


Рис. 2. **Роговичные аберрации НОА в 3-миллиметровой зоне до, на 3-й день и через 3 мес после операции в группах исследования (*n*=60).**

Fig. 2. **Corneal higher-order aberrations in the 3.0 mm zone before, on the 3rd day and 3 months after surgery in the study groups (*n*=60).**

ницы между группами (p=0,30). При исследовании через 3 мес наблюдения была выявлена тенденция к незначительному повышению показателей остроты зрения на 0,02±0,20 в 1-й группе и незначительное снижение (на 0,03±0,33) во 2-й группе, которая носила статически недостоверный характер по сравнению с ранними послеоперационными результатами (p=0,20 и p=0,29 соответственно; **рис. 1**). КОЗ в среднем в 1-й группе повысилась на 0,24±0,11, во 2-й группе — на 0,23±0,12.

Исследование аберраций высшего порядка (НОА) в раннем послеоперационном периоде выявило статистически значимое увеличение роговичных НОА во 2-й группе в 3-миллиметровой зоне в 2,4 раза (p=0,04) и в 5-миллиметровой зоне в 4 раза (p=0,04) соответственно. В группе ФЛЭК с ТИОЛ статистически значимой разницы между показателями НОА в разные сроки после операции не выявлено (p>0,05). Сравнительный анализ роговичных НОА выявил статистически значимую разницу между группами на 3-й день после операции в 3-миллиметровой (p=0,04) и 5-миллиметровой (p=0,01) зонах **(табл. 2, рис. 2)**.

Внутренние НОА до операции, на 3-й день и через 3 мес в 3-миллиметровой зоне в группе ФЛЭК с ТИОЛ составили в среднем 0,15±0,08; 0,28±0,38 и 0,07±0,04 мкм **(рис. 3)**, в группе ФЛЭК с ФЛ-АК — 0,22±0,13; 0,35±0,41 и 0,11±0,04 мкм соответственно, в 5-миллиметровой зоне: в группе ФЛЭК с ТИОЛ — 0,45±0,21; 0,89±0,75 и 0,41±0,15 и в группе с ФЛЭК с ФЛ-АК — 0,70±0,38; 2,11±4,22 и 0,41±0,21. Анализ внутренних НОА не выявил статистически значимой разницы между группами в разные сроки после операции (p>0,05). Самое большое увеличение внутренних НОА, в 3 раза, было получено в 5-миллиметровой зоне в группе ФЛЭК с ФЛ-АК (p=0,06).

Сферический компонент рефракции статистически значимо уменьшился после операции в обеих группах исследования (p=0,00; **табл. 3**).

Через 3 мес после операции средний предоперационный астигматизм, по данным рефрактометрии, статистически значимо уменьшился на

Таблица 2. **Сравнительные данные роговичных аберраций высшего порядка в исследуемых группах (*n*=60), *M*±σ**

Table 2. **Comparative data of corneal higher-order aberrations in study patients (*n*=60), *M*±σ**

Роговичные НОА	1-я группа — ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30)	2-я группа — ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30)	*p*
3-миллиметровая зона			
до операции	0,11±0,10	0,15±0,11	0,09
на 3-й день	0,18±0,13	0,37±0,41*	0,04
через 3 мес	0,09±0,05	0,12±0,07	0,17
5-миллиметровая зона			
до операции	0,41±0,21	0,56±0,49	0,08
на 3-й день	0,54±0,31	2,25±3,61*	0,01
через 3 мес	0,56±,49	0,69±0,28	0,20

Примечание. * — данные в группе статистически достоверны (p<0,05).

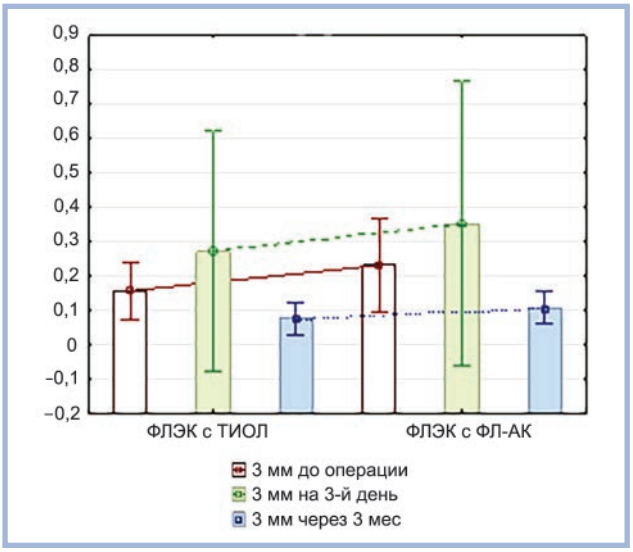


Рис. 3. **Внутренние аберрации HOA в 3-миллиметровой зоне до, на 3-й день и через 3 мес после операции в группах исследования (*n*=60).**

Fig. 3. **Internal higher-order aberrations in the 3.0 mm zone before, on the 3rd day and 3 months after surgery in the study groups (*n*=60).**

1,42±0,75 дптр в группе ФЛЭК с ТИОЛ (p=0,00) и на 1,18±0,83 дптр в группе ФЛЭК с ФЛ-АК (p=0,00; **табл. 4**). При этом изменения цилиндрического компонента рефракции между группами носили статистически значимый характер на 3-й день (p=0,02) и через 3 мес после операции (p=0,02). Цилиндрический компонент, по данным кератотопографии, в группе ФЛЭК с ФЛ-АК статистически значимо уменьшился в 2,1 раза (p=0,01). Достоверной разницы между средней дооперационной и послеоперационной кератометрией в группе с ТИОЛ в раннем послеоперационном периоде и через 3 мес не выявлено (p=0,24). В **табл. 4** приведены значения цилиндрического компонента рефракции и данные кератотопографии в группах исследования.

Прогнозируемость рефракционного эффекта по цилиндрическому компоненту рефракции представлена на **рис. 4** и **5**.

В раннем послеоперационном периоде CI при идеальной величине 1,0 составил 0,99±0,18 и 0,78±0,35 в группах с ТИОЛ и ФЛ-АК соответственно. При этом в 1-й группе 9 глаз (31,25%) имели CI, равный 1,0 и 9 глаз (31,25%) — CI более 1,0. Во 2-й группе 6 глаз (20%) имели CI, равный 1,0 и 3 глаза, превышающий 1,0. DV не выявил статистически значимой разницы между группами (p=0,27). IOS был несколько ближе к нулю в 1-й группе (0,30±0,23) по сравнению с рассчитанными данными 2-й группы (0,41±0,26). Среднее значение AE имело положительное значение после ФЛЭК с ФЛ-АК и отрицательное значение после ФЛЭК с ТИОЛ без статистически значимой разницы между группами (p=0,12; **табл. 5**).

Дополнительно проводили анализ эффективности коррекции роговичного астигматизма с использованием графического векторного анализа с диаграммой двойного угла по данным рефрактометрии [11]. По данным графического векторного анализа, центроид (средний вектор астигматизма) в послеоперационном периоде на графике имел расположение, близкое к 0°: cyl 0,21 ax 174° и 0,2 ax 162° в 1-й и 2-й группах соответственно, а эллипс вокруг него в среднем значительно уменьшился в послеоперационном периоде по сравнению с дооперационными значениями (0,87° ax 4,9° и 0,77 ax74° соответственно).

Таблица 3. **Показатели сферического компонента рефракции в исследуемых группах (*n*=60), *M*±σ, диапазон, дптр**

Table 3. **Spherical component of refraction in study patients, (*n*=60), *M*±σ, range, Diopters**

Группа исследования	До операции	На 3-й день	Через 3 мес	*p*
1-я группа — ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30)	0,72±6,36 (–13,00; 5,00)	0,28±0,9 (–1,50; 1,50)	0,13±0,76 (0,13; 0,76)	0,00
2-я группа — ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30)	–3,32±5,9 (–10,25; 6,00)	–0,39±1,05 (–1,00; –1,75)	–0,51 ±0,50 (0,00; –1,25)	0,01

Примечание. * — данные в группе статистически достоверные (p<0,05).

Таблица 4. **Показатели астигматизма в исследуемых группах (*n*=60), *M*±σ, дптр**

Table 4. **Astigmatism values in study patients (*n*=60), *M*±σ, Diopters**

Астигматизм	1-я группа — ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30)	2-я группа — ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30)	*p*
	Рефракционный:		
до операции	–2,28±0,82	–2,35±0,75	0,13
на 3-й день после операции	–0,77±0,58*	–1,08±0,81*	0,02
через 3 мес после операции	–0,80±0,39*	–1,18±0,63*	0,02
	Кератотопографический:		
до операции	–2,23±0,46	–2,18±1,05	0,24
3-й день после операции	–2, 47±0,9	–2,75±1,09*	0,60
через 3 мес после операции	–2,16±0,83	–1,02±0,53*	0,01

Примечание. * — изменения в группе статистически значимы (p<0,05).

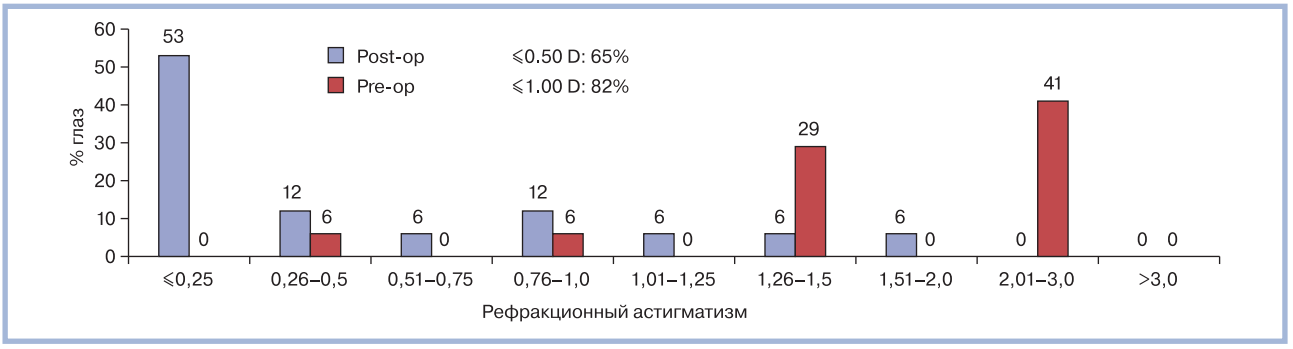


Рис. 4. **Эффективность коррекции астигматизма в группе ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30).**

Fig. 4. **Efficiency of astigmatism correction in the FLACS with TIOL group (*n*=30).**

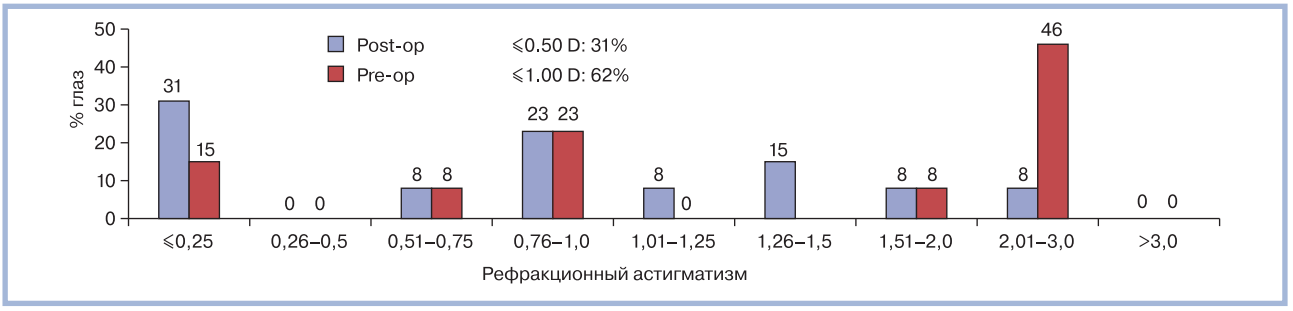


Рис. 5. **Эффективность коррекции астигматизма в группе ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30).**

Fig. 5. **Efficiency of astigmatism correction in the FLACS with FL-AC group (*n*=30).**

Таблица 5. **Векторный анализ в исследуемых группах, по данным рефрактометрии (*n*=60), *M*±σ**

Table 5. **Vector analysis of study patients by refractometry data (*n*=60), *M*±σ**

Показатель	1-я группа — ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30)		2-я группа — ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30)		*p*
TIA (целевой вектор астигматизма)	2,23±0,77		2,32±0,70		0,74
	На 3-й день	Через 3 мес	На 3-й день	Через 3 мес	
SIA (индуцированный вектор астигматизма)	2,25±0,97	2,18±0,60	1,64±0,68*	1,70±0,82*	0,06
DV (вектор разницы)	0,77±0,64	0,80±0,24	1,05±0,76	1,15±0,86	0,27
CI (поправочный индекс, 1,0) TIA/SIA	0,99±0,17	1,03±0,19	0,78±0,35	0,80±0,32	0,03
ME (величина ошибки) SIA-TIA	0,02±0,40	0,05±0,30	–0,67±0,98	–0,62±0,56	0,01
AE (угол ошибки)	–3,47±9,49	–2,55±9,49	1,69±8,22	1,73±14,0	0,12
IOS (индекс успеха, 0)	0,30±0,23	0,41±0,24	0,41±0,26	0,51±0,13	0,26

Примечание. * — изменения в группе статистически значимые ($p<0,05$).

Отмечены тенденция к слабо выраженной недокоррекции в группе с ТИОЛ и незначительная гиперкоррекция в группе с ФЛ-АК через 3 мес после операции **(рис. 6—9)**.

Показатели ПЭК в 1-й и 2-й группах статистически значимо не отличались друг от друга и составляли в среднем 2458,90±299,21 и 2508,90±181,40 кл/мм^2 (p=0,74) через 3 дня и 2460,50±328,40 и 2526,12±196,74 кл/мм^2 (p=0,61) через 3 мес после операции соответственно.

Обсуждение

Имеющиеся публикации о преимуществах и недостатках применения фемтосекундного лазера в хирургии катаракты демонстрируют отсутствие единого мнения по данной проблеме. В ряде исследований показана тенденция к меньшим значениям индуцированных аберраций высшего порядка в группе ФЛЭК по сравнению с ФЭК [12].

В настоящем исследовании анализ послеоперационной НКОЗ и КОЗ выявил тенденцию к более высоким показателям в группе ФЛЭК с ТИОЛ по сравнению с группой ФЛЭК с ФЛ-АК на 3-й день и через 3 мес после операции без статистически значимой разницы между группами (p=0,30). Средние показатели ротационной стабильности ТИОЛ в течение 3 мес после операции не превышали 4,41°, что совпадает с результатами аналогич-

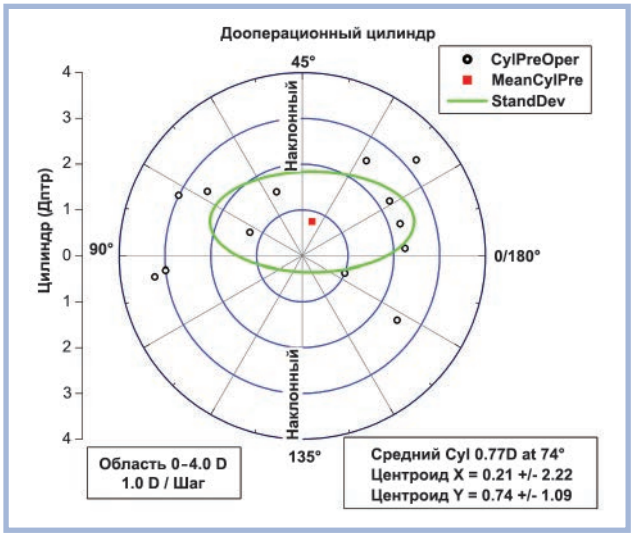


Рис. 6. **Графический векторный анализ до операции в группе ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30).**

Fig. 6. **Graphical vector analysis before surgery in the FLACS with FL-AC group (*n*=30).**

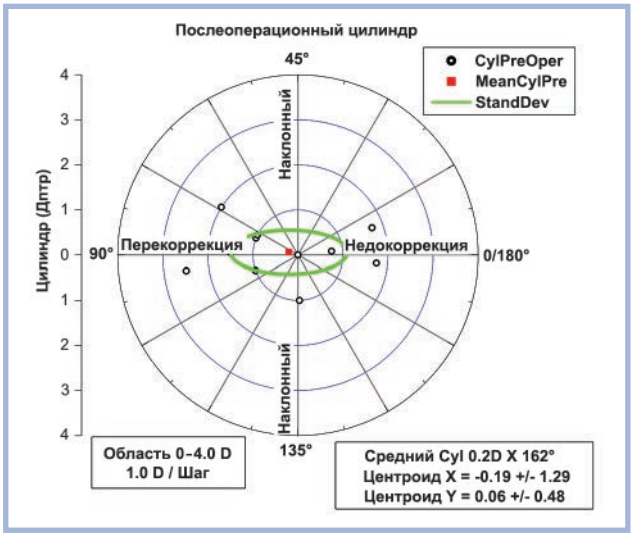


Рис. 7. **Графический векторный анализ через 3 мес после операции в группе ФЛЭК с ФЛ-АК (*n*=30).**

Fig. 7. **Graphical vector analysis 3 months after surgery in the FLACS with FL-AC group (*n*=30).**

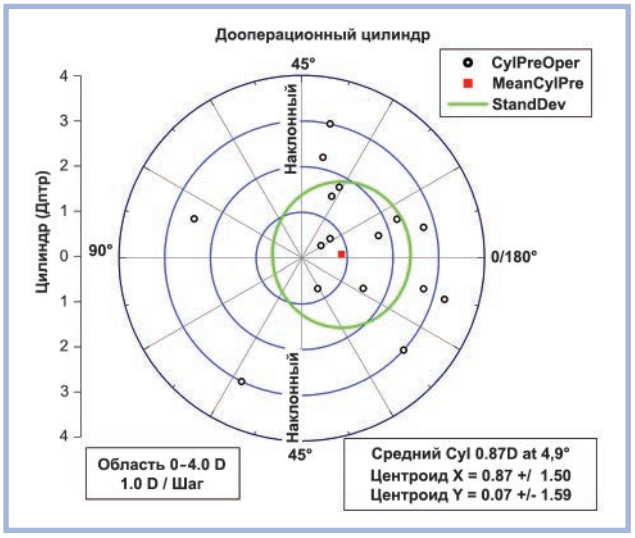


Рис. 8. **Графический векторный анализ до операции в группе ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30).**

Fig. 8. **Graphical vector analysis before surgery in the FLACS with TIOL group (*n*=30).**

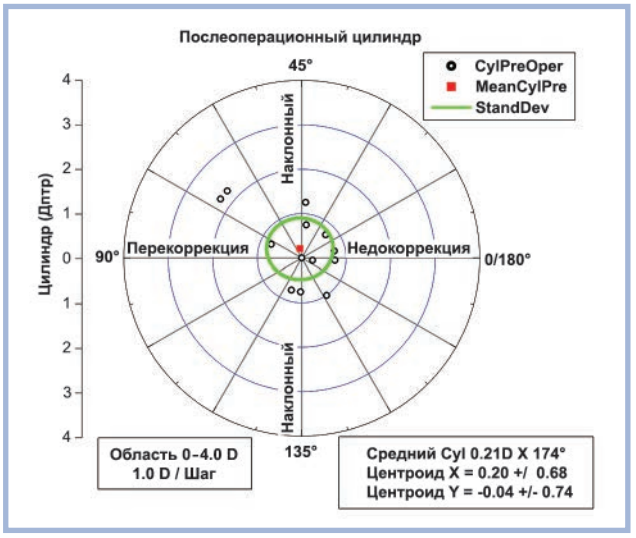


Рис. 9. **Графический векторный анализ через 3 мес после операции в группе ФЛЭК с ТИОЛ (*n*=30).**

Fig. 9. **Graphical vector analysis 3 months after surgery in the FLACS with TIOL group (*n*=30).**

ных исследований и демонстрирует высокую вращательную устойчивость данного вида ИОЛ [13, 14]. Нами были получены более высокие результаты в коррекции исходного роговичного астигматизма в группе ФЛЭК с ТИОЛ по сравнению с ФЛЭК с ФЛ-АК. При этом отмечалась стабильность полученных результатов в 1-й группе в течение 3 мес наблюдения и тенденция к уменьшению цилиндрического компонента рефракции во 2-й группе (p=0,06) через 3 мес после операции. Прогнозируемость рефракционного эффекта по цилиндрическому компоненту рефракции в группе с ТИОЛ в пределах ±0,5 дптр составила 65%, в пределах ±1,0 дптр — 82%, в группе ФЛ-АК — 31 и 62% соответственно **(см. рис. 1 и 2)**. По ранее опубликованным нами данным, предсказуемость рефракционного эффекта составила 44 и 89% в группе с ТИОЛ, 40 и 67% — в группе с ФЛ-АК в пределах ±0,5 и ±1,0 дптр соответственно [15]. В аналогичных исследованиях предсказуемость после имплантации ТИОЛ в пределах ±0,5 и ±1,0 дптр составила 67,5 и 95% [16], 32,1 и 85,7% [17]. Данные показатели несколько превышают результаты настоящего исследования, что, возможно, связано с исходно

меньшими предоперационными значениями цилиндрического компонента рефракции.

В группе ФЛЭК с ФЛ-АК на 3-й день было диагностировано увеличение средних значений роговичного астигматизма по сравнению с исходными данными с последующим снижением показателей при повторном исследовании через 3 мес после операции. Мы полагаем, это обусловлено преходящим отеком роговицы в зоне аркуатных разрезов в раннем послеоперационном периоде и является характерным для рефракционных оперативных вмешательств, проводимых на роговице, где стабилизация рефракции занимает определенное время. В целом к 3-му месяцу рефракционные данные были стабилизированы.

В литературе имеются данные о меньшей величине остаточного цилиндра в группе с ТИОЛ по сравнению с лимбальными разрезами, достигающей, по данным исследователей, 0,25 дптр, что согласуется с нашими результатами [18]. Однако стоит отметить, что эти исследования весьма малочисленны [19].

Использование векторного анализа является ключевым фактором в понимании эффективности проведенной коррекции. В данном исследовании выявлена тенденция к недокоррекции роговичного астигматизма в группе с ФЛ-АК по сравнению с ТИОЛ. В ряде публикаций после имплантации Acrysof IQ Toric T2 средняя величина остаточного цилиндра достигала 0,26 дптр, что сопоставимо с полученными нами результатами графического векторного анализа в группе ТИОЛ [20].

По данным нашего исследования, из таблицы векторного анализа видно, что в 1-й группе величина SIA фактически равна величине TIA, в то время как во 2-й группе имелась статистически значимая разница между данными показателями (p<0,05). ME и AE находились в пределах средних значений (–)3,47±9,49 и 1,69±8,22 в группе ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛ-АК соответственно. Одновременно показатели AE и DV достоверно не различались между группами (p=0,12 и p=0,24 соответственно), что может свидетельствовать о сопоставимой эффективности проводимых методов коррекции при слабой степени астигматизма. Интегральные показатели CI и IOS были более близки к заданным в группе с ТИОЛ (0,99±0,18 и 0,30±0,23) по сравнению с ФЛ-АК (0,78±0,35 и 0,41±0,26 соответственно). ME в группе ФЛ-АК составила (–)0,67±0,98, что указывает на полученную недокоррекцию по сравнению с менее незначительными показателями (0,02±0,40) в группе с ТИОЛ и соответствует величине CI.

В исследованиях других авторов результаты векторного анализа ФЛ-АК имели аналогичные показатели, характеризующиеся недокоррекцией роговичного астигматизма [14]. A.C. Day и соавт. (2016) получили меньшее значение DV, равное 0,74±0,38 дптр, однако в данное исследование были включены пациенты с меньшей величиной цилиндрического компонента рефракции (TIA=1,21±0,42 дптр) [17]. Данные векторного анализа, представленного в различных литературных источниках, отличаются вариабельностью показателей [21]. Среди вероятных причин данных разногласий — использование разных номограмм, влияние биомеханики роговицы и величина исходного астигматизма.

Результаты проведенного нами анализа НОА выявили статистически значимую разницу между группами на 3-й день операции, что во многом определяется локализацией (близостью) к оптической оси глаза и диаметром между аркуатными разрезами, равным 7,0 мм в настоящем исследовании. В опубликованных исследованиях разных авторов было определено нейтральное воздействие на роговичные аберрации после лимбальных послабляющих разрезов [22, 23] и значительное изменение волнового фронта после выполнения одного аркуатного разреза [24].

Таким образом, полученные нами результаты позволяют сделать выводы об эффективности предложенных методик при одномоментной коррекции роговичного астигматизма слабой степени в ходе ФЛЭК. При этом имплантация ТИОЛ позволяет получать более предсказуемые и стабильные клинико-функциональные результаты, сопровождающиеся статистически значимо меньшей величиной остаточного цилиндрического компонента рефракции и меньшим индуцированием аберраций высшего порядка, из чего следует заключить, что применение ФЛЭК с ФЛ-АК может быть ограничено величиной исходного астигматизма, в то время как ФЛЭК с ТИОЛ предпочтительнее при направленности рефракционного результата на эмметропию.

Заключение

Обе методики продемонстрировали сопоставимые результаты по достигаемой остроте зрения (p=0,03). Технология ФЛЭК с ТИОЛ обеспечила меньшее индуцирование аберраций высшего порядка и более эффективную коррекцию цилиндрического компонента рефракции до 3,0 дптр по данным предсказуемости рефракционного эффекта и показателям векторного анализа.

Участие авторов:
Концепция и дизайн исследования: И.К.
Сбор и обработка материала: Н.Т.
Статистическая обработка: Н.Т.
Написание текста: Н.Т.
Редактирование: И.К., Н.П.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Young G, Sulley A, Hunt C. Prevalence of astigmatism in relation to soft contact lens fitting. *Eye Contact Lens*. 2011;37(1):20-25. https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e3182048fb9
2. Ferrer-Blasco T, Monts-Mic R, Peixoto-de-Matos SC. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(1):70-75. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.09.027
3. Solomon KD, Sandoval HP, Potvin R. Correcting astigmatism at the time of cataract surgery: Toric IOLs and corneal relaxing incisions planned with an image-guidance system and intraoperative aberrometer versus manual planning and surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(5):569-575. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.12.002
4. *Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой*. Экспертный совет по проблеме хирургического лечения катаракты. М.: Издательство Офтальмология; 2015.
Federal'nye klinicheskie rekomendatsii po okazaniyu oftal'mologicheskoi pomoshchi patsientam s vozrastnoi kataraktoi. Ekspertnyi sovet po probleme khirurgicheskogo lecheniya katarakty. M.: Oftal'mologiya; 201.5 (In Russ.).
5. Zheleznyak L, Kim MJ, Mac Rae S, Yoon G. Impact of corneal aberrations on through-focus image quality of presbyopia-correcting intraocular lenses using an adaptive optics bench system. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38:1724-1733.
6. Emesz M, Dexl AK, Krall EM, Bachernegg A, Moussa S, Jell G, Grabner G, Arlt EM. Randomized controlled clinical trial to evaluate different intraocular lenses for the surgical compensation of low to moderate-to-high regular corneal astigmatism during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(12):2683-2694. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2015.07.036
7. Bencić G, Zorić-Geber M, Sarić D, Corak M, Mandić Z. Clinical importance of the lens opacities classification system III (LOCS III) in phacoemulsification. *Coll Antropol*. 2005;29(suppl 1):91-94.
8. Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Тимофеева Н.С., Куликов И.В. *Способ определения угла ротации торической интраокулярной линзы*. Патент РФ на изобретение №2695567/30.08.2018. Бюл. №21. Ссылка активна на 30.12.19.
Pashtaev NP, Kulikova IL, Timofeeva NS, Kulikov IV. *Sposob opredeleniya ugla rotatsii toricheskoi intraokulyarnoi linzy*. Patent RF na izobretenie №2695567/30.08.2018. Byul. №21. Accessed 30.12.2019. (In Russ.). https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
9. Holladay JT, Moran JR, Kezirian GM. Analysis of aggregate surgically induced refractive change, prediction error, and intraocular astigmatism. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(1):61-79. https://doi.org/10.1016/s0886-3350(00)00796-3
10. Noel Alpins AM. Astigmatism analysis by the Alpins method Article. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(1):31-49. https://doi.org/10.1016/S0886-3350(00)00798-7
11. Holladay JT, Dudeja DR, Koch DD. Evaluating and reporting astigmatism for individual and aggregate data. *J Cataract Refract Surg*. 1998;24(1):57-65. https://doi.org/10.1016/s0886-3350(98)80075-8
12. Mihältz K, Knorz MC, Alió JL, Takács AI, Kránitz K, Kovács I, Nagy ZZ. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2011;27(10):711-716. https://doi.org/10.3928/1081597X-20110913-01
13. Chua WH, Yuen LH, Chua J, Teh G, Hill WE. Matched comparison of tability-piece acrylic and plate-haptic silicone toric intraocular lenses in Asian eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(4):620-624. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.10.037
14. Holland E, Lane S, Horn JD, Ernest P, Arleo R, Miller KM. The AcrySof Toric intraocular lens in subjects with cataracts and corneal astigmatism: a randomized, subject-masked, parallel-group, 1-year study. *Ophthalmology*. 2010;117(11):2104-2111. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.033
15. Паштаев Н.П., Куликова И.Л. Тимофеева Н.С. Коррекция роговичного астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации катаракты. *Современные технологии в офтальмологии*. 2019;30(5):116-120.
Pashtaev NP, Kulikova IL, Timofeeva NS. Correction corneal astigmatism during femtolaser-assisted cataract phacoemulsification. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2019;30(5):116-120. (In Russ.) https://doi.org/10.25276/2312-4911-2019-5-116-120
16. Krall EM, Arlt EM, Hohensinn M, Moussa S, Jell G, Alió JL, Plaza-Puche AB, Bascaran L, Mendicute J, Grabner G, Dexl AK. Vector analysis of astigmatism correction after toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(4):790-799. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.07.038
17. Day AC, Stevens JD. Stability of keratometric astigmatism after non-penetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy performed during laser cataract surgery. *J Refract Surg*. 2016;32(3):152-155. https://doi.org/10.3928/1081597X-20160204-01
18. Solomon KD, Sandoval HP, Potvin R. Correcting astigmatism at the time of cataract surgery: Toric IOLs and corneal relaxing incisions planned with an image-guidance system and intraoperative aberrometer versus manual planning and surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(5):569-575. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.12.002
19. Yoo A, Yun S, Kim JY, Kim MJ, Tchah H. femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy versus Toric IOL implantation for correcting astigmatism. *J Refract Surg*. 2015;31(9):574-578. https://doi.org/10.3928/1081597X-20150820-01
20. Aujla JS, Vincent SJ, White S, Panchapakesan J. Cataract surgery in eyes with low corneal astigmatism: implantation of the acrysof IQ Toric SN6AT2 intraocular lens. *J Ophthalmic Vis Res*. 2014;9(3):324-328. https://doi.org/10.4103/2008-322X.143369
21. Chan TC, Ng AL, Cheng GP, Wang Z, Woo VC, Jhanji V. Corneal astigmatism and aberrations after combined femtosecond-assisted phacoemulsification and arcuate keratotomy: two-year results. *Am J Ophthalmol*. 2016;170:83-90. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.07.022
22. Eliwa TF, Abdellatif MK, Hamza II. Effect of limbal relaxing incisions on corneal aberrations. *J Refract Surg*. 2016;32(3):156-162. https://doi.org/10.3928/1081597X-20160121-02
23. Monaco G, Scialdone A. Long-term outcomes of limbal relaxing incisions during cataract surgery: aberrometric analysis. *Clin Ophthalmol*. 2015;9:1581-1587. https://doi.org/10.2147/OPTH.S89024
24. Chan TC, Ng AL, Cheng GP, Wang Z, Woo VC, Jhanji V. Corneal astigmatism and aberrations after combined femtosecond-assisted phacoemulsification and arcuate keratotomy: two-year results. *Am J Ophthalmol*. 2016;170:83-90. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.07.022

Поступила 13.01.2020
Received 13.01.2020
Принята к печати 06.04.2020
Accepted 06.04.2020