

**ФЕМТОСЕКУНДНАЯ АСТИГМАТИЧЕСКАЯ КЕРАТОТОМИЯ  
В КОРРЕКЦИИ РОГОВИЧНОГО АСТИГМАТИЗМА  
(обзор литературы)**

М.С. СТРОЙКО, С.В. КОСТЕНЁВ

*Федеральное государственное автономное учреждение «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. ак. Федорова С.Н.» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Бескудниковский бульвар, д. 59а, Москва, 127486, Россия*

**Аннотация.** Астигматизм является часто встречающейся аномалией рефракции глаза и распространенной причиной низкого зрения и, как следствие, неудовлетворительного качества жизни человека. Это обуславливает разработку новых эффективных, безопасных методов лечения с использованием современных технологий, направленных на улучшение прогноза и качества жизни пациентов.

Существует множество хирургических и нехирургических способов коррекции астигматизма. Но нередко возникают клинические ситуации, когда практически невозможно провести требуемую очковую или контактную коррекцию из-за их непереносимости, а из-за сильно выраженной иррегулярности поверхности роговицы и недостаточной ее толщины, выполнить эксимерлазерную рефракционную операцию невозможно. Тогда выполнение астигматической кератотомии с помощью фемтосекундной лазерной установки – наиболее эффективный и безопасный вариант коррекции.

В данной статье представлен обзор литературы, посвященный хирургическому методу лечения роговичного астигматизма, путем нанесения насечек на роговицу с помощью ФС лазера – фемтосекундная астигматическая кератотомия, эффективная и безопасная.

**Ключевые слова:** роговичный астигматизм, фемтосекундный лазер, астигматическая кератотомия, Фемто-АК.

**FEMTOSECOND ASTIGMATIC KERATOTOMY TO REDUCE CORNEAL ASTIGMATISM  
(literature report)**

M.S. STROYKO, S.V. KOSTENEV

*Intersectoral Research and Technology Complex «Eye Microsurgery» named after academician S.N. Fedorov, Beskudnikovsky Blvd., 59a, Moscow, 127486, Russia*

**Abstract.** Astigmatism is a frequent refraction anomaly and common cause of low vision and poor quality of human life. This causes the development of new effective, safe treatments using modern technologies to improve the prognosis and patients quality of life.

There are many surgical and nonsurgical methods of astigmatism correction. There are clinical cases when it is impossible to use the required correction glasses or contact lenses and, because of the high irregularities of the corneal surface or lack of its thickness, excimer laser surgery can't be performed. In such cases using of femtosecond laser assisted astigmatic keratotomy is most effective and safe method.

This article provides a literature review, concerning the surgical treatment of corneal astigmatism by applying incisions on the cornea by femtosecond laser – femtosecond astigmatic keratotomy (Femto-AK), astigmatic keratotomy by femtosecond laser in correction of corneal astigmatism is effective and safe procedure.

**Key words:** corneal astigmatism, femtosecond laser, astigmatic keratotomy, Femto-AK.

Астигматизм является часто встречающейся и распространенной патологией рефракции глаза, влекущей за собой снижение остроты зрения и уровня жизни пациента.

В литературе описаны попытки борьбы с данной патологией уже с начала второй половины XIX века. Множество работ того времени сообщает о способах коррекции роговичного астигматизма путем нанесения различных вариантов разрезов на роговицу. В 1869 году *Snellen* при экстракции катаракты выполняет роговичный разрез перпендикулярно сильному меридиану поверхности роговицы во избежание возникновения послеоперационного астигматизма.

Первое упоминание об эффективности выполнения проникающего разреза роговицы в сильном меридиане с целью коррекции индуцированного астигматизма после экстракции катаракты появляется в 1885 году *L. Schiötz*. *Bates* в 1894 году делает попытки коррекции послеоперационного астигматизма путем нанесения насечек на роговице перпендикулярно меридиану наибольшей кривизны роговицы. В 1898 г. *Lans* изучает влияние произведенных им различных ран роговицы на изменение ее кривизны. В

результате делает выводы, что астигматизм можно устранить или существенно ослабить при нанесении ран (разрезы, ожоги) с учетом слабой и сильной осей. Написано еще множество работ того времени о вариантах коррекции роговичного астигматизма путем нанесения различных вариантов разрезов на роговицу.

В 50-х гг. XX в. японский офтальмолог *T. Sato*, продолжает работы по изменению рефракции роговицы путем выполнения радиальных разрезов, разных по количеству, направлению, длине и глубине, со стороны задней поверхности роговицы (эндотелия роговицы). Иногда задние надрезы, для усиления рефракционного эффекта, дополняются передними надрезами. Были часты случаи эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы. Методика была признана неэффективной.

В период с 1970-1980 гг. многими авторами описаны результаты использования различных вариантов разрезов роговицы у пациентов с астигматизмом после экстракции катаракты или после пересадки роговицы. Авторы сходятся в одном, что основной трудностью является точность дозирования полученного эффекта. Всемирную известность операция нанесения непроникающих разрезов передней поверхности роговицы, под названием передней дозированной кератотомии, получила благодаря работам С.Н. Фёдорова и соавторов [3]. Ими был разработан алгоритм расчётов проведения радиальной кератотомии, что сделало операцию более безопасной, а результаты более спрогнозируемыми [1]. Надрезы наносились отломком лезвия бритвы, зафиксированным в держателе лезвия, под визуальным контролем. Глубина разрезов соответствовала  $\frac{3}{4}$  толщины роговицы. По истечении времени был произведен алмазный нож с микрометрической подачей лезвия, что позволило дозировать его подачу и соответственно рассчитывать глубину надреза с точностью до 10 мкм [2].

С появлением *фемтосекундного лазера* (ФС-лазер), производящего ультракороткие импульсы с затратой минимальной энергии, его начали использовать как универсальный скальпель, способный без нагрева и без повреждения окружающих тканей производить *фемтодиссекцию* (разрез) с помощью кавитационных пузырьков [18].

В 2008 году в Германии появляется первая публикация *Kiraly L.*, в которой автор сообщает о выполнении *фемтосекундной астигматической кератотомии* (Фемто-АК) с целью коррекции роговичного астигматизма [12]. В дальнейшем фемтосекундные лазерные технологии начали широко использовать с целью коррекции астигматизма разной природы и величины.

Показанием к проведению Фемто-АК является наличие у пациента роговичного астигматизма на интактной роговице [5, 23] или индуцированного астигматизма (после кератопластики [6, 7-9, 11-16, 18, 20-22, 25] или экстракции катаракты [17]).

Операцию Фемто-АК представляется возможным выполнить на фемтосекундных лазерных установках: *LenSx Laser, Inc, "Alcon", USA* (рис. 1), *Femtec, "Technolas Perfect Vision", Munich, Germany* (рис. 2), *IntraLase FS, "Abbot Medical Optics", USA* (рис. 3).



Рис. 1. *LenSx Laser, Inc ("Alcon", USA)*



*Рис. 2. Femtec (Technolas Perfect Vision, Munich, Germany)*



*Рис. 3. IntraLase FS (Abbot Medical Optics, USA)*

Операция выполняется под местной анестезией. Техника подробно описана в статьях [8, 24]. Смысл заключается в нанесении на переднюю поверхность роговицы двух симметрично расположенных насечек в виде арок в области «крутого» (сильного) меридиана с целью его уплощения и запланированного снижения цилиндрического компонента рефракции.

Важно делать акцент на значимых этапах подготовки к операции: точность определения величины астигматизма и градуса расположения сильного и слабого меридианов; нанесение разметки осей астигматизма на роговице под щелевой лампой в положении сидя с целью учета орторотационного положения глаз. Построение хирургического плана основывается на номограммах, существующих в нескольких вариациях: *Nordan, Hanna, Donnenfeld, Lindstrom* и ее модифицированная версия. В зависимости от величины астигматизма определяются параметры арок: диаметр нанесения (оптическая зона), длина (угол раскрытия). Глубина арок соответствует 85-90% толщины роговицы в зоне их нанесения. На глазах после кератопластики оптическая зона на 0,5-1,0 мм меньше диаметра трансплантата, глубина насечек соответствует в среднем 75% толщины роговицы.

Фемто-АК технически не сложна в исполнении, быстра, безболезненна. Вовремя и после операции пациент не испытывает дискомфорта. На следующий день после операции глаз пациента спокоен, роговица прозрачна, роговичный синдром отсутствует (рис. 4). Фемто-АК более предсказуемая и точная операция, чем традиционная техника, выполняемая мануально или механическим кератомом.

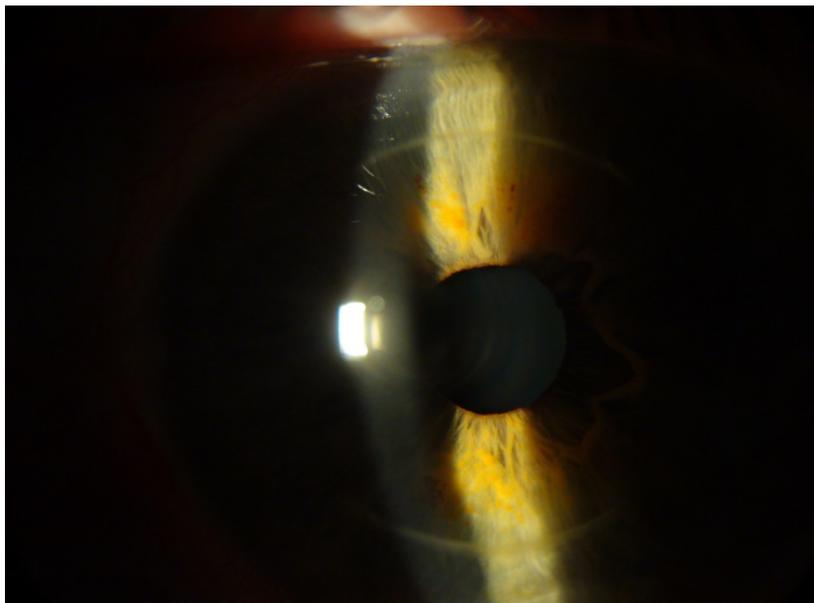


Рис. 4. Глаз пациента на следующий день после операции Фемто-АК

Фемтосекундная лазерная технология является уникальной, так как свойства фемтосекундного лазера позволяют создавать очень точные, ровные разрезы необходимой глубины, длины и расположения, что недостижимо при выполнении мануальной техники [7, 14].

Фемто-АК позволяет корректировать астигматизм с более высоким процентом точности и восстановления зрительных функций, чем мануальная техника [10, 11]. Хирург имеет возможность интраоперационно определять правильный градус расположения насечек на роговице до их нанесения, в результате чего повышается точность расположения арок и в следствие эффект операции (рис. 5а). При наличии интраоперационного контроля *оптической когерентной томографии* (ОКТ) существенно снижается риск осложнений в виде микроперфораций и перфораций роговицы (рис. 5б).

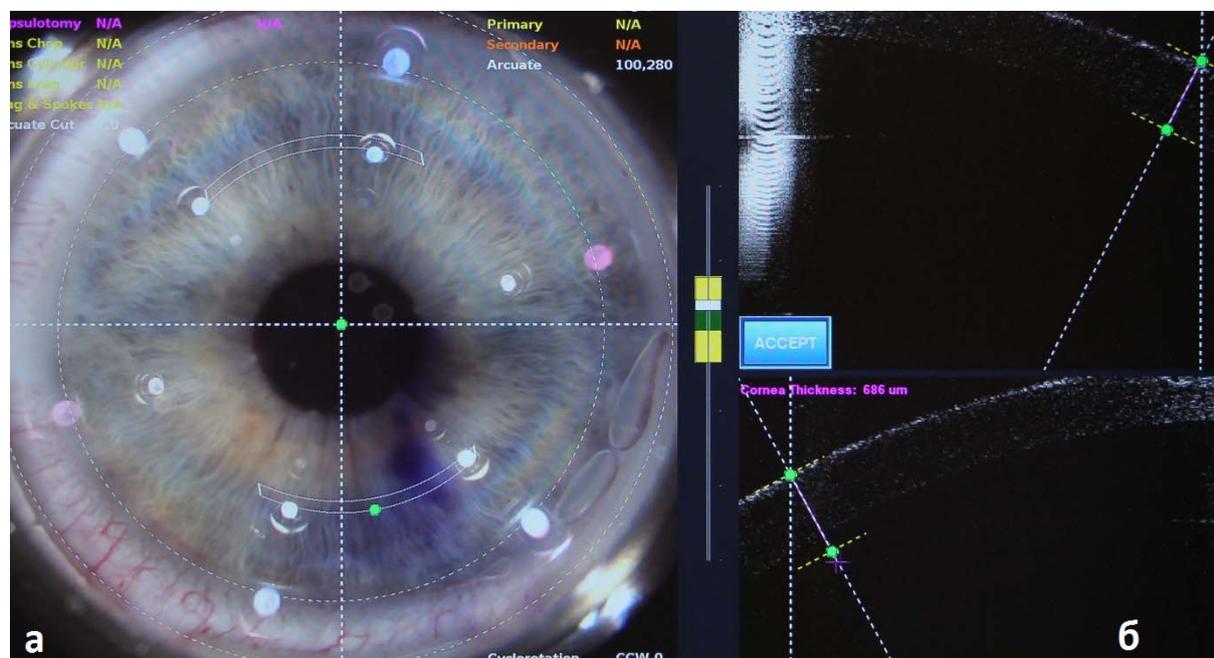


Рис. 5. Монитор лазера *LenSx Laser, Inc* ("Alcon", USA)  
а. интраоперационное определение расположения арок на роговице.  
б. интраоперационная настройка глубины арок под контролем ОКТ

Результаты, параметры операции, осложнения (обзор литературы)

Таблица 1

Ф.И.О. автора, год публикации статьи	Лазерная установка	Кол-во случаев	Величина пиллярного компонента до Фемто-АК, дптр	Величина пиллярного компонента после Фемто-АК, дптр	Параметры арок: -Диаметр оптической зоны, -Угол раскрытия (длина арок), -Угол врез, -Глубина врезок	Осложнения
<i>L.Kivri</i> 2008	<i>Femtek</i>	10 после кератопластики	6,87±2,59	2,87±2,25	78-85% - 5,0-6,0 мм	-
<i>I.Bakar</i> 2008	<i>Intalase FS</i>	40 после кератопластики (20-мануальная техника 20-Фемто-АК)	7,84±2,35	3,58±2,21	на 0,5 мм меньше диаметра трансплантата роговицы, 60° - 90°-90% 6,0-7,0 мм 60°/75° - 400 мкм	После мануальной АК в 3 случаях из 20 возникла перфорация роговицы
<i>M.Narizi-Darbek</i> 2008	<i>Intalase FS</i>	2 после кератопластики	8,5 7,00	4,90 4,30	6,5 мм 60° - 75%	-
<i>G.D.Kuzminis</i> 2009	<i>Intalase FS</i>	1 после кератопластики	4,40	0,50	на 1 мм меньше диаметра трансплантата, 40° 80°-90% 4,80-6,80 мм	-
<i>M.Nyblie</i> 2009	<i>Femtec FS</i>	12 после кератопластики	7,16±3,07	2,23±1,55	40° - 80°-90%	2 микроперфорации роговицы
<i>L. Vittoni</i> 2009	<i>Intalase FS</i>	9 после кератопластики	9,80±1,90	5,20±1,50	70° 90° 80%	-
<i>E.Levinger</i> 2009	<i>Intalase FS</i>	1 после кератопластики	5,75	2,75	8 мм 60° - 90%	-

Продолжение табл. 1

Ф.И.О. автора, год публикации статьи	Лазерная установка	Кол-во случаев	Величина цилиндрического компонента до фемто-АК, дптр	Величина цилиндрического компонента после фемто-АК, дптр	Параметры арок: -Диаметр оптической зоны, -Угол раскрытия (длина арки), -Угол вреза, -Глубина насечек	Осложнения
Sonia H. Yoo 2009	Не указано	1 после кератопластики	5,25	7,50	6,8 мм 80° 90%	Гиперкоррекция
Nikolai L. Klimov 2010	Intuitive FS	37 после кератопластики (астigmatизм >5 дптр)	7,46±2,70	4,77±3,29	на 0,5 мм меньше диаметра трансплантата, Cyl <6 дптр - длина арки 40 - 60° - 10 дптр - 65 - 75°, >10 дптр - 90° 90%	3 случая отторжения трансплантата, 9 случаев гиперкоррекции
Yu Volkov Nigmatov 2010	Intuitive FS	1 после кератопластики	11,50	5,50	6 мм 80° 73%	-
D. Koob 2011	Intuitive FS	10 после кератопластики	9,30 ± 4,10	6,50±4,20	6,0 - 7,2 мм 20° - 50° 90° 90%	-
Vadkhalin Ruvim K. 2011	Intuitive FS	2 с врожденным астигматизмом	2,25 (OD) 4,00(OS)	0,75(OS)	7,0 мм 60° (OD) 75° (OS) 90%	Перфорация роговицы
Ali Fakhilov 2015	Intuitive FS	62 после кератопластики	7,1±1,72	2,6±2,4	5,8-7,5 мм на 0,5 мм меньше трансплантата, Cyl <6 дптр - длина арки 60 - 80°, 6-10 дптр - 80 - 100°, >10 дптр - 100-120° 90%	2 случая микро-перфорации роговицы, 3 случая инфракционного кератита, 3 случая отторжения трансплантата, 1 случай эндофтальмита, 12 случаев гиперкоррекции
Omer Trivicki 2015	Intuitive FS	27 после кератопластики	-8,43±2,80	-4,31±0,23 -3,31±1,39 (1 год после фемто-АК)	6 мм - 80%	-

Продолжение табл. 1

Ф.И.О. автора, год публикации статьи	Лазерная установка	Код-во случая	Величина пиллидривеского компонента до фемто-АК, дптр	Величина пиллидривеского компонента после фемто-АК, дптр	Параметры арок: -Диаметр оптической зоны, -Угол раскрытия (длина арок), -Глубина насечек	Осложнения
Ryohki Nojima 2015	Intralase FS	6 после катарактальной хирургии	2,84±0,83	0,91±0,64	8,5 мм 80° - 70%	-
Nasser Al Sabahou 2016	Intralase FS	52 после кератопластики	7,15±1,32	5,19±2,25	на 1,1,4 мм меньше диаметра трансплантата, CUI 1,75-2,5 дптр - длина арок 50°; 2,75-3,3 дптр - 57°; 3,75-4,5 дптр - 60°; >5 дптр - 70° 75-85%	3 перфорации роговицы (один из них с зашиванием швов), 12 гиперкоррекции
Духан М. Се. Сидир 2016	Intralase FS 60 или IFS Advanced FS laser	после кератопластики	6,77±2,80	2,85±2,57	5,5-7,8 мм CUI <6 дптр - длина арок 60°; >7 дптр - 70°; >8 - 80°; >9 дптр - 90° 90%	2 отторжения трансплантата

Эффективность операции доказывает сравнительный анализ топографических карт передней поверхности роговицы до и после Фемто-АК, на которых наблюдается улучшение регулярности поверхности роговицы и нормализация значений кератометрических индексов [15].

Также, проводя сравнительный анализ величин цилиндрического компонента рефракции до и после Фемто-АК, можно сделать вывод, что данная операция является высокоэффективной и через 1-3 месяца после операции, обладает стабильным и стойким рефракционным эффектом (табл. 1).

В работе *Theresa Ruckl* доказана безопасность операции Фемто-АК. При подсчете эндотелиальных клеток до и через 6 месяцев после операции их количество не изменилось [19].

Однако, несмотря на все плюсы данной технологии, остается риск возникновения интра- и послеоперационных осложнений (табл. 1). Риск их возникновения минимален в сравнении с мануальной техникой, однако в литературе встречается описание таких осложнений как микроперфорация, характеризующаяся появлением пузырьков воздуха в передней камере [8, 18], перфорация роговицы, для которой свойственна фильтрация жидкости передней камеры [20, 23]. Описан случай перфорации роговицы с сильным зиянием раны, что впоследствии потребовало наложения швов [20].

Из послеоперационных осложнений встречается гиперкоррекция [8, 14, 20, 25]. В работе *Kumar* говорится о 24% глаз с гиперкоррекцией (9 случаев из 37), в результате чего потребовалось наложение швов на фемтодиссекционный разрез, что уменьшило гиперкоррекцию до 11%. В дальнейшем это способствовало дифференциации и выполнению разных по длине насечек в зависимости от степени астигматизма: 40 - 60° – при астигматизме до 6 дптр, от 65-75° – от 6 до 10 дптр и 90° – более 10 дптр [14]. Воспалительные изменения роговицы отмечены в работе *Ali Fadlallah* [8]: 1 из 62 случая эндофтальмита и 3 из 62 случая инфекционного кератита. У пациентов после кератопластики описаны случаи отторжения трансплантата [8, 14, 21].

**Заключение.** Авторы признают операцию Фемто-АК точным, предсказуемым, эффективным, безопасным, быстрым и простым в исполнении хирургическим методом в борьбе с роговичным астигматизмом с высоким процентом точности и улучшения зрительных функций.

Однако, в некоторых случаях требуется дополнительная рефракционная операция с целью устранения остаточных нарушений рефракции [4]. Актуальным остается вопрос разработки усовершенствованной технологии сочетанного применения различных методов эксимерлазерной коррекции аномалий рефракции после устранения основной причины низкого зрения (роговичного астигматизма) методом Фемто-АК.

## Литература

1. Костенев С.В. Современная концепция хирургии роговицы на основе использования фемтосекундного лазера: дисс. д-ра мед. наук. Москва, 2014. 56 с.
2. Федоров С.Н., Дурнев В.В., Ивашина А.И. Методика расчета эффективности передней кератотомии для хирургической коррекции близорукости. Хирургия аномалий рефракции глаза: сб. науч. тр.-М.: МНТК «Микрохирургия глаза», 1981. С. 13–18.
3. Федоров С.Н., Дурнев В.В., Широков Ю.Н. Устройство для нанесения надрезов на роговицу глаза. А. с. 959779 (СССР). Оpubл. в Б.И., 1982, №35.
4. Федоров С.Н., Ивашина А.И., Бессарабов А.Н. Математическая модель деформации роговицы при операции передней радиальной кератотомии. М., 1982. 19 с. Рук. Деп. в ВНИИМИ МЗ СССР, №4814-82.
5. Abbey A., Ide T., Kymionis GD, Yoo SH. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *Br J Ophthalmol* 2009; 93:1566-1569.
6. Bahar I., Levinger E., Kaiserman I., Sansanayudh W., Rutman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism // *Am J Ophthalmol*. 2008. № 146. P. 897–904.
7. Buzzonetty L., Petrocelli G., Laborante A., Mazzilli E., Gaspari M., Valente P. Arcuate keratotomy for high postoperative astigmatism performed with the IntraLase femtosecond laser // *J Refract Surg*. 2009. №25. P. 709–714.
8. Fadlallah Ali, Mehanna Chadi, Saragoussi Jean-Jacques, Chelala Elias, Amari Belkacem, Legeais Jean-Marc. Safety and efficacy of femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy to treat irregular astigmatism after penetrating keratoplasty // *J Cataract Refract Surg*. 2015. №41. P. 1168–1175.
9. Harissi-Dagher M., Azar DT. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism // *Can J Ophthalmol*. 2008. №43. P. 367–369.
10. Hoffard L., Proust H., Matonti F. Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy // *Am J Ophthalmol*. 2009. №147. P. 779–787. 87.e1.
11. Hurmeric Volkan, Yoo Sonia H. Femtosecond-Assisted Astigmatic Keratotomy // *J Cataract Refract Surg*. 2010. № 10. P. 30–32.

12. Kiraly L, Herrmann C., Amm M., Duncker G. Korrektur des Astigmatismus nach Hornhauttransplantation durch bogenförmige inzisionen mit dem Femtosekundenlaser [Reduction of astigmatism by arcuate incisions using the femtosecond laser after corneal transplantation] // *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2008. № 225. P. 70–74.
13. Kook D. Astigmatische Keratotomie mit dem Femtosekundenlaser. Korrektur hoher Astigmatismen nach Keratoplastik [Astigmatic keratotomy with the femtosecond laser. Correction of high astigmatism after keratoplasty] // *Ophthalmol.* 2011. № 108. P. 143–150.
14. Kumar NL, Kaiserman I, Shehaseh-Mashor R., Sansanayudh W., Rutman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on-axis vector analysis // *Ophthalmology.* 2010. № 117. P. 1228–1235.
15. Kymionis GD., Yoo SH, Ide T., Culbertson WW. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy for post-keratoplasty irregular astigmatism // *J Cataract Refract Surg.* 2009. №35. P. 11–13.
16. Levinger E., Bahar I., Rootman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for correction of astigmatism after Descemet stripping automated endothelial keratoplasty: a case report // *Cornea.* 2009. № 28. P. 1074–1076.
17. Nejima Ryohei, Terada Yukiko, Mori Yosai et al. Clinical utility of femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy after cataract surgery // *Jpn J Ophthalmol.* 2015. DOI 10.1007/s10384-015-0383-3.
18. Nubile M., Carpineto P., Lanzini M., Calienno R., Agnifili L., Ciancaglini M., Mastropasqua L. Femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of high astigmatism after keratoplasty // *Ophthalmology.* 2009. № 116. P. 1083–1092.
19. Ruckle Theresa, Dextl Alois K, Bachernegg Alexander, Reischl Veronika, Riha Wolfgang, Ruckhofer Josef, Binder Perry S., Grabner Gunter. Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism // *J Cataract Refract Surg.* 2013. №39. P. 528–538.
20. Sabaany Nasser Al, Malki Salem Al, Jindan Mohana Al, Assiri Abdullah Al, Swailem Samar Al. Femtosecond astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism // *Saudi Journal of Ophthalmology.* 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjopt.2016.04.003>.
21. St. Clair Ryan M., Sharma Anushree, Huang David et al. Development of a nomogram for femtosecond laser astigmatic keratotomy for astigmatism after keratoplasty // *J Cataract Refract Surg.* 2016. № 42. P. 556–562.
22. Trivizki Omer, Levinger Eliya, Levinger Samuel. Correction ratio and vector analysis of femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of post-mushroom profile keratoplasty astigmatism // *J Cataract Refract Surg.* 2015. № 41. P. 1973–1979.
23. Vaddavalli Pravin K., Hurmeric Volkan, Yoo Sonia H. Air bubble in anterior chamber as indicator of full-thickness incisions in femtosecond-assisted astigmatic keratotomy // *J Cataract Refract Surg.* 2011. №37. P. 1723–1725.
24. Vickers Laura A., Gupta Preeya K. Femtosecond laser-assisted keratotomy // *Curr Opin Ophthalmol.* 2016. № 27. P. 177–184.
25. Yoo H. Sonia, Kymionis George D., Ide Takeshi, Diakonis Vasilios D. Overcorrection after femtosecond-assisted astigmatic keratotomy in a post-Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty patient // *J Cataract Refract Surg.* 2009. № 35. P. 1833–1834.

### References

1. Kostenev SV. Sovremennaya kontseptsiya khirurgii rogovitsy na osnove ispol'zovaniya femtosekundnogo lazera [dissertation] [A modern concept of corneal surgery based on the use of a femtosecond laser]. Moscow (Moscow region); 2014. Russian.
2. Fedorov SN, Durnev VV, Ivashina AI. Metodika rascheta effektivnosti peredney keratotomii dlya khirurgicheskoy korrektsii blizorukosti [A technique for calculating the effectiveness of anterior keratotomy for surgical correction of myopia]. *Khirurgiya anomalii refraktsii glaza: sb. nauch. tr. Moscow: MNTK «Mikrokhirurgiya glaza»; 1981. Russian.*
3. Fedorov SN, Durnev VV, Shirokov YN. Ustroystvo dlya naneseniya nadrezov na rogovitsu glaza [Device for applying notches to the cornea of the eye]. A. s. 959779 (SSSR). Publ. v B.I., 1982, №35.
4. Fedorov SN, Ivashina AI, Bessarabov AN. Matematicheskaya model' deformatsii rogovitsy pri operatsii peredney radial'noy keratotomii [Mathematical model of corneal deformation in the operation of anterior radial keratotomy]. Moscow; 1982. Ruk. Dep. v VNIIMI MZ SSSR, №4814-82. Russian.
5. Abbey A, Ide T, Kymionis GD, Yoo SH. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism. *Br J Ophthalmol* 2009; 93:1566-9.
6. Bahar I, Levinger E, Kaiserman I, Sansanayudh W, Rutman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism. *Am J Ophthalmol.* 2008; 146:897-904.

7. Buzzonetty L, Petrocelli G, Laborante A, Mazzilli E, Gaspari M, Valente P. Arcuate keratotomy for high postoperative astigmatism performed with the IntraLase femtosecond laser. *J Refract Surg.* 2009;25:709-714.
8. Fadlallah Ali, Mehanna Chadi, Saragoussi Jean-Jacques, Chelala Elias, Amari Belkacem, Legeais Jean-Marc. Safety and efficacy of femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy to treat irregular astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Cataract Refract Surg.* 2015;41:1168-75.
9. Harissi-Dagher M, Azar DT. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Can J Ophthalmol.* 2008;43:367-9.
10. Hoffard L, Proust H, Matonti F. Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy. *Am J Ophthalmol.* 2009;147:779-87; 87.e1.
11. Hurmeric Volkan, Yoo Sonia H. Femtosecond-Assisted Astigmatic Keratotomy. *J Cataract Refract Surg.* 2010;10:30-2.
12. Kiraly L, Herrmann C, Amm M, Duncker G. Korrektur des Astigmatismus nach Hornhauttransplantation durch bogenförmige inzisionen mit dem Femtosekundenlaser [Reduction of astigmatism by arcuate incisions using the femtosecond laser after corneal transplantation]. *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2008;225:70-4.
13. Kook D. Astigmatische Keratotomie mit dem Femtosekundenlaser. Korrektur hoher Astigmatismen nach Keratoplastik [Astigmatic keratotomy with the femtosecond laser. Correction of high astigmatism after keratoplasty]. *Ophthalmol.* 2011;108:143-50.
14. Kumar NL, Kaiserman I, Shehaseh-Mashor R, Sansanayudh W, Rutman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on-axis vector analysis. *Ophthalmology.* 2010;117:1228-35.
15. Kymionis GD, Yoo SH, Ide T, Culbertson WW. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy for post-keratoplasty irregular astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35:11-3.
16. Levinger E, Bahar I, Rootman DS. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for correction of astigmatism after Descemet stripping automated endothelial keratoplasty: a case report. *Cornea.* 2009; 8:1074-6.
17. Nejima Ryohei, Terada Yukiko, Mori Yosai. Clinical utility of femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy after cataract surgery. *Jpn J Ophthalmol.* 2015. DOI 10.1007/s10384-015-0383-3.
18. Nubile M, Carpineto P, Lanzini M, Calienno R, Agnifili L, Ciancaglini M, Mastropasqua L. Femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of high astigmatism after keratoplasty. *Ophthalmology.* 2009; 116:1083-92.
19. Ruckle Theresa, Dexl Alois K Bachernegg Alexander, Reischl Veronika, Riha Wolfgang, Ruckhofer Josef, Binder Perry S., Grabner Gunter. Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39:528-38.
20. Sabaany Nasser Al, Malki Salem Al, Jindan Mohana Al, Assiri Abdullah Al, Swailem Samar Al. Femtosecond astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Saudi Journal of Ophthalmology.* 2016. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjopt.2016.04.003>.
21. St. Clair Ryan M, Sharma Anushree, Huang David. Development of a nomogram for femtosecond laser astigmatic keratotomy for astigmatism after keratoplasty. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42:556-62.
22. Trivizki Omer, Levinger Eliya, Levinger Samuel. Correction ratio and vector analysis of femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of post-mushroom profile keratoplasty astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2015;41:1973-9.
23. Vaddavalli Pravin K, Hurmeric Volkan, Yoo Sonia H. Air bubble in anterior chamber as indicator of full-thickness incisions in femtosecond-assisted astigmatic keratotomy. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37:1723-5.
24. Vickers Laura A, Gupta Preeya K. Femtosecond laser-assisted keratotomy. *Curr Opin Ophthalmol.* 2016, 27:177-84.
25. Yoo H Sonia, Kymionis George D, Ide Takeshi, Diakonis Vasilios D. Overcorrection after femtosecond-assisted astigmatic keratotomy in a post-Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty patient. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35:1833-4.

---

**Библиографическая ссылка:**

Стройко М.С., Костенёв С.В. Фемтосекундная астигматическая кератотомия в коррекции роговичного астигматизма (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №1. Публикация 8-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-1/8-4.pdf> (дата обращения: 09.03.2017). DOI: 10.12737/25096.