

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
«МИКРОХИРУРГИЯ ГЛАЗА» ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. Н. ФЕДОРОВА»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*На правах рукописи*

**Тимофеева Нина Сергеевна**

**Фемтолазер-ассистированные методы коррекции  
астигматизма в ходе хирургии катаракты**

14.01.07 – глазные болезни

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук

И.Л. Куликова

Москва-2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	14
1.1. Катаракта и астигматизм. Этиология, эпидемиология и классификация астигматизма .....	14
1.2. Астигматизм задней поверхности роговицы .....	17
1.3. Методы хирургической коррекции астигматизма .....	20
1.4. Торические интраокулярные линзы в коррекции астигматизма .....	21
1.5. Лимбальные послабляющие разрезы .....	25
1.6. Фемтосекундные технологии при хирургии катаракты .....	29
1.7. Фемтолазерная аркуатная кератотомия в ходе хирургии катаракты .....	35
1.8. Циклоторсия в коррекции астигматизма у пациентов с катарактой .....	38
1.9. Векторный анализ при астигматизме .....	39
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	42
2.1. Дизайн исследования .....	43
2.2. Общая характеристика материала исследований .....	43
2.3. Методы клинического обследования пациентов .....	49
2.3.1. Стандартные методы исследования .....	50
2.3.2. Специальные методы исследования .....	51
2.4. Векторный анализ .....	53
2.5. Анализ рефракционных результатов .....	57
2.6. Методы статистической обработки результатов .....	57
<b>ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА В ХОДЕ ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИИ КАТАРАКТЫ С ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ И ИМПЛАНТАЦИЕЙ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ</b> .....	59
3.1. Алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии .....	59

3.1.1. Номограмма для расчета параметров фемтолазерной аркуатной кератотомии.....	59
3.1.2. Метод коррекции циклоторсии при фемтолазерной аркуатной кератотомии.....	61
3.2. Метод интраоперационной маркировки при имплантации торической интраокулярной линзы в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.....	64
<b>ГЛАВА 4. КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ С ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ И ИМПЛАНТАЦИЕЙ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ В СРАВНЕНИИ СО СТАНДАРТНОЙ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИЕЙ С ТОРИЧЕСКОЙ ИОЛ.....</b>	<b>67</b>
4.1. Сравнительные клинико-функциональные исследования при коррекции астигматизма до 2,0 дптр.....	67
4.1.1. Динамика показателей остроты зрения.....	67
4.1.2. Эффективность и безопасность.....	70
4.1.3. Динамика изменений рефракционных показателей.....	72
4.1.4. Изменение роговичного астигматизма.....	76
4.1.5. Предсказуемость проводимых методов коррекции.....	77
4.1.6. Исследование волнового фронта при коррекции астигматизма.....	80
4.2. Сравнительные клинико-функциональные исследования при коррекции астигматизма более 2,0 дптр.....	86
4.2.1. Динамика показателей остроты зрения.....	87
4.2.2. Эффективность и безопасность.....	89
4.2.3. Динамика изменений рефракционных показателей.....	91
4.2.4. Изменение роговичного астигматизма.....	94
4.2.5. Предсказуемость проводимых методов коррекции.....	96
4.2.6. Исследование волнового фронта при коррекции астигматизма.....	99

4.3. Векторный анализ .....	106
4.3.1. Сравнительная оценка результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа при коррекции астигматизма до 2,0 дптр .....	106
4.3.2. Сравнительная оценка результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа при коррекции астигматизма более 2,0 дптр.....	109
<b>ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОТАЦИОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И ПОЛОЖЕНИЯ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ В ГРУППЕ С ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИЕЙ КАТАРАКТЫ И ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ....</b>	<b>115</b>
5.1. Оценка ротационной стабильности.....	115
5.1.1. Метод определения угла ротации торической ИОЛ в капсульном мешке с течением времени .....	115
5.1.2. Сравнительная оценка ротационной стабильности торической ИОЛ между группами ФЛЭК и ФЭК.....	117
5.2. Оценка положения торической ИОЛ в капсульном мешке .....	120
5.2.1. Математическое обоснование влияния децентрации и наклона на индуцирование астигматизма .....	120
5.2.2. Метод определения наклона и децентрации торической ИОЛ в капсульном мешке по данным ОКТ .....	126
5.2.3. Сравнительная оценка децентрации и наклона торической ИОЛ между группами ФЛЭК и ФЭК .....	129
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>136</b>
<b>ВЫВОДЫ .....</b>	<b>153</b>
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>155</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>157</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>158</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Катаракта – одна из наиболее распространенных причин нарушения остроты зрения в мире, на долю которой приходится около 33% слепоты (Pascolini D & Mariotti S. P., 2011; Abraham et al., 2006). Затрагивая трудоспособные слои населения (50 лет и старше), данное заболевание влечет определенные экономические и социальные последствия, что становится одной из главных статей расходов в здравоохранении развитых стран. При этом рентабельность проводимых государством мероприятий определяется эффективностью методов хирургического лечения (Resnikoff S., 2002).

В настоящее время фактоэмульсификация катаракты (ФЭК) с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) является наиболее эффективным и широкоприменяемым методом лечения катаракты (Малюгин Б. Э., 2014; Першин К. Б., 2006; Копаева, В. Г., Копаев С. Ю., 2013). Одно из крупномасштабных исследований пациентов после оперативного лечения катаракты показало, что только 4,2% глаз из 7500 обследованных не имели роговичного астигматизма, в то время как в 76,8% случаев наблюдался астигматизм от 0,25 до 1,50 дптр (Hoffer K. J., 1980). В другом исследовании, включавшем 4540 глаз 2415 пациентов, данные показатели составили 13,2 и 64,4% соответственно (Ferrer-Blasco T., 2009). В связи с этим можно сделать вывод, что оперативное лечение катаракты, должно проводиться с учетом всех сопутствующих факторов, оказывающих влияние на конечный результат.

Астигматизм является одним из вариантов аномалии рефракции глаза и рассматривается как оптический дефект, при котором лучи света формируют две фокальные плоскости с разной преломляющей силой, приводящие к расфокусировке изображения относительно фовеолярной области, что воспринимается пациентами как искажение или размытое изображение («круги

светорассеяния») (Waddell K. 2000; Elkington A. R., Frank H. J., Michael J. G., 1999).

По данным литературы, астигматизм более 1,0 дптр может достигать 48,3%, астигматизм 3,0 дптр – 7,4 %, более 4,0 дптр – 2% случаев и зависит от этнической и расовой принадлежности (Хрипун К. В., Астахов С. Ю., 2014; Mohammadi M., 2016; Копаева В. Г., 2012). Так, например, в некоторых странах Востока астигматизм отмечается у 73,7% населения. Приведенные данные демонстрируют высокую распространенность астигматизма до 3,0 дптр, что в совокупности с тенденцией увеличения его с возрастом, обусловленного анатомо-функциональными изменениями, повышает интерес к разработке инновационных технологий интраоперационной коррекции астигматизма с одновременной экстракцией катаракты.

Достижение высокого функционального результата после операции возможно при получении сферического эквивалента в пределах от  $\pm 0,5$  до  $\pm 0,75$  дптр, что предполагает проведение одномоментной или поэтапной коррекции сопутствующих аметропий (Хрипун К. В., 2012). Остаточный или индуцированный астигматизм препятствует полноценной зрительной реабилитации пациентов. По статистическим данным, после операции частота астигматизма от 1,5 дптр и более составляет 18–25%; 1,0 дптр и более – 34–48% (Hammond G. J., Sneider H., Gilbert C. E., Spector T. D., 2001; Clementi M., Angi M., Forabosco P., 1998).

Остаточный астигматизм роговицы, помимо снижения некорректированной остроты зрения, может являться причиной монокулярной диплопии, наличия бликов, астенопических жалоб и других симптомов, приводящих к общей неудовлетворенности пациента и хирурга полученным результатом операции (Waddell K., 2000).

В настоящее время с целью коррекции роговичного астигматизма применяются следующие методы: имплантация торических интраокулярных линз (ТИОЛ), послабляющие разрезы роговицы, фемтолазерная аркуатная кератотомия

(ФЛ-АК), имплантация интрастромальных роговичных сегментов и колец, метод биоптики и др.

Разработка и широкое внедрение инновационных технологий проведения ФЭК с использованием фемтосекундного сопровождения призваны повысить точность основных этапов операции (Костенев С. В., 2012; Анисимова С. Ю., 2016). Было выявлено, что выполнение капсулотомии на фемтосекундном лазере, благодаря равномерному перекрытию оптической части линзы на протяжении 360°, гарантирует эффективную позицию линзы: центральное расположение с минимальными значениями наклона и децентрации оптической части. По данным литературы, вероятность рефракционной ошибки при децентрации на 1,0 мм достигает 1,25 дптр (Sanders D. R., Higginbotham R. W., Opatowsky I. E., Confino J., 2006). Данное обстоятельство является важной мотивацией использования фемтолазерных технологий при проведении оперативного вмешательства, направленного на эметропический результат, особенно при имплантации ИОЛ премиум-класса: мультифокальных и торических.

Одномоментная коррекция астигматизма при фемтолазерассистированной экстракции катаракты (ФЛЭК) возможна посредством выполнения имплантации ТИОЛ или в сочетании с ФЛ-АК.

Имплантация ТИОЛ является общепризнанным и эффективным методом, обеспечивающим высокую прогнозируемость и стабильность полученных результатов, что подтверждено многочисленными публикациями (Visser N. N., Bauer J., Nuijts R. M., 2013; Waltz K. L., Featherstone K., Tsai L., Trentacost D., 2015; Трубилин В. Н., 2014). Применение других методов, например лимбальных послабляющих разрезов, по данным литературы, отличается сложностью технической воспроизводимости и необходимостью выработки определенных хирургических навыков, а также неоднозначной предсказуемостью, имеющей более длительный временной интервал достижения окончательного рефракционного результата, что определяется точкой воздействия на астигматическую составляющую рефракции (Miller A. D., Kris M. J., Griffiths A. C., 1997).

По данным различных источников, с помощью астигматической кератотомии можно корригировать астигматизм до 2,5–4,0 дптр (Day A. C., Lau N. M., Stevens J. D. 2016; Nanavaty M. A., Bedi K. K., Ali S. 2017, Стройко М. С., 2018). Аркуатные разрезы роговицы, создаваемые ФСЛ, отличаются прецизионной точностью соблюдения заданных параметров условий операции (длина, глубина, угол вреза, диаметр между разрезами) и, по данным рандомизированных исследований, имеют статистически значимые различия в сравнении с мануальным исполнением, что позволяет рассматривать данный метод как один из альтернативных вариантов решения проблемы коррекции сопутствующего астигматизма слабой и средней степени в ходе хирургии катаракты (Kessel L., Andresen J., Tendal B. 2016; Синицын М. В., Поздеева Н. А., 2017).

Между тем полученные высокие зрительные функции, сопровождаемые успешным рефракционным результатом, не всегда в полной мере отражают качество зрения. Одной из причин неудовлетворенности полученным качеством зрения на фоне высоких показателей остроты зрения в послеоперационном периоде может быть наличие aberrаций высшего порядка, основным проявлением которых являются световые блики, размытое изображение, плохое зрение в сумерках и др. В связи с этим все большее значение приобретает анализ и динамическое исследование изменений внутренних aberrаций глаза, определяющихся как сумма aberrаций задней поверхности роговицы, aberrаций, индуцируемых оптической линзой глаза (хрусталиком или ИОЛ) и стекловидного тела. В зарубежных источниках имеют место данные о влиянии капсулотомии, проведенной с помощью фемтолазера, на уменьшение внутренних aberrаций и улучшение оптических качеств зрения (Mihaltz K., 2011). В отечественной литературе есть немногочисленные исследования, посвященные влиянию формирования капсулорексиса на изменения волнового фронта, а именно aberrаций высших порядков после ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ (Куликов И. В., Паштаев Н. П., 2016).



Таким образом, применение ФСЛ в катарактальной хирургии позволяет технически сформировать разрез ткани с высокой точностью, обеспечивая теоретическое превосходство автоматизированного процесса в сравнении с мануальными методами формирования капсулорексиса и аркуатных разрезов роговицы. В то же время вопрос, насколько принципиальным является влияние различий в технике проведения отдельных этапов на результаты операции в целом, подлежит тщательному изучению и обобщению с целью обоснования преимуществ фемтолазерных технологий при одномоментной коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты.

### **Цель исследования**

Цель исследования – разработать алгоритм хирургической коррекции астигматизма на основе методов с имплантацией торической интраокулярной линзы и аркуатной кератотомии у пациентов в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.

### **Задачи исследования**

1. Разработать алгоритм проведения фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией, включающий номограмму для расчета параметров аркуатных разрезов роговицы с учетом циклоторсии.

2. Разработать метод интраоперационной маркировки при проведении фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы.

3. Провести сравнительную оценку клинико-функциональных результатов групп пациентов в зависимости от степени исходного астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с

имплантацией торической интраокулярной линзы и фемтолазерной аркуатной кератотомии.

4. Провести оценку коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты с применением векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа с диаграммой двойного угла.

5. Разработать метод определения ротации и положения торической интраокулярной линзы, оценить полученные результаты в зависимости от технологии проведения операции с математическим обоснованием возможности индуцирования астигматизма в соответствии с изменениями положения интраокулярной линзы на теоретической модели глаза.

### **Научная новизна**

1. Впервые доказано, что фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты является более предсказуемым и эффективным методом коррекции астигматизма более 2,0 дптр, что установлено при проведении сравнительного анализа клинико-функциональных результатов фемтолазер-ассистированных методов коррекции с имплантацией торической интраокулярной линзы и в сочетании с фемтолазерной аркуатной кератотомией со стандартной факоэмульсификацией катаракты с торической линзой с использованием векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа.

2. Впервые предложен алгоритм проведения фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с аркуатной кератотомией, включающий применение усовершенствованной номограммы расчета параметров аркуатных разрезов с учетом оптической силы задней поверхности роговицы в сочетании с методом коррекции угла циклоторсии и обеспечивающий сопоставимую предсказуемость по цилиндрическому компоненту рефракции в сравнении с имплантацией торической интраокулярной линзы вне зависимости от технологии проведения операции при коррекции астигматизма до 2,0 дптр.

3. Впервые доказано, что фемтолазерное сопровождение катаракты обеспечивает более высокую вращательную устойчивость торической линзы в капсульном мешке, что установлено на основании предложенного метода определения угла ротации через определенные временные интервалы.

4. Впервые доказано, что фемтолазерное сопровождение катаракты обеспечивает меньшие значения наклона оптической части линзы в капсульном мешке, что установлено на основе анализа положения торической интраокулярной линзы в капсульном мешке в зависимости от метода формирования капсулорексиса на приборе ОСТ Casia 2 и подтверждено математическим численным моделированием индуцирования астигматизма наклоном ИОЛ.

### **Практическая значимость**

1. Разработан алгоритм последовательного проведения фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией, включающий расчет параметров аркуатных роговичных разрезов по номограмме, учитывающей кривизну задней поверхности роговицы, с компенсацией угла циклоторсии.

2. Разработан метод интраоперационной маркировки сильного меридиана при выполнении фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы.

3. Разработан метод определения угла ротации торической интраокулярной линзы относительно меридиана с наибольшей оптической силой через различные промежутки времени.

4. Разработаны практические рекомендации к применению различных методов коррекции астигматизма при оперативном лечении катаракты в зависимости от степени астигматизма.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Разработанный алгоритм хирургической коррекции астигматизма на основе методов с имплантацией торической интраокулярной линзы и аркуатной кератотомии у пациентов в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты, заключающийся в выборе оптимального метода коррекции в зависимости от степени астигматизма, включающий проведение интраоперационной маркировки сильного меридиана при имплантации торической интраокулярной линзы и расчете параметров аркуатных разрезов по разработанной номограмме с учетом угла циклоторсии, позволяет получать сопоставимые результаты при коррекции астигматизма до 2,0 дптр вне зависимости от технологии проведения операции.

2. При астигматизме более 2,0 дптр использование фемтолазер-ассистированного сопровождения катаракты с проведением интраоперационной маркировки является предпочтительнее ввиду более прецизионного позиционирования цилиндрического компонента и высокой ротационной стабильности торической интраокулярной линзы в капсульном мешке, способствующей меньшим значениям угла ошибки и снижению индуцирования aberrаций высшего порядка.

## **Апробация работы**

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на XX всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, 18–20 октября 2018); XXI всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии катарактальной, роговичной и рефракционной хирургии» (Москва, 3–5 октября 2019); Нижегородской межрегиональной научно-практической конференции «Волжская стрелка-2019» (25 апреля 2019); региональной конференции «Новые технологии в офтальмологии», посвященной дню рождения академика С.Н.

Федорова (Чебоксары, 9 августа 2019); региональной конференции «Новые технологии в офтальмологии», посвященной дню рождения академика С.Н. Федорова (Чебоксары, 7 августа 2020); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Лазерная интраокулярная и рефракционная хирургия» (Санкт-Петербург, 13–14 декабря 2019); межрегиональная научно-практическая онлайн-конференция «Нарушения аккомодации. Диагностика и лечение» (Волгоград, 27.11.2020), еженедельной научно-клинической конференции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России с докладом «Анализ в ходе фемтолазерной хирургии каракты» (Москва, 16 октября 2020).

### Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 4– в научных журналах, рецензируемых высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации (ВАК РФ).

Получено 3 патента РФ: № 2683932 от 02.04.2019 «Способ определения положения интраокулярной линзы». Авторы: Паштаев Н. П., Тимофеева Н. С., Куликов И. В., Пикусова С. М.; № 2695567 от 24.07.2019 «Способ определения угла ротации торической интраокулярной линзы». Авторы: Паштаев Н. П., Куликова И. Л., Тимофеева Н. С., Куликов И. В.; № 2718860 «Способ коррекции роговичного астигматизма у пациентов с катарактой с учетом циклоторсии». Авторы: Паштаев Н. П., Куликова И. Л., Тимофеева Н. С.

Подано 2 заявки на изобретение: № 2020124334, заявл. 22.07.2020. «Способ коррекции роговичного астигматизма». Авторы: Куликова И. Л., Тимофеева Н. С.; № 2020127370, заявл. 17.08.2020. «Способ интраоперационной маркировки при имплантации торической интраокулярной линзы». Авторы: Куликова И. Л., Тимофеева Н. С.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Катаракта и астигматизм.

#### Этиология, эпидемиология и классификация астигматизма

Современный взгляд на хирургическое лечение катаракты определяется как малотравматичное амбулаторное вмешательство с максимально возможным анатомическим и функциональным результатом, получаемым в короткие сроки после операции. При этом одной из весомых причин в структуре заболеваемости катарактой, оказывающих влияние на итоговые показатели некорригированной остроты зрения (НКОЗ), является наличие предоперационного роговичного астигматизма.

Термин «астигматизм» впервые был введен в клиническую практику в 1869 г. профессором офтальмологии Дондерсом Францем Корнелиусом, основателем Нидерландского глазного госпиталя.

Еще в 1969 г. Радзиховский Б. Л. отнес астигматизм к одной из разновидностей рефракции глаза, характеризующейся плохим зрением вдаль и слабым вблизи и сопровождающейся явлениями астенопии, снижающими трудоспособность человека с астигматической рефракцией (Радзиховский Б. Л., Астигматизм человеческого глаза, 1969). Современные трактовки определения астигматизма характеризуют его как дефект оптической системы глаза, который приводит к неравномерной дефокусировке лучей света относительно сетчатки и является следствием определенного сочетания или различных видов клинической рефракции (Аветисов С. Э., ФГБУ «НИИГБ» РАМН, Москва, Эволюция методов диагностики астигматизма).

Основными преломляющими оптическими элементами (компонентами) глазного яблока являются роговица и хрусталик, обуславливающие вид и степень астигматизма и функционирующие как единый рефракционный комплекс [70; 17].

Роговица является главным источником астигматизма в оптической системе глаза. Оценка общей преломляющей силы роговицы должна проводиться с учетом кривизны задней поверхности, составляющей в среднем, по данным литературы, от  $-0,26$  до  $-0,78$  дптр. По данным Koch и соавт., средние показатели астигматизма задней поверхности роговицы составляют  $0,3$  дптр, что приблизительно равно  $10\%$  общей кривизны роговицы. Пренебрежение этими данными ведет к неправильной трактовке величины общего астигматизма, достигающей, по данным разных источников,  $7,4 \pm 10,3^\circ$ , и ошибкам определения сильной оси [139; 105].

Астигматизм  $0,5-0,75$  дптр рассматривается как физиологический и не требует мероприятий по его коррекции [4]. Практические рекомендации предусматривают проведение различных методов коррекции сопутствующего астигматизма при величине более  $0,75$  дптр, одномоментно или в различные сроки после хирургии катаракты [29].

Первое описание астигматизма как линзовидного преломления относится к 1801 г. и приписывается английскому ученому Thomas Young. Спустя несколько лет Airy (1827) провел исправление астигматизма с помощью цилиндрической линзы. Изобретение в 1855 г. Hermann Helmholtz офтальмометра позволило определять радиус кривизны роговицы. Ученый пришел к выводу, что она имеет не сферическую, а эллиптическую форму. В своих исследованиях Donders F. C. (1864) описал астигматизм после хирургии катаракты, а Snellen (1869) предположил, что размещение разреза на крутой оси уменьшит роговичный астигматизм [79; 70].

Несмотря на обширные исследования, точных причин развития астигматизма до сих пор не выявлено. Как варианты рассматриваются генетическая теория наследования аномалий рефракции по аутосомно-доминантному типу [96; 114], влияние окружающей среды [97; 56; 35]. Из этого следует, что в основе этиологии патогенеза лежат изменения рефрактогенеза, связанные с наследственными (первичный) и приобретенными (вторичный) факторами. Установлена тенденция к увеличению степени роговичного

астигматизма с возрастом, обусловленная анатомо-функциональными изменениями (уменьшением давления век, снижением напряжения экстраокулярных мышц, влиянием внутриглазного давления и возрастными дистрофическими изменениями роговицы).

В Европе частота распространенности астигматизма 0,5 дптр и более составляет 39,7–67,97%, более 1,0 дптр – 15,6–22,5%, более 2,0 дптр – 4,2–5,4%, более 3,0 дптр – 1,6% [182; 98; 174]. В странах Востока астигматизм более 1,0 достигает 73,7%, что может быть обусловлено расовыми особенностями.

Изменение кератотопографии роговицы может быть также следствием кераторефракционных операций или рубцовых поражений (помутнения, травмы) и сопровождаться приобретенным астигматизмом с высокой иррегулярностью, характеризующимся невозможностью или сложностью проведения очковой коррекции [43]. По данным литературных исследований, выраженный индуцированный астигматизм после радиальной кератотомии в период наблюдения до 5 лет составил 0,3–10% и был обусловлен непредсказуемым процессом рубцевания разрезов [5; 1]. Куликова И. Л. и Паштаев Н. П. (2012) при исследовании осложнений лазерной терموкератоластики установили наличие индуцированного астигматизма в 16,5% (22 глаза), дополнительное вмешательство в период наблюдения до 2–3 месяцев потребовалось в 4,5% (6 глаз) случаев и было связано с неравномерностью нанесения коагулянтов по заданной схеме и смещением оптической зоны [10]. Першин К. Б. и Пашинова Н. Ф. (2000) в ходе анализа 12500 операций LASIK выявили индуцированный и неправильный астигматизм в 0,35% случаев, в то же время ученые особо обращали внимание на зависимость процента осложнений от отягощенности анамнеза пациента (травматические рубцы роговицы, перенесенные офтальмологические вмешательства и др.) [109].

Классификация, предложенная Lyall и соавт. в 2014 г., в зависимости от величины астигматизма делит его на слабый ( $< 1,5$  дптр), умеренный ( $\geq 1,5 - < 2,5$  дптр) и значимый ( $\geq 2,5$  дптр) и широко используется в клинической практике Великобритании и других стран Европы [43].



Применяющаяся в России классификация астигматизма в соответствии с градуировкой по шкале Табо разделяет его в зависимости от расположения «сильного» и «слабого» меридиана на прямой ( $90\pm 30^\circ$ ), обратный ( $0^\circ$  и  $180\pm 30^\circ$ ), косой ( $30-50^\circ$  и  $120-150^\circ$ ).

В зависимости от силы преломления в двух главных меридианах астигматизм делится на правильный, характеризующийся равномерной рефракцией, и неправильный, имеющий различную (меняющуюся) рефракцию в пределах одного меридиана и угол, отличный от  $90^\circ$ .

По сочетанию рефракций в главных меридианах (положению фокальных линий коноида Штурма относительно сетчатки) различают 5 видов астигматизма: сложный гиперметропический, простой гиперметропический, смешанный, простой миопический, сложный миопический.

По разнице в величине и направлению главных меридианов различают астигматизм: изометропический и анизометропический.

По форме преломляющих поверхностей глаза различают астигматизм общий, роговичный, хрусталиковый, роговично-хрусталиковый, внутренний (особо выделяется некоторыми авторами) [130; 149].

По степени (величине) астигматизм определяется как разница в рефракции слабого и сильного меридианов, выражается в диоптриях (дптр) и не имеет знака.

## **1.2. Астигматизм задней поверхности роговицы**

Традиционно для оценки преломляющей силы роговицы используются методы, основанные на значениях передней кератометрии и не учитывающие торичность задней поверхности, предполагая, что разница в показателях рефракции между передней и задней поверхностями роговицы клинически незначительна [82]. В устройствах, включающих ручные и автоматические кератометры и приборы на основе Placido disk, используется стандартизированный показатель преломления роговицы (1,3375), таким образом считая фиксированное отношение кривизны передней и задней поверхностей для

измерения общей мощности роговицы. Приборы, основанные на оптической когерентной томографии, и Шеймпфлюг-камеры рассчитывают общую преломляющую силу роговицы на основе данных измерения передней и задней поверхностей. В исследовании влияния задней поверхности роговицы на общий роговичный астигматизм с использованием пяти разных приборов было показано, что расчет суммарного роговичного астигматизма только по передним измерениям роговицы приводит к завышению прямого роговичного астигматизма на 0,5–0,6 дптр, а обратного – к занижению на 0,2–0,3 дптр [64].

Впервые на заднюю поверхность роговицы обратил внимание Javal E., который в 1890 г. в своем труде «Memoires d'Ophthalmometrie» определил величину преломления задней поверхности как клинически значимую и математически охарактеризовал отношения между рефракционным и кератометрическим астигматизмом.

В 1975 г. Jaffe N. S. и Clayman H. M. впервые была проанализирована взаимосвязь хирургической техники проведения операции с рефракционными результатами. После чего оперирующие офтальмологи стали рассчитывать хирургические изменения рефракции в попытке минимизировать индуцированный астигматизм [122]. В 2012 г. Koch D. D. и соавт., изучившие 715 глаз пациентов, пришли к выводу, что недооценка влияния астигматизма задней поверхности роговицы на величину общего астигматизма приводит к чрезмерной коррекции в глазах с прямым астигматизмом и недокоррекции – с обратным [63]. В исследовании 76 глаз 69 пациентов Diana Silva и соавт. нашли статистически значимое различие между общим астигматизмом роговицы и астигматизмом передней поверхности до и после операции [167].

Современный подход к исследованию задней поверхности роговицы включает использование изображений Пуркинье и изображений, полученных Шеймпфлюг-камерой. Анализатор Scheimpflug использует закон Снелла для расчета преломляющей силы роговицы, предполагающий, что преломление параллельных лучей происходит при прохождении как через переднюю, так и

заднюю поверхность роговицы, тем самым обосновывая значимость учета задней поверхности в оценке общей преломляющей способности роговицы [178].

Имеют место исследования, определяющие одной из причин непредвиденных рефракционных исходов операций по коррекции роговичного астигматизма методом имплантации ТИОЛ пренебрежение данными задней поверхности роговицы. Установлено, что задняя поверхность роговицы индуцирует в среднем 0,3 дптр (от -0,26 до -0,78 дптр) астигматизма и в большинстве случаев соответствует обратному направлению (96,1%). При этом только 9% глаз имеют астигматизм более 0,5 дптр [63; 181].

Выявлена тенденция к изменению роговичного астигматизма с возрастом с вертикального на горизонтальный, в то время как задний астигматизм остается стабильным, что может указывать на частичную компенсацию передней поверхности роговицы задней поверхностью у молодых людей и быть недооцененной у пожилых. Расчет измерения передней поверхности роговицы выявил в среднем заниженные данные на 0,22 дптр по горизонтальной оси и завышенные на 0,5 дптр по вертикальной оси.

В 2013 г. Koch D. D. предложил новую номограмму для расчета ТИОЛ с учетом кривизны задней поверхности и изменения ее влияния с возрастом на суммарный роговичный астигматизм, что предполагало недокоррекцию для прямого астигматизма от 0,5 до 0,6 дптр и гиперкоррекцию для обратного на 0,2–0,3 дптр (Baylor Toric IOL Nomogram) [64].

Таким образом, вычисление точной величины роговичного астигматизма на дооперационном этапе с учетом всех сопутствующих факторов (возраст, сила преломления главного меридиана, величина и направленность астигматизма задней поверхности) имеет определяющее значение для выбора метода хирургического вмешательства, направленного на запланированный рефракционный результат.

### 1.3. Методы хирургической коррекции астигматизма

Коррекция астигматизма возможна с помощью оптических (очковая и контактная коррекция) и хирургических методов.

Хирургические способы коррекции: кераторефракционные операции (ФемтоЛАЗИК, ФРК), основной роговичный доступ, астигматическая кератотомия на ФСЛ, лимбальные и роговичные послабляющие разрезы, ТИОЛ, имплантация колец MyoRing и интрастромальных сегментов, метод биоптики и др.

Размещение основного хирургического доступа по оси сильного меридиана – наиболее доступный и часто используемый метод, направленный на уплощение сильной оси в зоне инцизии. Данный способ имеет ограничения, связанные с низкой эффективностью (до 1,0–1,5 дптр) и иногда сложностью выполнения хирургического вмешательства через определенно заданный разрез.

В последние годы все большую распространенность получает метод интрастромальной имплантации колец MyoRing, изначально разработанный для хирургической коррекции миопии, сочетающейся с астигматизмом, и приобретающий все большую актуальность при лечении кератоконуса. Имплантация колец MyoRing осуществляется по общепринятой или оптимизированной методике путем формирования интрастромального кармана микрокератомом Rocket Maker или ФСЛ [19]. В настоящее время к показаниям для имплантации колец MyoRing относятся средняя и высокая степень миопии с астигматизмом до 4,0 дптр. Преимущество данного метода – его обратимость с удалением кольца в различные сроки после операции [20]. Альтернативным подходом к коррекции астигматизма также является имплантация интрастромальных роговичных сегментов. Мороз З. И. и Калинин Ю. Ю. (2013) применили данную методику у трех пациентов с астигматизмом высокой степени с кератопластикой в анамнезе, добившись повышения визуальных показателей до 0,5–0,7 [28].

Биоптический метод коррекции астигматизма у пациентов с катарактой, предложенный Zaldivar в 1999 г., позволяет проводить коррекцию не только исходно высокой степени астигматизма (выше 5,0 D), но и исправлять ошибки расчета оптической силы ИОЛ, а также является одним из возможных вариантов коррекции иррегулярного посттравматического астигматизма при проведении ФЭК. Поэтапность оперативного вмешательства, а именно расчет ИОЛ на миопию после 2-го этапа, дает пациенту возможность выбора рефракционного результата, что исключено при других методах коррекции [11].

Нередко при оперативном лечении катаракты пациенты бывают неудовлетворены полученной остротой зрения, связанной с «непопаданием» расчетной точности ИОЛ в запланированную рефракцию. Существует несколько способов исправления ситуации: имплантация добавочной ИОЛ (методика piggyback IOL), в том числе с цилиндрической оптикой; имплантация ИОЛ Sulcoflex с фиксацией в цилиарной борозде (SulcoflexToric); замена ИОЛ на торическую. Повторное хирургическое вмешательство вне зависимости от сроков операции, каким бы продуманным и обоснованным оно ни было, всегда сопровождается определенным риском получения осложнений: повреждение и разрыв капсулы хрусталика, развитие эндофтальмита, свойственные для piggyback осложнения и др. Кераторефракционные подходы к коррекции псевдофакической аметропии (ФемтоЛАЗИК, ФРК и др), особенно астигматизма, в представлении «полостного хирурга» обладают большей прогнозируемостью при исправлении рефракционного результата. Сопутствующими моментами являются дополнительные материальные расходы, возможность проведения коррекции через 3–6 мес., что не всегда соответствует требованиям пациентов [15].

#### **1.4. Торические интраокулярные линзы в коррекции астигматизма**

Первые ТИОЛ разработанные в 1992 г. Shimizu et al. были выполнены из полиметилметакрилата и предназначались для имплантации через разрез 5,7 мм [165].

Многочисленные исследования и опубликованные систематические обзоры достаточно аргументировали эффективность коррекции роговичного астигматизма при имплантации ТИОЛ в сравнении с имплантацией асферической ИОЛ [176]. Имплантация ТИОЛ при проведении хирургии катаракты у пациентов с астигматизмом позволяет одноэтапно, без усложнения хирургической процедуры, проводить коррекцию сопутствующего астигматизма, обеспечивая высокий прогнозируемый функциональный результат, отличающийся стабильностью в течение продолжительного времени [24].

В настоящее время ведущие фирмы-производители ИОЛ предлагают широкий выбор моделей различного дизайна (асферичные, мультифокальные), при этом торические ИОЛ представлены практически во всех линейках модельного ряда ИОЛ [7]. ТИОЛ Acrysof IQ Toric (Алкон, США) позволяют корригировать астигматизм до 4,0 дптр (AcrySof Toric IQ SN6AT3-T9), ТИОЛ Acri. LISA toric & Acri comfort – корригировать астигматизм до 12,0 дптр.

Показанием к имплантации ТИОЛ является наличие регулярного роговичного астигматизма от 0,75 дптр до степеней, ограниченных силой цилиндрического компонента ИОЛ. Коррекция слабой степени астигматизма величиной до 1,0 дптр выявила значительно более высокие функциональные результаты при имплантации ТИОЛ по сравнению с имплантацией сферической ИОЛ [169]. Однако примерно 6–16% пациентов, по данным статистики, имеют остаточный астигматизм более 1,0 дптр, что сопровождается снижением показателей некорригированной остроты зрения (НКОЗ) [186; 53].

Практикующими хирургами широко используется рефракционная замена хрусталика у пациентов с астигматизмом при невозможности проведения кераторефракционных методов коррекции, чаще применяющихся у людей молодого трудоспособного возраста и ведущих к потере аккомодации.

Считается, что 0,5 дптр астигматизма примерно эквивалентно 0,25 дптр сферической ошибки, снижающей НКОЗ примерно на одну строку logMAR [138]. В литературе имеют место данные об уменьшении глубины резкости при наличии астигматизма 0,75 и более, а также данные, демонстрирующие преимущества

различных методов коррекции астигматизма слабой степени в ходе хирургии катаракты в снижении величины исходного астигматизма [110]. Отмечено улучшение остроты зрения на 2 строчки по шкале LogMAR при среднем значении послеоперационного цилиндра 0,54 дптр при коррекции астигматизма слабой степени после имплантации ТИОЛ [80]. В свою очередь некоторые авторы заявляют об имеющейся вероятности ошибок в измерениях и расчетах в случаях с имплантацией ТИОЛ с низкой оптической силой [153], а также важности учета хирургически индуцированного астигматизма, значение и направление которого становится клинически значимым при коррекции астигматизма величиной 1,0 дптр [80].

Осложнения при имплантации ТИОЛ идентичны осложнениям полостной хирургии и включают воспалительные и инфекционные осложнения, связанные с внедрением инфекционного агента извне (экзогенно) или распространяющиеся с током крови (эндогенно); интраоперационные осложнения, включающие разрыв капсулы хрусталика, выпадение стекловидного тела, отслойку сетчатки и прочие, а также осложнения, связанные с позиционированием ТИОЛ в капсульном мешке (дислокация, внекапсулярная фиксация), и отдаленные осложнения (развитие вторичной катаракты и фимоза капсульного мешка) [132; 26].

Основным условием успешно проведенной операции с имплантацией ТИОЛ является точное позиционирование ИОЛ относительно сильного меридиана роговицы, сочетающееся с ротационной стабильностью ТИОЛ. Каждый градус рассогласования заданной и фактической оси ведет к потере 3,3% эффекта цилиндрической коррекции, 15° – к снижению эффекта наполовину, 30° и более – к потере эффекта ТИОЛ, появлению индуцированного астигматизма. Среди основных патогенетических факторов снижения функциональных результатов после проведенной коррекции ТИОЛ является фиброзирование капсульного мешка, сопровождающееся поворотом линзы, которое, как правило, осуществляется в течение первых трех месяцев после операции [74; 160; 171]. При ретроспективной оценке 6431 глаза с имплантированными ТИОЛ повторное вмешательство с целью репозиции проводилось в 0,653% случаев, в результате

средний угол ротации уменьшился с  $32,9 \pm 15,7^\circ$  до  $8,8 \pm 9,7^\circ$  [111]. Исследование 72 глаз после имплантации ТИОЛ Tecnis выявило, что около 60% ротаций произошло в первый час после операции с последующим минимальным вращением в течение 1 недели [116]. В связи с этим называются наиболее вероятные причины ротации: остатки вискоэластика в капсульном мешке, влияние материала и конструкции линзы на ротацию ТИОЛ, связанное с несоответствием размера капсульного мешка, а также особенности анатомического строения глаза – увеличение поперечного размера (толщины) хрусталика, глубины передней камеры и другие [172; 186; 60]. Анализ зависимости ротационной нестабильности от материала ИОЛ выявил различие в адгезивных свойствах, по которым гидрофобные акриловые линзы превосходят гидрофильные и силиконовые [39]. Исследования взаимодействия материала ИОЛ с капсульным мешком *in vitro* выявили важную роль белков, в частности фибронектина и витронектина, в поддержании адгезивных механизмов прикрепления ИОЛ к капсульному мешку [34].

Установлена меньшая вращательная способность ТИОЛ при формировании дозированного капсулорексиса [6]. Отмечена существенная ротация на глазах после проведенной ранее витрэктомии, достигающая, по данным литературы, 9%, что может объясняться слабостью связочного аппарата хрусталика после проведенного вмешательства и неравномерным распределением сил, обеспечивших напряженность капсульного мешка вокруг имплантированной линзы. Также проведенные исследования выявили, что ТИОЛ с рассчитанной более низкой оптической силой цилиндрического компонента обеспечивают меньшее значение резидуального (индуцированного) астигматизма в случае ротации ТИОЛ на  $5^\circ$  и более в сравнении с ТИОЛ, рассчитанными на более высокую оптическую силу цилиндра, и являются более предпочтительными при имплантации в глаза, имеющие повышенный риск ротации ИОЛ [194].

Исследования ротации ТИОЛ за последние два десятилетия приведены в Таблице 1. Как видно из таблицы, результаты большинства исследований



выявили угол ротации, не превышающий  $5^\circ$ . Исследования отечественных авторов представлены в Таблице 2.

На сегодняшний день предложены различные методы повышения ротационной стабильности ТИОЛ: использование имплантации капсульного кольца с выступами для ограничения вращения ИОЛ, проведение заднего капсулорексиса в ходе операции с целью снижения вероятности формирования фиброза капсульного мешка, методика ущемления оптической части линзы в сформированном капсулорексисе [179; 14]. Исследование ротации ТИОЛ у 42 пациентов, прооперированных по методу ущемления ИОЛ в сформированном капсулорексисе, выявило средний угол поворота  $0,8 \pm 1,20^\circ$  за 12 мес., по сравнению с традиционным способом имплантации ТИОЛ в капсульный мешок –  $2,2 \pm 2,0^\circ$ . При этом положительный результат данных методов ограничивается высокой вероятностью повреждения капсулы хрусталика, ведущего к развитию интраоперационных осложнений различной степени тяжести [25].

### **1.5. Лимбальные послабляющие разрезы**

Лимбальные послабляющие разрезы роговицы (LRI) – метод снижения степени астигматизма, суть которого заключается в индуцировании уплощения роговицы в результате уменьшения ее преломляющей способности путем формирования одного или двух разрезов, расположенных вдоль сильного меридиана. Стандартным параметром является расположение разрезов на 0,5 мм от лимба на глубину  $\sim 600$  мкм. При проведении LRI имеет место низкий риск развития нерегулярного астигматизма [141].

Таблица 1 – Исследования ротации ТИОЛ по данным зарубежных авторов

ТИОЛ	Кол-во глаз	Срок исследования	Метод анализа	Ротация, °	Угол ротации, °
AcrySof Toric SN60T3 (Weinand et al., 2007)	17	6 мес.	Image analysis	0,1–1,8°	> 5°– 0%
Acrysof toric (Kim et al., 2010)	30	13,3±5,0 мес.	ImageJ software	3,45±3,39°	3,3% > 10,3° 96,7 < 10°
Acrylic toric IOL (Watanabe et al., 2012)	29	1 мес.	Anterior segment optical coherence tomography	3,2±2,4°	< 5°–72,4%
Arysof Toric IOL (Shah et al., 2012)	168	1 день, 1 нед., 1, 3, 6 мес.	Retroillumination images and purpose-designed software	1,6±0,5	6 мес. 0,61% < 0,5 66,7% = 1,1– 2,0°, 15,9%>2,1°
Bi-Flex toric IOL (Bachernegg et al., 2013)	30	1 день, 1 нед., 1, 3 мес.	Retroillumination images	2,12±3,45	от 2 до 5°
Tecnis toric IOL Randomised control study (Waltz et al., 2014)	102	1 день, 1 нед., 1, 3 мес.	Retroillumination photographs	≥5–7,1% 1–3 мес.	≥5 –5,9% 3–6 мес.
Tecnis toric IOL, Arysof Toric IOL Trulign® Toric IOL, Staar Toric IOL (Rick Potvin et al., 2016)	8 229	2 года 3 мес.			≥5 °– 0,89%
Tecnis Toric 1-Piece (Ursula Hahn et al., 2019)	188	3 мес.	Программное обеспечение (Johnson & Johnson Vision)	1,787 ° С CTR 1,722 ° Всего 1,737 °	≤5° без внутрикапсульного кольца (ВКК) – 89% С ВКК – 91%
AT-TORBI Acrysof IQ Toric (Seth S. A., 2018)	42	3 мес.	Retroillumination images	AT TORBI 3,52±3,84 ° Acrysof IQ Toric 2,05±2,56 °	AT TORBI ≤5°–76,1%; ≤10°–95,2% Acrysof IQ Toric ≤5°–95,2%; ≤10°–0%

Таблица 2 – Исследования отечественных авторов

ТИОЛ	Кол-во глаз	Сроки исследования	Метод анализа	Ротация, °	Угол поворота	Автор
AcrySof IQ Toric (Алкон, США)	35	6 мес.	Снимки глаза на щелевой лампе, с последующим определением угла ротации с помощью программы Photoshop	$3,6 \pm 2,8^\circ$		Шухаев С.В. и соавт. (2019)
Torica-aAY (Human Optics)	34			$3,9 \pm 2,5^\circ$		
AcrySof IQ Toric (Алкон, США)	50		Цифровое фотографирование в проходящем свете с обработкой полученной фотографии ИОЛ с помощью программы ImageJ	$2,2 \pm 2,0$	1 – 5° в 31 глазе (62,0%), от 6 до 10° – 3 глаза (6,0%)	Федяшев Г.А. (2015)
AcrySof® IQ ReSTOR® Toric	22	1–3 мес.		$5 - 7^\circ$		Беликова Е.И. (2011)
AcrySof IQ Toric (Алкон, США)	50	1 мес.		$2 - 4^\circ$		Шилова Т.Ю., Анисимова С.Ю. (2009)

В 1869 г. Snellen, выполняя операцию по поводу катаракты, предположил, что размещение разреза на крутой оси способствует уменьшению роговичного астигматизма. Впервые перфорирующий лимбальный разрез выполнил в 1885 г. норвежский офтальмолог Schiøtz L. (Schiøtz L., 1885). В 1894 г. Bates отметил, что хирургические или травматические периферические рубцы, расположенные под углом  $90^\circ$ , способны выравнять роговицу в меридиане, пересекающем рубец. В последующие годы в изучение данного вопроса последовательно внесли свой вклад Faber (1895) и Lucciola (1896). Lans изучил и описал принципы астигматической коррекции (1898).

В 1939 г. японский офтальмолог Sato T. в своем труде по изучению кератоконуса "The treatment of conical cornea: Incision of Descemet's membrane" изложил теорию влияния разрывов десцеметовой мембраны на изменение кривизны роговицы, тем самым заложив основные представления о возможности воздействия на сильный меридиан роговицы с целью его уплощения [162]. Он использовал радиальные разрезы на задней поверхности роговицы для коррекции миопии слабой степени (до 2,0 дптр) и сочетал их с передними радиальными разрезами при большей степени миопии. Несмотря на то, что первичные результаты носили обнадеживающий характер, разрезы десцеметовой мембраны в конечном счете послужили причиной дистрофии роговицы, развившейся, по историческим данным, примерно через 20 лет после операции.

Данную идею развил в 1970-х гг. отечественный ученый С. Н. Федоров, разработавший формулу с несколькими переменными для расчета прогнозируемого результата на основе рефракционных данных и предложивший методику передней дозированной кератотомии, получившей широкое применение во всем мире. При этом радиальная кератотомия с целью коррекции сложного миопического астигматизма могла сочетаться с поперечными разрезами. В то же время было определено, что дугообразные разрезы эффективнее, чем прямые поперечные, так как имеют большую длину (примерно на 10%), вызывая равномерное уплощение роговицы и, как следствие, большую преломляющую

способность [129; 46]. Данный принцип заложен в алгоритм расчета параметров операции LRI.

В 1995 г. Price F. W. и соавт. использовали математическую модель, определившую размер оптической зоны, длину разрезов и возраст как наиболее значимые факторы достижения эффективной коррекции астигматизма методом LRI [43].

В настоящее время в мировой практике астигматические разрезы роговицы применяются с целью коррекции астигматизма слабой и средней степени (по данным литературы, до 4,0 дптр), а также в комбинации с другими способами коррекции, включающими кераторефракционную хирургию, имплантацию монофокальной или ТИОЛ [30; 148]. Потенциальным преимуществом данного метода коррекции является периферическое расположение разрезов и сохранение центральной оптической зоны роговицы, что способствует менее выраженным явлениям дискомфорта в послеоперационном периоде и индуцированию меньших значений aberrаций высшего порядка. Однако предсказуемость, долгосрочная стабильность и диапазон возможной коррекции с точки зрения величины корригируемого астигматизма могут носить ограниченный характер. Так, исследование Hussain M. и соавт. 50 глаз после LRI выявило уменьшение роговичного астигматизма с  $1,78 \pm 0,81$  до  $0,73 \pm 0,71$ , при этом авторами сделаны выводы о тенденции к недокоррекции астигматизма данным методом [108]. В исследованиях Carvalho M. J. и соавт. было выявлено статистически значимое уменьшение астигматизма с  $1,93 \pm 0,58$  до  $1,02 \pm 0,60$  через 6 месяцев после операции [127].

### **1.6. Фемтосекундные технологии при хирургии катаракты**

Развитие фемтолазерных технологий, способных осуществлять бесконтактную абляцию ткани в режиме автоматизированного контроля, обладающего более стабильными характеристиками технологического процесса, сподвигло в 1994 г. Kurtz R. M. к использованию ФСЛ в офтальмологии.

Фемтосекундная лазерная энергия, поглощаясь биологической структурой, приводит к образованию плазмы, состоящей из свободных электронов и ионизированных молекул, способных быстро расширяться, создавая кавитационные пузырьки, рассекающие ткань на микроскопическом уровне. Процесс конвертации лазерной энергии в механическую без термического повреждения известен как photodisruption (фоторазрушение) [93].

Основная концепция применения ФСЛ в хирургии катаракты заключается в возможности бесконтактно осуществлять базовые этапы операции, включающие капсулорексис, факофрагментацию и роговичные разрезы при длине волны 1053 нм [12]. Первая операция с применением ФСЛ была выполнена в 2008 г. профессором университета Semmelweis Zoltan Nagy (Будапешт, Венгрия) [142; 115]. В настоящее время доступны пять фемтосекундных лазерных платформ для сопровождения хирургии катаракты: LenSx (Alcon, США), Catalys (AMO, США), LensAR (Lensar, США), Victus (Bausch & Lomb, Германия), Femto LDV (Ziemer, Швейцария) [8].

Капсулорексис является одним из важнейших этапов операции. Капсулорексис, выполненный ФСЛ, отличается точно заданными параметрами текущей операции – формой и диаметром, характеризующимися высокой степенью циркулярности, в отличие от мануальной техники (например, пинцетной) [1, 2]. Равномерное покрытие оптической части ИОЛ на 0,5–1,0 мм способствует симметричному распределению сил при сокращении капсулы хрусталика, что является основным фактором центрального и стабильного расположения ИОЛ в капсульном мешке с течением времени и сопровождается в 95,8% получением запланированного рефракционного результата [23]. Filkorn T. и соавт. была выявлена значительно меньшая средняя абсолютная ошибка сферического эквивалента рефракции в группе с ФЛЭК в сравнении с группой стандартной факоэмульсификации, при этом наибольшая разница была зафиксирована в гиперметропических и миопических глазах [58]. Показатели остроты зрения носили сопоставимый характер в исследуемых группах, однако

отмечался меньший период стабилизации рефракционных результатов в группе ФЛЭК [55; 61; 117].

Положение ИОЛ в капсульном мешке, оцениваемое с позиции децентрации и наклона, также является предметом обсуждения среди исследователей. При этом, как правило, подразумевается оценка положения (центрация) оптической части линзы по отношению к оптической оси глаза [16].

Капсулорексис с диаметром, превышающим диаметр оптической части линзы, за счет фиброза задней капсулы хрусталика приводит к смещению ИОЛ кпереди и, как следствие, миопическому сдвигу рефракции. При этом оптическая часть линзы не прилегает плотно к задней капсуле хрусталика, что повышает вероятность развития вторичной катаракты. Капсулорексис, выполненный асимметрично или частично перекрывающий оптику линзы, является причиной смещения ИОЛ в капсульном мешке за счет неравномерного сокращения капсулы хрусталика. Установлено влияние диаметра капсулорексиса на эффективную позицию линзы, глубину передней камеры и фиброзирование передней капсулы хрусталика, ведущего к гиперметропическому сдвигу [47; 71; 173]. Было рассчитано, что изменение глубины передней камеры на 720 мкм приводит к рефракционной погрешности в 1,0 дптр [101].

В последнее десятилетие несколько клинических исследований были посвящены изучению децентрации и наклона ИОЛ в капсульном мешке с помощью Scheimpflug Imaging (Nidek) EAS-1000, Oculus Pentacam и устройств визуализации Purkinje (Таблица 3) [100; 120; 192]. Так, в исследовании Vaumeister М. и соавт. было сообщено о среднем значении наклона, равного  $2,9^\circ$ , и децентрации, не превышающей 0,2–0,3 мм, расцененных как клинически незначимые в связи с их ограниченным влиянием на качественные характеристики зрения [44]. Вместе с тем теоретический эффект децентрации оптической части на 1 мм выявил индуцирование aberrаций высшего порядка – кома, а наклон индуцировал дополнительный нежелательный рефракционный астигматизм [189]. Таким образом, был сделан вывод, что минимизация децентрации и наклона ИОЛ необходима для получения максимальной

визуальной производительности. В исследованиях Nishi Y. и соавт. (2010) было доказано влияние даже незначительного наклона асферической ИОЛ на снижение способности нейтрализовать сферические aberrации и остроту зрения [157]. Hayashi K. исследовал корреляцию между децентрацией, наклоном и остротой зрения и выявил значительную корреляцию между остротой зрения и степенью децентрации (0,9 мм) и отсутствие корреляции между наклоном и остротой зрения [68]. Даже при современной хирургии катаракты иногда сообщается о наклоне более  $10^\circ$  и децентрации более 1 мм примерно у 10% пациентов с псевдофакией [36]. При этом в литературе особо отмечается влияние сопутствующей патологии на величину наклона ИОЛ (сахарный диабет, псевдоэкзофалиативный синдром, пигментный ретинит и др.) [121].

В связи с изучением положения ИОЛ в капсульном мешке исследовался вопрос о возможном влиянии экстракапсулярного расположения ИОЛ на децентрацию и наклон. В исследованиях Thomas S. и соавт. были выявлены превышающие средние значения показатели децентрации и наклона, которые составили для горизонтального и вертикального наклона  $7,68 \pm 5,16^\circ$  и  $3,01 \pm 2,44^\circ$ , для горизонтальной и вертикальной децентрации  $0,4 \pm 0,33$  и  $0,31 \pm 0,21$  мм соответственно. Данные показатели определили имплантацию ИОЛ в капсульный мешок как наиболее оптимальную [163].

Проведенные теоретические расчеты на модели глазного яблока выявили увеличение aberrаций высших порядков по мере нарастания степени децентрации и наклона ИОЛ. По данным литературы, капсулорексис, сформированный ФСЛ, обеспечивает меньшее индуцирование aberrаций высшего порядка, в частности внутренних aberrаций [78; 9; 117].

Таким образом, положение ИОЛ в капсульном мешке является одним из определяющих факторов получения запланированного визуального результата, так как дислокация, наклон и ротационная нестабильность могут привести к незапланированным рефракционным исходам и неудовлетворенности пациента полученными качественными характеристиками зрения, что приобретает особую актуальность при имплантации ИОЛ премиум-класса, в том числе торических.



Ранние исследования децентрации и наклона отличались использованием методов фотофиксации при определении положения ИОЛ и составляли в среднем  $0,28 \pm 0,10$  и  $0,29 \pm 0,025$  мм для децентрации и  $2,95 \pm 3,51$  и  $3,09 \pm 3,27$  для наклона [123]. Опубликованные данные исследований наклона и децентрации ИОЛ AcrySof (Alcon) приведены в Таблице 3.

В настоящее время предложены расчеты, позволяющие прогнозировать послеоперационный наклон ИОЛ по величине наклона хрусталика в предоперационном периоде. Данный метод реализован в приборе SS-OCT (IOLMaster 700) и основан на принципе оптической когерентной томографии с swept-source [151]. В исследовании Weikert M. P., направленном на изучение индуцированного наклоном асферической ИОЛ и ТИОЛ астигматизма от  $1$  до  $10^\circ$  с использованием модели трассировки лучей, было установлено, что горизонтальный наклон ИОЛ вокруг вертикальной оси является фактором, индуцирующим астигматизм, а наклон ТИОЛ, в зависимости от направленности сильного меридиана, может либо увеличивать, либо снижать оптическую силу ортогональной оси, вызывая гипер- или гипокоррекцию. В связи с этим изучение и учет влияния позиции ИОЛ в капсульном мешке может быть полезным при проведении расчетов при плановой коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты с целью повышения рефракционной точности и качества получаемого изображения у данной категории пациентов [190].

Одним из преимуществ использования фемтолазерного сопровождения катаракты является значительное уменьшение (сокращение) затрат ультразвуковой энергии за счет предварительно проведенной факофрагментации, что существенно снижает эффективное время факоэмульсификации, затраченную кумулятивную рассеянную энергию [140; 57] и, как следствие, потерю эндотелиальных клеток (ПЭК), делая ФЛЭК незаменимой при предоперационно низком значении ПЭК.

Таблица 3 – Клинические исследования по децентрации и наклону ИОЛ

ИОЛ	Кол-во глаз (n)	Метод измерения	Ось ориентации	Средняя абсолютная децентрация, мм	Средний абсолютный горизонтальный наклон, °	Авторы
Acrylic Soft IOL	78	Scheimpflug	Зрачок	$0,31 \pm 0,15$	$2,71 \pm 1,84$	К. Hayashi (1997)
AcrySof MA60BM (Alcon)	25	Scheimpflug	Зрачковая	$0,33 \pm 0,19$	$2,69 \pm 0,87$	Kim (2001)
AcrySof MA30BA (Alcon)	40	Scheimpflug	Зрачок	$0,30 \pm 0,17$	$3,43 \pm 1,55$	Taketani (2004)
AcrySof MA60BM (Alcon)	28	Scheimpflug	Оптическая ось	$0,24 \pm 0,10$	$2,32 \pm 1,41$	Baumeister (2005)
Sensar AR40e Tecnis Z9000	21	Scheimpflug	Оптическая ось	$0,19 \pm 0,12$ мм для сферической ИОЛ $0,27 \pm 0,16$ для асферической ИОЛ	$2,89 \pm 1,46^\circ$ для сферической ИОЛ $2,85 \pm 1,36^\circ$ для асферической ИОЛ	Baumeister M и соавт (2009)
AcrySof SA30AL (Alcon)	45	Purkinje	Зрачок	$0,34 \pm 0,08$	$2,70 \pm 0,55$	Mutlu (2005)
AcrySof MA30BA (Alcon)	43			$0,39 \pm 0,13$	$2,72 \pm 0,84$	
	16	Purkinje	Зрачок	$0,25 \pm 0,28$	$0,87 \pm 2,16$	Rosales (2006)
	21	Purkinje	Зрачок	$0,34 \pm 0,19$	$2,34 \pm 0,97$	de Castro (2007)
		Scheimpflug	Зрачок	$0,23 \pm 0,19$	$1,59 \pm 0,82$	

. По данным исследований, применение фемтолазерного сопровождения снижает потерю эндотелиальных клеток на 31% и носит статистически значимый характер через 3 недели после операции, но теряет статистическую достоверность через 6 месяцев [32]. При этом данные по объему используемой жидкости (BSS), времени, затраченному на проведение факоэмульсификации и аспирации, по сведениям некоторых авторов, могут превышать в группе ФЛЭК [145].

Особого внимания заслуживают пациенты с исходно более слабым связочным аппаратом хрусталика, осложняющим проведение операции: подвывих хрусталика, связанный с псевдоэкзофиативным синдромом, травматическая катаракта и другие. Предварительное проведение автоматизированного капсулорексиса и факофрагментации избавляет связки от дополнительного фактора механического воздействия и возможного чрезмерного давления на переднюю капсулу хрусталика по сравнению с мануальной техникой, способствуя деликатному сохранению оставшегося связочного аппарата и профилактике возможных осложнений [20].

### **1.7. Фемтолазерная аркуатная кератотомия в ходе хирургии катаракты**

Астигматическая кератотомия (АК) является простым и доступным методом коррекции роговичного астигматизма. Однако понадобилось время для принятия данного метода хирургами за рубежом. В России АК не получила широкого распространения в связи со сложностью техники мануальной воспроизводимости точных параметров АК и, как следствие, с непредсказуемыми исходами и осложнениями [134; 112].

Первые клинические результаты ФЛ-АК на посткератопластических глазах были представлены Kiraly L., Harissi-Dagher M. и Azar D. T. в 2008 г. Так, Kiraly L. формировал роговичные разрезы фемтосекундным лазером Femtec (длина волны 1052 нм) на 10 глазах с астигматизмом 4,0 дптр и более. Dagher M. и Azar D. T. проводили коррекцию на 2 глазах с астигматизмом 8,5 и 7,0 дптр. Авторами была отмечена безопасность данного метода, а также преимущество возможности

осуществления контроля глубины и расположения аркуатных разрезов, позволяющее избежать интраоперационных осложнений [154; 103].

Многочисленные публикации эффективности ФЛ-АК в последующие годы в подавляющем большинстве были посвящены эффективности коррекции астигматизма на глазах после кератопластики, проводившейся с целью уменьшения величины исходного роговичного астигматизма, что позволило бы пациенту применение очковой коррекции [107; 87]. Для пациентов после ФЭК с ИОЛ рекомендовано применение данного метода при коррекции астигматизма, не превышающего 1,5 дптр [49]. Рассмотрена эффективность данного метода при нерегулярном астигматизме и недостаточной толщине роговицы для проведения кераторефракционного вмешательства как варианта поэтапного хирургического лечения [21; 148].

Сравнительные исследования ФЛ-АК и LRI показали эффективность проводимого оперативного вмешательства с целью уменьшения величины цилиндрического компонента рефракции, однако ФЛ-АК выявила больший индуцированный вектор астигматизма (SIA), который составил 73% целевого вектора астигматизма (TIA) в отличие от 48% LRI [156]. Формирование аркуатных разрезов ФСЛ, по данным разных авторов, превосходит мануальный метод в результатах НКОЗ и КОЗ, однако без статистически значимой разницы между группами [119]. При этом эффективность коррекции астигматизма при хирургии катаракты методом ФЛ-АК в пределах  $\leq 0,5$  достигала 32,1%,  $\leq 1,0$  – 85,7%,  $\geq 1,0$  – 14,3% [72].

Авторы отмечают зависимость результативности АК от трех основных факторов: длины дуги, величины глубины разреза и диаметра между разрезами относительно оптического центра роговицы [118; 133]. В исследовательских работах доказано наличие корреляции между рефракционным эффектом – длиной разреза и диаметром между разрезами [21]. В зависимости от комбинации данных параметров применяются различные виды номограмм, доступные on-line и опубликованные в открытых источниках. Наиболее используемые номограммы – это номограмма Линдстрема и номограмма Ханна [102; 83]. Abbey A. и соавт.

сообщили об использовании модифицированной версии номограммы Линдстрема для ФЛ-АК на ФСЛ. Астигматизм снизился с  $-3,50 / +5,25 \times 89$  до операции до  $-1,75 / +2,75 \times 90$  после операции в правом глазу и с  $-3,50 / +5,25 \times 83$  до  $-1,75 / +2,25 \times 85$  в левом глазу [92]. Костеневым В. С. и Стройко М. С. разработана усовершенствованная сочетанная технология с применением модифицированной номограммы для анатомически тонких роговиц [22].

Имеет значение угол вреза при проведении послабляющих разрезов, в основном составляющий  $90^\circ$ , за исключением исследований, проведенных Cleary С. и соавт. и Rüdckl Т. и соавт., в которых использовались  $135^\circ$  и  $60^\circ$  соответственно [45; 94].

В литературе имеют место единичные сообщения о микроперфорациях, развившихся при ФЛ-АК, инфекционном кератите (4,8%), развитии инфильтрата на месте роговичного разреза, отторжении трансплантата, а также об одном случае эндофтальмита (2,2–4,8%) [88; 86; 161; 75; 40].

Одной из первых публикаций, посвященных сравнительному анализу ФЛ-АК и LRI, осуществленных мануально при проведении ФЭК, является работа Harry W. Roberts и соавт., в которой группа ФЛ-АК достигла более высокого индекса коррекции и меньшего вектора разности с меньшими значениями послеоперационного цилиндра [155]. Было выявлено, что разрезы, сделанные ФСЛ, в меньшей степени влияют на изменение топографии роговицы и индуцируют меньшее количество aberrаций высшего порядка в сравнении с мануальной техникой исполнения [131; 146; 38; 175].

Yoo Aeri и соавт. (2015), анализируя 48 глаз (23 глаза ФЛЭК с ТИОЛ и 25 глаз ФЛЭК с ФЛ-АК), определили, что средний рефракционный астигматизм уменьшился с  $1,71 \pm 0,15$  до  $0,78 \pm 1,06$  дптр в группе с ФЛ-АК и с  $1,67 \pm 0,13$  до  $0,83 \pm 0,09$  дптр в группе ФЛЭК с ТИОЛ без статистически значимой разницы между группами. Отмечено снижение величины астигматизма в группе ФЛ-АК в течение 5 месяцев после операции без существенных изменений в группе ТИОЛ. Векторный анализ имел статистически значимую разницу по величине угла ошибки между группами ( $p=0,05$ ) [1].

## **1.8. Циклоторсия в коррекции астигматизма у пациентов с катарактой**

Циклоторсия – вращательное движение глазного яблока вокруг сагиттальной оси при перемене положения тела из вертикального в горизонтальное, которое характеризуется углом циклоторсии. По данным литературы, угол циклоторсии может варьировать от 0 до 19° [193]. При этом основным фактором, определяющим эффективность коррекции астигматизма, является точность проведения запланированной хирургической процедуры соответственно сильному меридиану, что подразумевает проведение дооперационной разметки с целью предупреждения эффекта циклоторсии.

При имплантации ТИОЛ наиболее часто используются стандартные методы проведения разметки сильного меридиана в предоперационном периоде, включающие применение различных видов разметчиков, позволяющих маркировать горизонтальный меридиан в положении пациента сидя. Основным недостатком данных методов является недолгий период существования разметки на поверхности глазного яблока, зависящей от способности вымываться под воздействием слезы. При этом правильно выполненная маркировка сводит к минимуму интраоперационные ошибки, относящиеся к циклоторсии. В связи с этим разработка методов, позволяющих создавать долгосрочные анатомические ориентиры для интраоперационного сопоставления цилиндрических меток ТИОЛ с фактической осью астигматизма, и контроль ротации в послеоперационном периоде являются особенно актуальными.

Высокой точностью обладают современные навигационные системы, входящие в состав диагностических и хирургических модулей (Verion, Alcon, CALLISTO, Carl Zeiss, TrueGuide, TrueVision 3D).

Имеются публикации, оценивающие влияние циклоторсии на рефракционные исходы во время операции по удалению лентикулы при применении технологии SMILE и предлагающие различные способы ее компенсации [65; 119].

Имеют место исследования, подтверждающие наличие клинически значимой циклоторсии у пациентов в ходе ФЛЭК, оказывающей влияние на результаты коррекции астигматизма [69]. Предложены различные способы учета угла циклоторсии у пациентов при проведении ФЛ-АК [192].

### 1.9. Векторный анализ при астигматизме

Анализ эффективности любого оперативного вмешательства, направленного на коррекцию астигматизма, должен включать не только изменение величины цилиндрического компонента, но и погрешность в выравнивании оси коррекции, которая, как правило, имеет прямое влияние на величину полученного цилиндра (астигматизма). В связи с этим коррекция астигматизма должна оцениваться с применением векторного анализа.

Основой для векторного анализа является теория, первоначально описанная Stokes. Впоследствии Naylor E. J. предложил использовать ее для хирургически индуцированного астигматизма [143]. Данный принцип основан на теории сложения и вычитания векторов (Рисунок 1). Предполагается, что теоретический сфероцилиндр и хирургически индуцированный астигматизм (ХИА) «скрещиваются» с предоперационной рефракцией, в итоге получая послеоперационный рефракционный результат. Таким образом, векторный анализ является математическим методом вычисления отношения между исходным и результирующим цилиндрами.

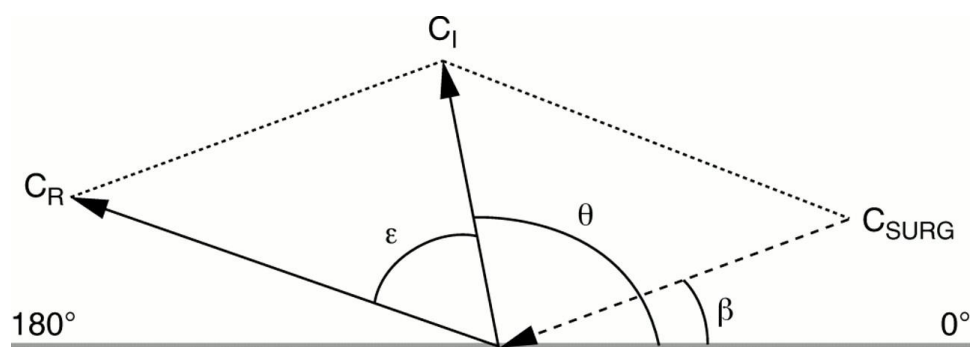


Рисунок 1 – Диаграмма, демонстрирующая принцип сложения векторов

Математический расчет ХИА впервые был произведен в 1849 г. Jaffe, и Clayman 126 лет спустя применили данный метод для анализа взаимосвязи между хирургической техникой катаракты и рефракционным результатом [170].

Любое смещение оси будет иметь свой собственный эффект величины, пропорциональный величине цилиндрической силы, создаваемой проведением хирургического вмешательства. Было выявлено, что поворот корректирующего цилиндра величиной  $-1,0$  дптр относительно намеченной оси на  $10^\circ$  приводит к рефракционной ошибке  $+0,17 / -0,35 \times 140^\circ$ . Тот факт, что компоненты преломления не являются независимыми друг от друга, затрудняет анализ изменения цилиндрического компонента рефракции.

Alpins N. также ввел концепцию «целевого индуцированного астигматизма» (ТИА), подчеркнув представление о запланированном астигматическом исходе как о неотъемлемой части современной катарактальной и рефракционной хирургии.

Таким образом, исходя из полученных в результате анализа материала многочисленных литературных источников сведений можно заключить, что прогресс современных методов оперативного лечения катаракты, связанный с развитием фемтолазерных технологий, позволяющих автоматизировать базовые этапы операции, в совокупности с появлением ИОЛ, отличающихся совершенным дизайном и заданной функциональностью, помимо короткого периода реабилитации и улучшения качественных и количественных характеристик полученного зрения, привел к повышенным ожиданиям со стороны пациентов, постепенно сместив вектор направленности хирургического лечения на прогнозируемость рефракционного результата операции. При этом сведения о распространенности и значимости влияния астигматизма даже небольших степеней на итоговый визуальный и рефракционный результат мотивируют хирургов к проведению одномоментных методов коррекции астигматизма в ходе хирургического лечения катаракты, которые отличаются механизмом проведения коррекции, в связи с чем должны сопровождаться учетом влияния всех сопутствующих факторов, а выбранный метод быть обоснованным. Это требует



детального изучения с применением всестороннего анализа, разработкой и совершенствованием проводимых методов коррекции и подкреплении полученных результатов с использованием доказанных стратегий в зависимости от предоперационных показателей, что и обеспечивает актуальность данной исследовательской работы.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Дизайн исследования

Работа основана на разработке алгоритма хирургической коррекции астигматизма на основе методов с имплантацией торической интраокулярной линзы и аркуатной кератотомии у пациентов в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.

Для решения поставленной задачи было проведено проспективное клиническое исследование на базе отделения хирургии катаракты Чебоксарского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (директор филиала доктор медицинских наук Поздеева Надежда Александровна). Исследование состояло из двух серий, включающих 3 основные группы и 6 подгрупп (Рисунок 2).

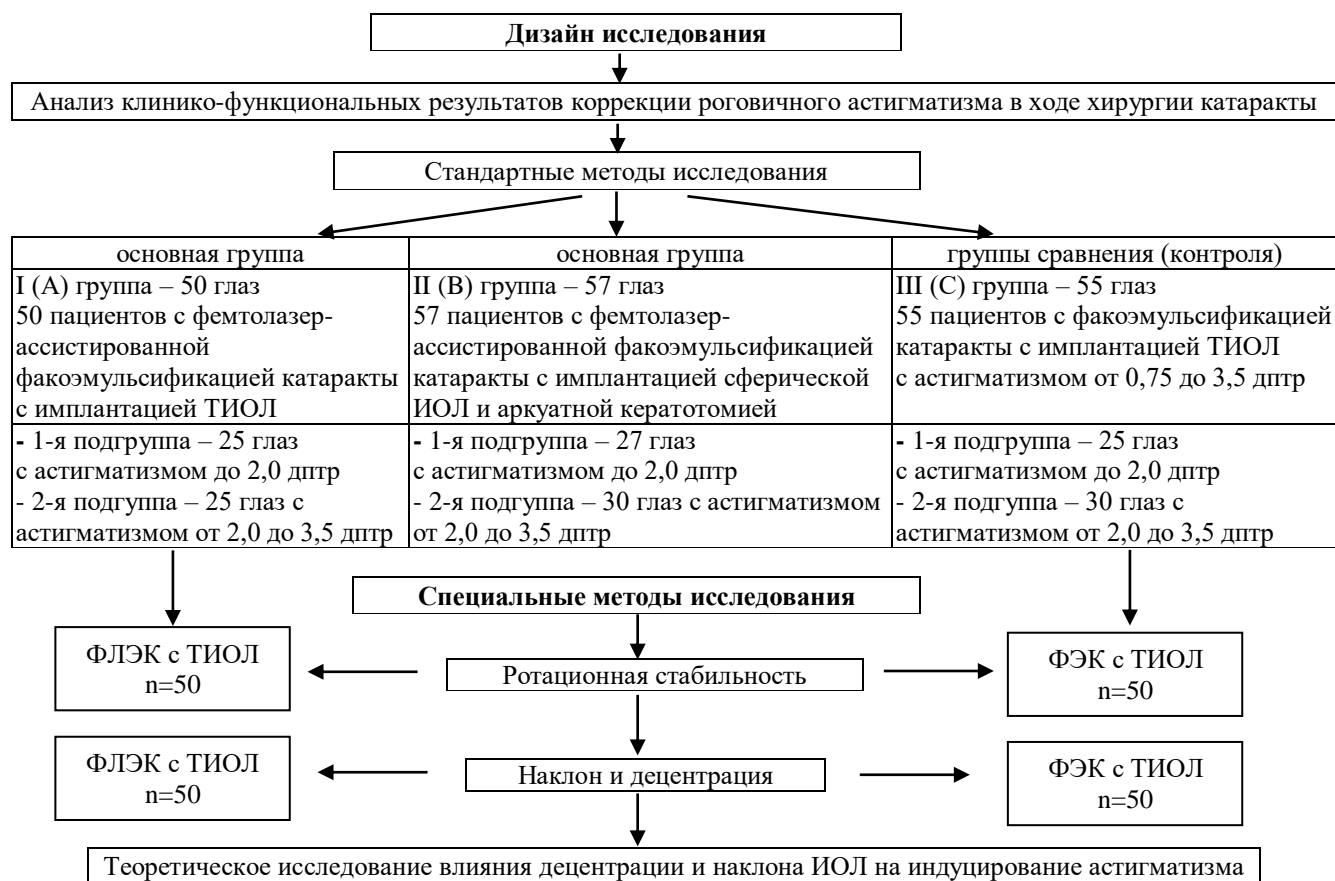


Рисунок 2 – Дизайн исследования

## 2.2. Общая характеристика материала исследований

В данное клиническое исследование включено 162 пациента, прооперированных по поводу возрастной катаракты с одномоментной коррекцией роговичного астигматизма. Всем пациентам проводилось комплексное обследование до операции и в различные сроки после операции – на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев.

Возраст пациентов варьировал от 46 до 65 лет и составил в группе ФЛЭК с ТИОЛ  $51,65 \pm 8,80$ , в группе ФЛЭК с ФЛ-АК  $59,08 \pm 14,31$ , в группе ФЭК с ТИОЛ  $55,10 \pm 8,50$  лет. Отбор пациентов идентичного возраста позволил нам проводить сравнительное исследование различных методов коррекции астигматизма с целью получения объективных результатов проводимого лечения без дополнительного

анализа поправок на изменения, связанные с регрессом полученного результата у более молодых пациентов.

Процентное распределение астигматизма в зависимости от расположения меридиана с наибольшей оптической силой в группах исследования представлено на Рисунке 3.

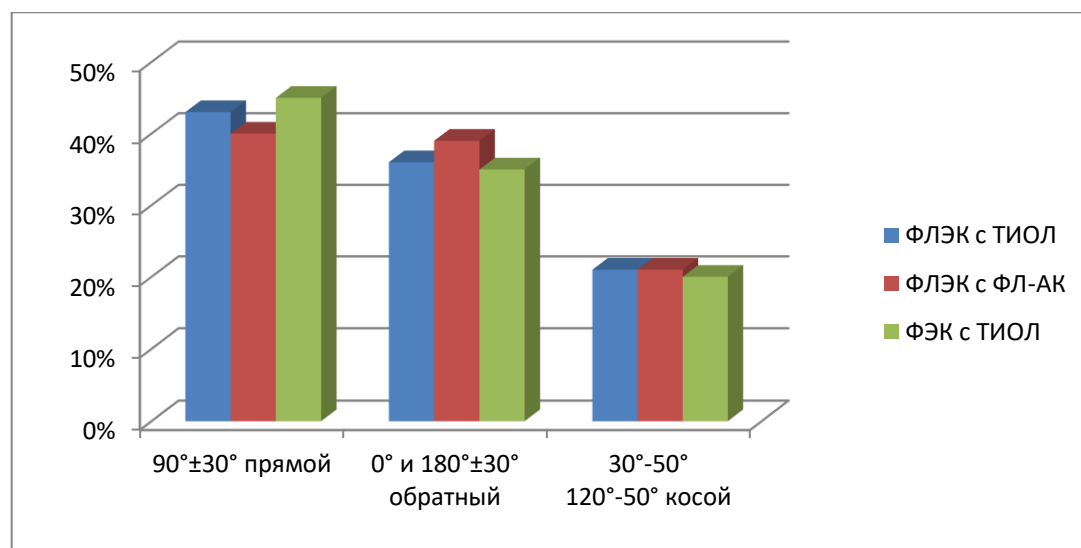


Рисунок 3 – Процентное распределение астигматизма в зависимости от меридиана с наибольшей оптической силой в группах исследования (n = 162)

*Критерии включения:*

1. Возрастная катаракта.
2. Сопутствующий правильный (регулярный) роговичный астигматизм от 0,75 до 3,5 дптр.

*Критерии исключения:*

1. Пациенты с выявленными заболеваниями роговицы, сетчатки и зрительного нерва.
2. Пациенты, имеющие в анамнезе операции на глазах.
3. Сопутствующая патология глазного яблока, оказывающая влияние на стабильность положения капсульного мешка в послеоперационном периоде (подвывих хрусталика, псевдоэкзофолиативный синдром, травматические катаракты и др.).

#### 4. Имеющие интра- и послеоперационные осложнения.

В соответствии с критериями включения и исключения в исследование вошло 162 пациента (162 глаза).

Было выполнено 2 серии клинических исследований и теоретическое исследование влияния положения ТИОЛ на индуцирование астигматизма методом трассировки лучей на модели глаза.

В 1-й серии исследований проводился сравнительный анализ клинико-функциональных результатов, эффективности, прогнозируемости и безопасности различных методов одномоментной коррекции роговического астигматизма в ходе хирургического лечения катаракты. Было обследовано 162 пациента, сопоставимых по критериям включения, разделенных на три группы.

**В I (основную) группу** вошли 50 пациентов (50 глаз), которым была выполнена ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ (Acrysof IQ Toric).

**Во II (основную) группу**, вошли 57 пациентов (57 глаз) с ФЛЭК в сочетании с ФЛ-АК с имплантацией монофокальной ИОЛ (Acrysof IQ).

**В III (контрольную) группу** вошли 55 пациентов (55 глаз) с ФЭК с имплантацией ТИОЛ (Acrysof IQ Toric).

Все пациенты в каждой группе были разделены на подгруппы в зависимости от степени астигматизма.

- первая подгруппа – астигматизм до 2,0 дптр;
- вторая подгруппа – астигматизм более 2,0 дптр (от 2,1 до 3,5 дптр).

Разделение по группам базировалось на установленном по литературным данным снижении эффективности АК в зависимости от увеличения цилиндрического компонента рефракции, а также ограниченных возможностях коррекции при астигматизме в пределах 2,0–3,5 дптр, связанных с технологией проведения операции [20; 162; 163]. В связи с этим в первую подгруппу вошли пациенты с астигматизмом до 2,0 дптр (от 0,75 до 2,0 дптр), во вторую подгруппу – с астигматизмом более 2,0 дптр (от 2,1 до 3,5 дптр).

Рефракцией цели являлась эметропия.

Вторая серия обследований была посвящена сравнительному анализу ротационной стабильности и определению положения ТИОЛ (Acrysof IQ Toric), а именно децентрации и наклона оптической части линзы в капсульном мешке относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей, в зависимости от технологии формирования капсулорексиса. Вторая серия исследований проводилась между I (основной) группой, в которую вошло 50 пациентов (50 глаз) после ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ и III группой (контрольной), включающей – 50 пациентов (50 глаз) после ФЭК с ТИОЛ.

Астигматизм слабой степени определялся как величина, равная до 3,0 дптр, средней степени – от 3,0 до 6,0 дптр, высокая степень – более 6,0 дптр.

Этап факоемульсификации осуществлялся на приборе Infinity (Alcon, США). Этап фемтосопровождения – на фемтолазерной системе LenSx (Alcon, США).

Предоперационная характеристика пациентов представлена в Таблицах 4, 5.

Послеоперационный период наблюдения сопровождался проведением оценки состояния глазного яблока: герметичность роговичных разрезов, складчатость и разрастание эпителия на задней капсуле хрусталика, с обращением внимания на положение цилиндрического компонента ТИОЛ.

Сравнительная оценка результатов исследования проводилась на основании анализа данных клинико-функциональных показателей фемтолазер-ассистированных методов коррекции в динамике в сравнении со стандартной методикой проведения хирургического вмешательства с имплантацией ТИОЛ и включала:

1) НКОЗ, КОЗ до и после операции в сроки: на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев;

2) оценку динамики изменения цилиндрического компонента рефракции по данным рефрактометрии и кератотопографии с проведением векторного анализа по методу Alpins N. и графического анализа с диаграммой двойного угла;

Таблица 4 – Данные по пациентам в подгруппах с астигматизмом до 2,0 дптр (M±σ) (n=77)

Показатель	1-я группа (ФЛЭК с ТИОЛ) n=25	2-я группа (ФЛЭК с ФЛ-АК) n=27	3-я группа (ФЭК с ТИОЛ) n=25
Всего	25	27	25
Женщины	14	15	13
Мужчины	11	12	12
Возраст, лет	51,65±8,80	59,08±14,31	55,10±8,50
НКОЗ	0,14±0,14	0,08±0,05	0,12±0,08
КОЗ	0,45±0,15	0,27±0,19	0,46±0,19
Sph, дптр	-0,37±6,96	-0,35±4,61	-0,31±6,04
Сул, дптр	-1,70±0,10	-1,89±0,17	-1,76±0,26
ПЭК	2528±350,80	2586±180,50	2459±450,50
Длина глаза, мм	23,61±2,32	24,04±2,68	23,50±3,20
Плотность катаракты (LOCS III)	2,0±0,81	1,62±0,61	1,80±0,70
ВГД (мм рт. ст.)	18,56±2,10	21,06±4,75	19,60±3,30

Таблица 5 – Данные по пациентам в подгруппах с астигматизмом более 2,0 дптр (M ± σ) (n = 85)

Показатели	1-я группа (ФЛЭК с ТИОЛ) n=25	2-я группа (ФЛЭК с ФЛ-АК) n=30	3-я группа (ФЭК с ТИОЛ) n=30
Всего	25	30	30
Женщины	13	15	14
Мужчины	12	15	16
Возраст, лет	51,65±8,80	59,08±14,31	55,10±8,50
НКОЗ	0,15±0,12	0,09±0,08	0,21±0,15
КОЗ	0,49±0,18	0,36±0,21	0,47±0,19
Sph, дптр	-0,35±5,87	-0,36±5,34	-0,31±6,52
Сул, дптр	-2,6±0,84	-2,75±0,50	-2,25±0,6
ПЭК	2500±470,00	2575±210,50	2374±350,50
Длина глаза (мм)	23,50±2,50	24,35±2,00	23,50±2,10
Плотность катаракты (LOCS III)	2,0±0,81	1,62±0,61	1,80±0,70
ВГД (мм рт. ст.)	18,56±2,10	21,06±4,75	19,60±3,30

3) анализ аберраций: средней квадратичной ошибки (RMS OPD), аберраций высшего порядка (роговичных и внутренних) и групп аберраций (сферическая аберрация, трилистник, кома).

Предоперационное распределение пациентов в зависимости от типа астигматизма в подгруппе до 2,0 дптр было следующим: в I группе: прямой – 68% (17 глаз), обратный – 20% (5 глаз), косой – 12% (3 глаза); во II группе: прямой – 55,6% (15 глаз), обратный – 33,3% (9 глаз), косой – 11,1% (3 глаза); III группе: прямой – 80% (20 глаз), обратный – 12% (3 глаза), косой – 8% (2 глаза) (Рисунок 4, 5).

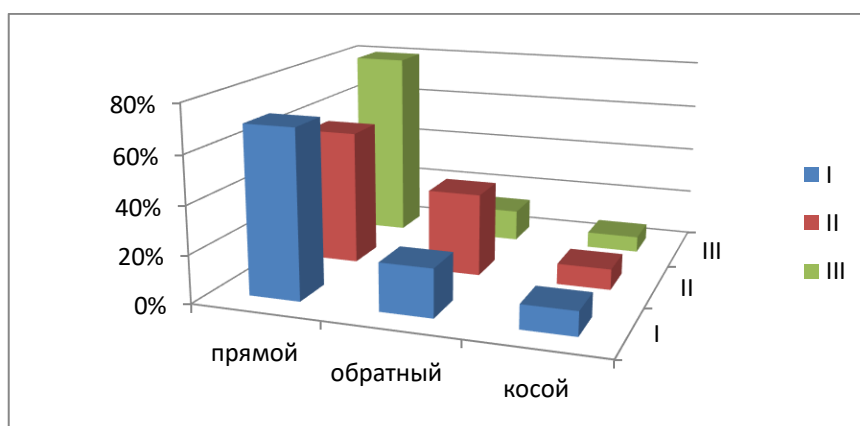


Рисунок 4 – Предоперационное распределение астигматизма в подгруппе до 2,0 дптр исследуемых групп

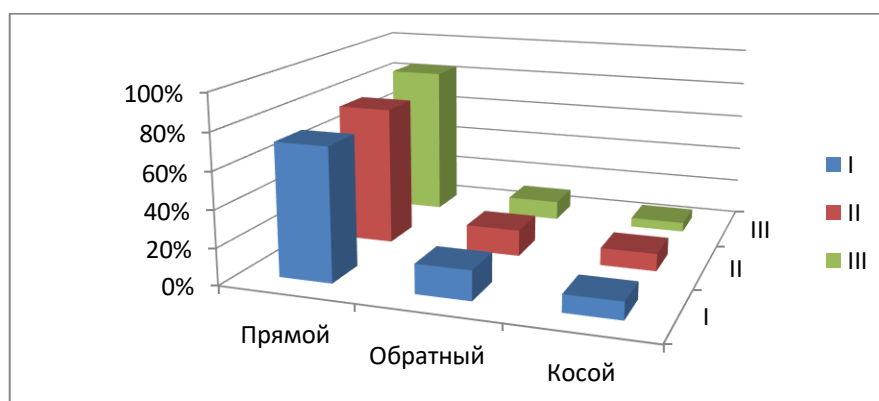


Рисунок 5 – Предоперационное распределение астигматизма в подгруппе более 2,0 дптр исследуемых групп



Предоперационное распределение пациентов в зависимости от типа астигматизма в подгруппе более  $> 2,0$  дптр было следующим: в I группе: прямой – 84% (21 глаз), обратный – 8% (2 глаза), косой – 8% (2 глаза), во II группе: прямой – 76,7% (23 глаза), обратный – 13,3% (4 глаза), косой – 10% (3 глаза); III группе: прямой – 70% (21 глаз), обратный – 10% (3 глаза), косой – 20% (6 глаз).

### **2.3. Методы клинического обследования пациентов**

Все пациенты были полностью обследованы перед оперативным вмешательством на предмет выявления критериев исключения. Проводились стандартные и специальные методы исследования до операции и в обозначенные сроки – на 3-й день после операции, через 3, 6 и 12 месяцев после операции.

#### **2.3.1. Стандартные методы исследования**

Стандартные методы исследования включали:

- Визометрию с определением показателей некорригированной (НКОЗ) и максимально корригированной остроты зрения (МКОЗ) на рефрактометре Topcon ACP - 5 (Япония). В качестве количественной меры показателя остроты зрения использовались распространенные в нашей стране десятичные единицы (decimal).
- Всем пациентам при каждом обращении проводилась бесконтактная тонометрия на пневмотонометре Nidek (NT-530 Япония) с последующим измерением внутриглазного давления по Маклакову, с использованием грузиков 10,0 грамм. В случае необходимости использовалось определение гидродинамических показателей на тонографе Model 30 Classic («Medtronic Solan Assistance», США): истинное внутриглазное давление ( $P_0$ ), коэффициент легкости оттока (C), минутный объем камерной влаги (F) и коэффициент Беккера ( $P_0/C$ ).
- Периметрию проводили на анализаторе поля зрения (Humphrey, США).
- Биомикроскопию на щелевой лампе BQ 900 (Haag-Streit, Швейцария).

- Осмотр глазного дна трехзеркальной линзой Гольдмана(Keeler, США) в условиях отделения лазерной хирургии сетчатки.
- Офтальмометрию и рефрактометрию с помощью автоматического авторефрактометра RC-5000 (Tomey, Япония)
- Кератотопографию (кератотопограф TMS-4, Tomey, Япония).

Учитывая различия в методах воздействия на астигматический компонент рефракции при проведении коррекции роговичного астигматизма, определение величины цилиндрического компонента рефракции, оси с наибольшей преломляющей силой и исследование астигматизма на регулярность проводили с использованием компьютерной кератотопографии (автоматический кератотопограф TMS-4, Tomey, Япония). Исходя из важности влияния полученных предоперационных измерений на итоговый рефракционный результат, с целью повышения достоверности исходных данных измерения проводились не менее 3 раз с сопоставлением их с данными рефрактометра. В наше исследование были включены пациенты с типом кератотопограммы в виде симметричной «бабочки», являющейся признаком правильного астигматизма.

С целью повышения точности исследования основных параметров роговицы и предупреждения влияния факторов, вызывающих вариабельность кератометрических показателей, к которым прежде всего относится нестабильность слезной пленки, особенно выраженной у лиц пожилого возраста, перед проведением непосредственного измерения поверхности роговицы осуществлялись инстилляци слезозаменителей.

- Оптическую биометрию на аппарате IOL-Master 700 (Carl Zeiss Meditec, Германия).
- Исследование электрической чувствительности (мкА) и лабильности зрительного нерва (Гц) (электрический фосфен) определяли на приборе (ЭСОМ – КОМЕТ, Россия). В результате воздействия на глаз электрического тока возникает «вспышка света» – электрический фосфен. В норме слабое световое ощущение соответствует 30–40 мкА. При постоянном воздействии тока световое ощущение не возникает. При раздражении органа зрения серией прерывистых надпороговых

импульсов появляется серия фосфенов, соответствующая частоте электрических импульсов, в норме составляющих 40–45, характеризующих лабильность зрительной системы. Данные показателей фосфена используются для определения сопутствующей патологии сетчатки и зрительного нерва.

### 2.3.2. Специальные методы исследования

Специальные методы исследования включали:

- Анализ положения ТИОЛ в капсульном мешке: определение децентрации и наклона оптической части ИОЛ на ОСТ Casia 2 (TOMEY, Германия) (Патент № 2683932).

Оценку положения ТИОЛ в капсульном мешке, а именно децентрацию и наклон, возможно проводить путем определения рефлекса Пуркинье, исследования на Шаймпфлюг-камере и проведения оптической когерентной томографии (ОКТ) переднего отрезка глаза. Все эти методы обычно используют зрачковую ось в условиях мидриаза в качестве ориентира для оценки наклона и децентрации ИОЛ, что не всегда является оптимальным, так как может наблюдаться вариабельность формы и размера зрачка. Топографическая ось роговицы – это базовая линия, которая соединяет точку фиксации на топографе с вершиной роговицы, которая не зависит от формы зрачка, и поэтому топографическая ось роговицы может рассматриваться как более надежный ориентир для проведения данного исследования. Данный принцип работы заложен в прибор ОКТ Casia 2 (TOMEY, Германия).

В настоящем исследовании определение положения ТИОЛ в капсульном мешке, а именно децентрации и наклона, проводили на приборе ОКТ Casia 2 в горизонтальной и вертикальной плоскостях (Рисунок 6). Преимуществом данного прибора является получение изображения, отличающегося высокой разрешающей способностью, что повышает достоверность полученных результатов и делает изучение положения линзы в капсульном мешке максимально точным.



Рисунок 6 – ОКТ Casia 2 (TOMEY, Германия)

- Определение ротационной стабильности по ориентации цилиндрической оси ТИОЛ относительно сильного меридиана роговицы с использованием цифровой видеощелевой лампы BQ 900 (Haag-Streit, Швейцария) с последующим совмещением полученных фотоснимков при помощи графических компьютерных программ (Adobe Photoshop) (Патент РФ № 2695567).

- Аберрометрия на OPD-Scan II (Nidek, Япония).

Принцип действия данного аберрометра основан на технологии щелевой инфракрасной скиаскопии, что позволяет сочетать функции кератометра, рефрактометра и анализатора волнового фронта. Выполненные измерения роговицы выводятся на экран в виде различных групп диаграмм. Аберрации высшего порядка отражает диаграмма волнового фронта Wavefront High Order Map, выполненная в виде цветной карты со шкалой аберраций на основе полиномов Zernike до 8-го порядка. Проводилась оценка RMS (среднеквадратичная ошибка суммарного волнового фронта), роговичных и внутренних НОА в фотопических и мезопических условиях при диаметре зрачка 3,0 и 6,0 мм соответственно, групп аберраций: сферическая аберрация, трилистник, кома.

## 2.4. Векторный анализ

Использование векторного анализа с целью выявления изменения цилиндрического компонента рефракции с учетом направленности астигматизма является стандартным методом анализа коррекции астигматизма и ключевым моментом в понимании эффективности проводимых методов коррекции. По мнению основоположников применения векторного анализа, оценка производимого изменения величины астигматизма при хирургическом вмешательстве с имплантацией ИОЛ является более сложным, чем в рефракционной хирургии [124].

Индукцированный послеоперационный астигматизм, вычисленный путем формального вычитания величины послеоперационного астигматизма из величины дооперационного, как это производится для сферического компонента рефракции, не является полностью достоверным, и данный подход может быть оправданным только при сохранении ориентации сильного меридиана в послеоперационном периоде, что встречается в единичных случаях. Для более правильной трактовки изменения цилиндрического компонента необходим векторный анализ.

Анализ результатов методов коррекции астигматизма с определением изменения величины и направления астигматизма до и через рассматриваемые интервалы времени после операции выполняли с использованием векторного анализа по методу Alpíns N., рассчитываемого с использованием программного обеспечения ASSORT VectrAK и графического векторного анализа с диаграммой двойного угла.

Проводился расчет таких трех основных векторных параметров и интегральных показателей, как:

– **целевой вектор астигматизма (ТІА)** – астигматическое изменение величины и оси, являющееся целевым при проведении операции. Как правило, это фактический измеренный дооперационный топографический астигматизм роговицы;

– **индуцированный вектор астигматизма (SIA)** – астигматическое изменение величины и оси, фактически индуцированное операцией с имплантацией ТИОЛ;

– **вектор разницы (DV)** – вектор, указывающий на величину необходимой докоррекции астигматизма для достижения намеченного результата, то есть вектор разности – это фактическая измеренная послеоперационная рефракция.

Интегральные показатели отражают различное отношение между основными векторами:

– **поправочный индекс (CI)** – определяется путем отношения TIA /SIA. CI предпочтительно должен быть равен 1,0. Превышение 1,0 указывает на гиперкоррекцию, меньше 1,0 – на недокоррекцию проводимых методов коррекции;

– **величина ошибки (ME)** – арифметическая разница между SIA и TIA. Как правило, ME положительная при гиперкоррекции и отрицательная при гипокоррекции;

– **угол ошибки (AE)** – угол, описанный векторами достигнутой (SIA) и предполагаемой коррекции (TIA). AE положительна, если достигнутая коррекция находится на оси против часовой стрелки по отношению к заданной координате, и отрицательна, если достигнутая коррекция направлена по часовой стрелке к предполагаемой оси. AE, близкое к нулю, является признаком минимальной систематической ошибки смещения основных векторов;

– **индекс успеха (IOS) = DV/TIA**, отражающий долю остаточного астигматизма в результате проведенной операции.

Поскольку цилиндрический компонент рефракции – это вектор, обладающий величиной и направлением, с целью более корректного анализа изменения астигматизма требуется удвоение угла для преобразования данных в 360°-ные Декартовы координаты. В связи с этим применялся графический векторный анализ с диаграммой двойного угла.

Результирующий послеоперационный астигматизм вычислялся с помощью векторной разности дооперационного и остаточного послеоперационного

астигматизма. Сложение и вычитание векторов описывается в разделах «Векторная алгебра» и «Тригонометрия» математических справочников (Рисунок 7).

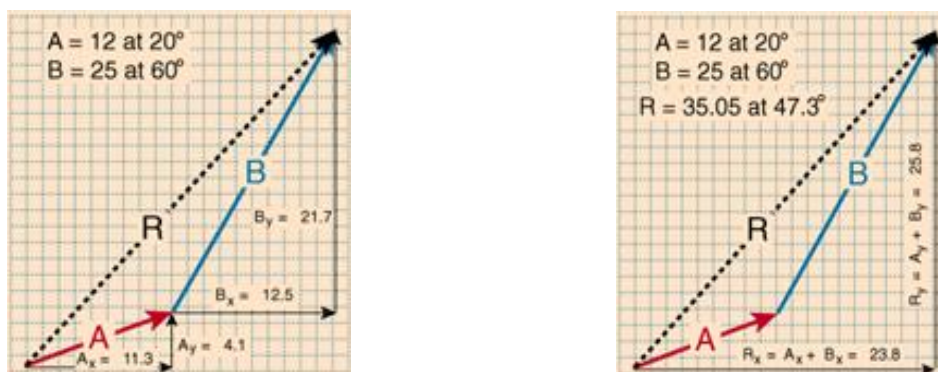


Рисунок 7 – Пример векторного сложения

Как правило, угол измеряется от 0 до 180°. При стандартном использовании полярной диаграммы от 0 до 180° данные оси не совпадают, что может приводить к ошибке трактовки угла поворота и двусмысленному результату (Рисунок 8).

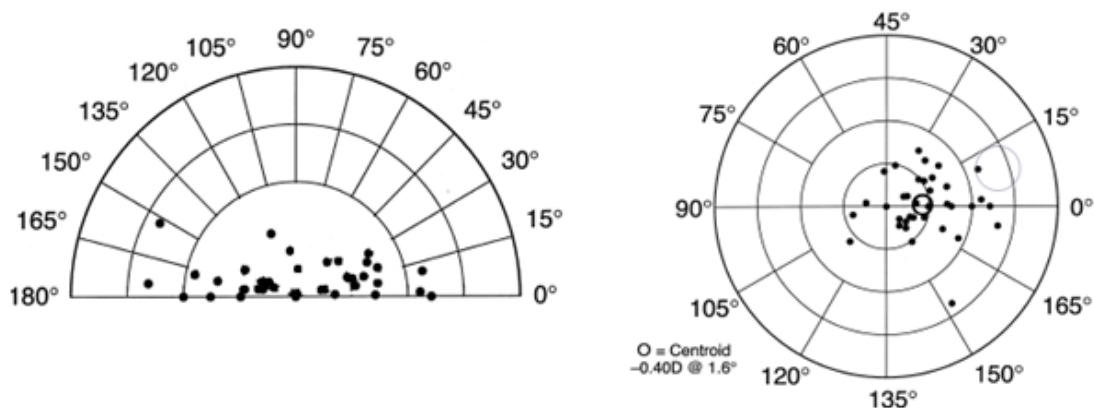


Рисунок 8 – Пример полярной диаграммы и диаграммы двойного угла

Правильное применение тригонометрических формул возможно только при графическом анализе с использованием двойного угла (Рисунок 9).

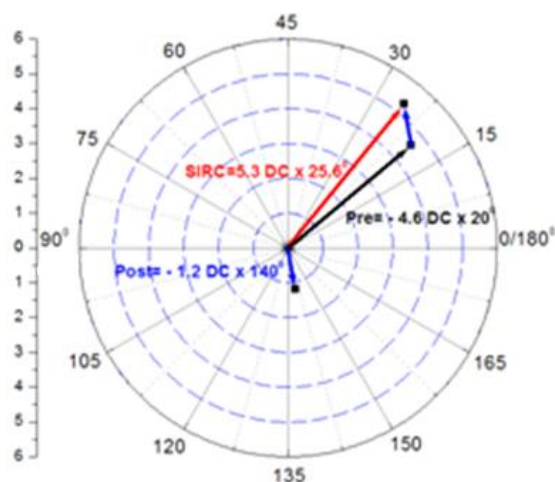


Рисунок 9 – Определение индуцированного послеоперационного астигматизма



Рисунок 10 – Графический векторный анализ с диаграммой двойного угла

В данном виде величина и направление среднего вектора астигматизма отражаются на графике в виде центроида (векторный центр всех данных), а стандартное отклонение (SD) – в виде эллипса вокруг него. Координаты расположения центроида, соответствующие или близкие к нулю с уменьшением размеров эллипса в послеоперационном периоде, свидетельствуют о снижении средней величины астигматизма после операции, а также полученной недокоррекции и гиперкоррекции (Рисунок 10). Применение диаграмм двойного угла особенно информативно при интерпретации ошибок, связанных с толкованием изменения величины цилиндра и его направления, а именно выравнивания по оси. Кроме того, серия 360°-ных диаграмм полярного



рассеяния может дать представление о разбросе данных относительно величины и направления.

Таким образом, правильно выполненное и точное вычисление величины и оси хирургически индуцированного астигматизма при проведении сравнительного анализа различных методов коррекции имеет непосредственное отношение к определению выбора оптимального метода коррекции в ходе хирургии катаракты.

## 2.5. Анализ рефракционных результатов

Анализ рефракционных результатов проводимых методов коррекции осуществлялся с использованием стандартных графиков, таких как:

– **график кумулятивного представления эффективности** проведенной коррекции, отражающий полученные результаты НКОЗ в контексте предоперационной МКОЗ в процентном соотношении;

– **график предсказуемости** рефракционного эффекта по цилиндрическому компоненту рефракции и сферозэквиваленту (СЭ), представленный в процентном соотношении доли глаз с рефракцией в пределах  $\pm 0,5$  и  $\pm 1,0$  дптр.

– **график безопасности**, отражающий потерю и прибавку строк МКОЗ в сравнении с дооперационными показателями.

## 2.6. Методы статистической обработки результатов

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью компьютерных программ Statistica 10 (StatSoft, США) и Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft, США). Исходные показатели были проверены на нормальность распределения по критерию Шапиро – Уилка и Колмогорову – Смирнову. Полученные данные представлены в виде  $M \pm \sigma$ , где М (Mean) – среднее арифметическое,  $\sigma$  – стандартное отклонение.

Для сравнения нескольких независимых групп исследования применялся непараметрический критерий Краскела – Уоллиса ( $p_{k-w}$ ). При обнаружении

статистически значимой разницы между тремя группами проводили сравнение комбинации между двумя группами с помощью критерия Манна – Уитни ( $p_{m-u}$ ) с поправкой Бонферрони для множественных сравнений. Сравнение в пределах исследуемой группы проводилось с использованием критерия Уилкоксона ( $p_w$ ). Качественные характеристики в группах сравнивались с использованием критерия  $\chi^2$ . Для определения направленности и степени связей между полученными показателями использовали коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ). Статистически достоверными признаны различия, при которых уровень достоверности ( $p$ ) составил более 95% ( $p < 0,05$ ).

### **ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА В ХОДЕ ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИИ КАТАРАКТЫ С ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ И ИМПЛАНТАЦИЕЙ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ**

Целью данной главы являлась разработка технологии проведения коррекции астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией и имплантацией торической ИОЛ. Для этого, в соответствии с поставленными задачами, необходимо было разработать алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии и метод интраоперационной маркировки при имплантации торической ИОЛ в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.

#### **3.1. Алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии**

Для создания алгоритма проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии нами была разработана номограмма определения параметров аркуатных разрезов и метод коррекции циклоторсии в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.

##### **3.1.1. Номограмма для расчета параметров фемтолазерной аркуатной кератотомии**

Расчет параметров ФЛ-АК проводился индивидуально, в каждом конкретном случае, по разработанной нами номограмме, определяющей

параметры длины дуги в зависимости от направления меридиана с наибольшей оптической силой и степени астигматизма<sup>1</sup>.

В зависимости от ориентации сильной оси роговицы угол раскрытия при коррекции астигматизма до 2,0 дптр для прямого астигматизма составил 50°, для обратного – 65°, для косого – 60°. Для коррекции астигматизма от 2,0 до 3,5 дптр – 55, 75 и 65° соответственно. При этом диаметр между насечками и глубина разреза оставались постоянными и составляли 7,0 мм и 90% соответственно.

В Таблице 6 представлена номограмма в виде таблицы для расчета параметров аркуатных разрезов роговицы в зависимости от направления сильного меридиана (прямой, обратный, косой).

Таблица 6 – Номограмма для расчета угла раскрытия при ФЛ-АК

Роговичный астигматизм	Ориентация сильной оси	Угол раскрытия, °	Глубина роговичных разрезов, %
От 1,25 до 1,99	Прямой 90°±30°(60–120)	50	90
	Обратный 180°±30° (0–30 и 150–180)	65	90
	Косой 45°±14° и 135°±14°	60	90
От 2,00 до 3,49	Прямой 90°±30°(60–120)	55	90
	Обратный 180°±30° (0–30 и 150–180)	75	90
	Косой 45°±14° и 135°±14°	65	90

В соответствии с данными расчетами, угол раскрытия имел максимальные значения при обратном астигматизме и минимальные – при прямом. Данные показатели учитывали высокую частоту однонаправленности астигматизма задней поверхности роговицы с горизонтально ориентированным меридианом роговицы, и позволяли избежать гиперкоррекции при прямом астигматизме,

---

Заявка на изобретение. Способ коррекции роговичного астигматизма / Куликова И.Л., Тимофеева Н.С.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им.акад. С.Н. Федорова (RU). - № 2020124334; заявл. 22.07.2020.

гипокоррекции при обратном и получить соответствующую коррекцию косого астигматизма.

### **3.1.2 Метод коррекции циклоторсии при фемтолазерной аркуатной кератотомии**

До операции пациенту в вертикальном положении за щелевой лампой проводили разметку горизонтального меридиана с помощью инъекционной иглы или специального маркера. Операция проводилась в два этапа. Первый этап – этап фемтосекундного сопровождения – осуществлялся в горизонтальном положении пациента на фемтолазерной установке LenSx (Alcon, США). Второй этап – собственно факоэмульсификации катаракты – проводился на приборе Centurion® VisionSystem (Alcon, США).

Параметры каждого этапа операции вводились в фемтолазерную установку непосредственно перед этапом фемтосопровождения.

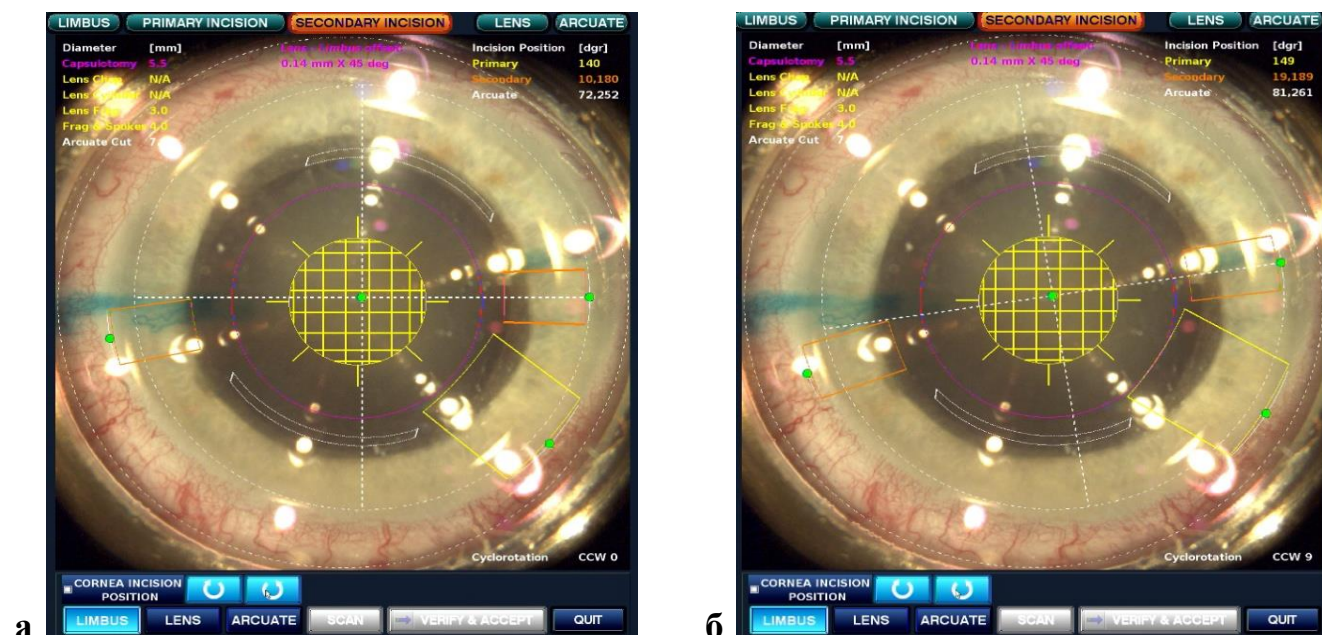
После инстилляции местного анестетика осуществлялась процедура «докинга» – стыковка интерфейса лазера с роговицей пациента. Данный этап является наиболее ответственным, так как неправильное расположение интерфейса может привести к интраоперационным осложнениям: несимметричному и нецентральному расположению аркуатных роговичных разрезов, непредсказуемому углу вреза, возможности микроперфораций и др. Проводилось определение положения сильной оси роговицы относительно маркированного в предоперационном периоде горизонтального меридиана<sup>1</sup>.

Предварительно в фемтолазерную установку вводились все параметры запланированного объема операции: двух парацентезов, капсулорексиса, факофрагментации, одной или двух аркуатных дуг. Координата одного из

---

<sup>1</sup> Пат. № 2 718 860 Российская Федерация, А61F 9/007; А61F 9/008. Способ коррекции роговичного астигматизма у пациентов с катарактой с учетом циклоторсии / Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Тимофеева Н.С.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова (RU). - № 2019135865; заявл. 08.11.2019; опубл. 15.04.2020 Бюл. № 11.

парацентезов (или обоих) устанавливалась на  $0^\circ$  или  $180^\circ$  (Рисунок 11). После процедуры «докинга» производилось совмещение заданного парацентеза путем вращения последнего с помощью шарика-манипулятора в ручном режиме с маркированным в предоперационном периоде горизонтальным меридианом. Вычисленная разница координат между этими осями с получением числового значения угла в градусах соответствовало углу циклоторсии глазного яблока в горизонтальном положении. Изменение координат аркуатных дуг на величину угла циклоторсии, таким образом, обеспечивает точную ориентацию аркуатных роговичных разрезов относительно сильной оси роговицы. После этого осуществляется запуск работы фемтолазерной установки с последовательным выполнением всех запланированных этапов ФЛЭК, завершающийся формированием аркуатных разрезов со скорректированными координатами и последующим хирургическим проведением факоэмульсификации катаракты с (без) раскрытием шпателем роговичных разрезов.



а – ось парацентеза соответствует  $0-180^\circ$ ;

б – ось парацентеза ротирована в проекции горизонтального меридиана.

Рисунок 11 – Экран монитора фемтосекундного лазера.

Сопоставление осей парацентеза и горизонтального меридиана.

Разрез основного хирургического доступа имел трехплоскостной профиль длиной 2,2 мм. Диаметр капсулорексиса – 5,5 мм. Энергия формирования капсулорексиса составляла в среднем  $4,54 \pm 0,16$  мкДж. Факофрагментация проводилась с использованием паттерна «решетка». Средние энергические затраты факофрагментации составляли  $5,26 \pm 2,55$  мкДж. Дугообразные разрезы располагались по оси сильного меридиана. Энергия ФСЛ при формировании АК была установлена на 3,0 мкДж.

При совпадении координат оси тоннеля и сильной оси роговицы аркуатные разрезы проводили по меридиану с наибольшей преломляющей силой, хирургический доступ осуществлялся мануально. Аркуатные разрезы выполняли на глубину 85% общей толщины роговицы согласно данным с ОКТ переднего отрезка фемтосекундного лазера, угол вреза –  $90^\circ$ , диаметр между разрезами – 7,0 мм. Угол раскрытия рассчитывался индивидуально в зависимости от ориентации сильного меридиана по предложенной номограмме.

Таким образом, был разработан алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты, включающий определение параметров аркуатных разрезов роговицы по разработанной номограмме в зависимости от направления сильного меридиана роговицы, с постоянными значениями диаметра между роговичными разрезами и уменьшенной длиной дуги при прямом и косом астигматизме, и компенсации циклоторсии, заключающейся в определении угла циклоторсии путем математического суммирования координат маркированного в предоперационном периоде горизонтального меридиана и выставленной в автоматическом режиме оси парацентезов  $0-180^\circ$ , с последующей коррекцией расположения аркуатных разрезов соответственно сильной оси роговицы, что позволяет учитывать влияние оптической силы задней поверхности роговицы при проведении расчетов и корректировать циклоторсию непосредственно в ходе фемтолазерного этапа операции.

### **3.2. Метод интраоперационной маркировки при имплантации торической интраокулярной линзы в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты**

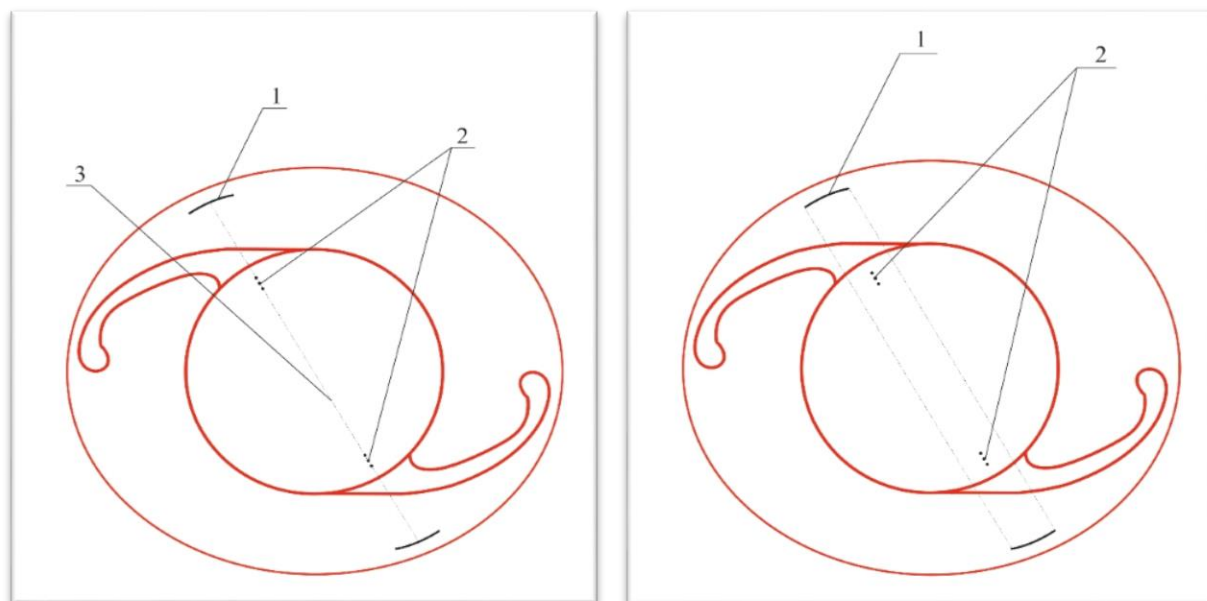
Одним из условий успешно проведенной операции по поводу коррекции астигматизма при имплантации ТИОЛ является правильная ориентация цилиндрической составляющей линзы относительно сильного меридиана роговицы. Был разработан и апробирован метод интраоперационной разметки сильного меридиана при имплантации ТИОЛ. Способ осуществляется следующим образом.

Непосредственно перед операцией после инстилляции местного анестетика (оксибупрокаина гидрохлорид 0,4%) проводится предоперационная маркировка горизонтального меридиана  $0-180^\circ$  с использованием инсулиновой иглы или специально предназначенных маркеров и метчиков в области лимба в вертикальном положении пациента перед щелевой лампой.

При проведении этапа фемтосопровождения после коррекции циклоторсии по описанному выше методу в фемтолазерную установку вводятся параметры расположения двух симметрично расположенных аркуатных разрезов с углом раскрытия  $10-15^\circ$  с учетом угла циклоторсии, диаметром между разрезами 9,0 мм с глубиной вреза  $90^\circ$  (Рисунок 12). Данные разрезы являются анатомическими ориентирами расположения меридиана с наибольшей оптической силой.

Проводят факоэмульсификацию катаракты по стандартной методике с имплантацией ТИОЛ в капсульный мешок с последующим сопоставлением цилиндрических меток с аркуатными разрезами роговицы.





- 1 – парные аркуатные разрезы;  
 2 – торические отметки на ИОЛ;  
 3 – осевая линия, соединяющая геометрический центр разрезов и проходящая через оптическую ось.

Рисунок 12 – Позиционирование цилиндрических меток ТИОЛ относительно аркуатных разрезов роговицы

Таким образом, разработанный метод интраоперационной маркировки сильного меридиана при имплантации торической ИОЛ, заключающийся в формировании двух симметрично расположенных аркуатных разрезов в 9,0-миллиметровой зоне с длиной дуги 10–15° и глубиной вреза 90°, расположенных соответственно координатам проекции сильного меридиана роговицы и выполняемых непосредственно во время фемтолазерного этапа операции, позволяет проводить прецизионное позиционирование цилиндрического компонента торической ИОЛ при имплантации и контролировать его отклонение в различные сроки после операции<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Заявка на изобретение № 2020127370; Российская Федерация. Способ интраоперационной маркировки при имплантации торической интраокулярной линзы / Куликова И.Л., Тимофеева Н.С.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им.акад. С.Н. Федорова (RU); заявл. 17.08.2020

Важным моментом при разработке технологий коррекции астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией и имплантацией торической ИОЛ являлось использование технологических возможностей фемтосекундного лазера для достижения поставленных целей. Для этого был разработан алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии, включающий расчет параметров аркуатных разрезов и определение циклоторсии с использованием настроек интерфейса фемтолазерной установки, принципиальной из которых является возможность выставления в автоматическом режиме горизонтального меридиана непосредственно в ходе фемтолазерного этапа сопровождения, а также проведение интраоперационной маркировки с формированием анатомических ориентиров на роговице при планировании имплантации торической ИОЛ, что повышает точность позиционирования цилиндрического компонента в ходе операции, а также делает возможным использовать его в качестве ориентира при определении ротационной нестабильности ТИОЛ в отдаленных периодах наблюдения. Полученные технологические решения при проведении коррекции указанными методами, позволяют повысить точность ожидаемого рефракционного результата и должны применяться в соответствии с разработанным алгоритмом хирургической коррекции в зависимости от степени исходного астигматизма.

## **ГЛАВА 4. КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ С ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ И ИМПЛАНТАЦИЕЙ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ И В СРАВНЕНИИ СО СТАНДАРТНОЙ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИЕЙ КАТАРАКТЫ**

Целью данной главы было проведение оценки клинико-функциональных результатов, векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа фемтолазер-ассистированных методов коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты, включающих фемтолазерную аркуатную кератотомию и имплантацию ТИОЛ в сравнении со стандартной факоемульсификацией катаракты с имплантацией ТИОЛ.

### **4.1. Сравнительные клинико-функциональные исследования при коррекции астигматизма до 2,0 дптр**

Для изучения клинико-функциональных результатов был проведен сравнительный анализ клинико-функциональных результатов групп пациентов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр фемтолазер-ассистированными методами хирургии катаракты – ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК с имплантацией монофокальной ИОЛ – в сравнении со стандартной методикой проведения ФЭК с ТИОЛ.

#### **4.1.1. Динамика показателей остроты зрения**

Результаты НКОЗ и МКОЗ в исследуемых группах до и в различные периоды наблюдения представлены в Таблицах 7, 8.

Дооперационные значения не имели статистически значимой разницы между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ). На 3-й день после операции НКОЗ и МКОЗ статистически значимо повысились у всех пациентов исследуемых групп ( $p_w < 0,05$ ).

Таблица 7 – Показатели НКОЗ до и в различные сроки после операции в группах исследования с астигматизмом до 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ , Decimal,  $n=77$ )

Группа/срок наблюдения	НКОЗ			$P_{k-w}$
	ФЛЭК с ТИОЛ $n = 25$	ФЛЭК с ФЛ-АК $n = 27$	ФЭК с ТИОЛ $n=25$	
До операции	0,14 ± 0,11	0,08±0,05	0,12±0,08	0,32
На 3-й день	0,73±0,22	0,63±0,24	0,75±0,23	0,42
3 мес.	0,71±0,13	0,62±0,23	0,69±0,21	0,37
6 мес.	0,80±0,18	0,61±0,17	0,77±0,22	0,51
12 мес.	0,80±0,20	0,60±0,16	0,72±0,25	0,74

Таблица 8 – Показатели МКОЗ до и в различные сроки после операции в группах исследования с астигматизмом до 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ , Decimal,  $n=77$ )

Группа/срок наблюдения	МКОЗ			$P_{k-w}$
	ФЛЭК с ТИОЛ $n=25$	ФЛЭК с ФЛ-АК $n=27$	ФЭК с ТИОЛ $n=25$	
До операции	0,45±0,15	0,27±0,19	0,46±0,19	0,11
На 3-й день	0,80±0,22	0,65±0,21	0,81±0,22	0,36
3 мес.	0,88±0,16	0,66±0,20	0,82±0,21	0,30
6 мес.	0,92±0,10	0,65±0,30	0,90±0,10	0,08
12 мес.	0,89±0,14	0,65±0,35	0,89±0,11	0,22

В послеоперационном периоде в I группе исследования НКОЗ повысилась на  $0,62 \pm 0,29$ , составив  $0,73 \pm 0,22$  ( $p_w = 0,017$ ), МКОЗ повысилась на  $0,34 \pm 0,09$ , достигнув  $0,80 \pm 0,22$  ( $p_w = 0,043$ ). Через 3 месяца НКОЗ незначительно снизилась на  $0,01 \pm 0,15$  ( $p_w = 0,710$ ), КОЗ увеличилась на  $0,01 \pm 0,03$  ( $p_w = 0,14$ ). Через 6 месяцев было отмечено улучшение показателей НКОЗ на  $0,10 \pm 0,09$  ( $p_w = 0,171$ ), МКОЗ повысилась на  $0,15 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,143$ ). Изменения НКОЗ через 3 месяца

после операции были связаны с процессом фиброзированием капсульного мешка. Стабилизация показателей НКОЗ произошла к 6-му месяцу наблюдения. К концу 6-го месяца наблюдения процент глаз с НКОЗ 0,9–1,0 наблюдался в 10 глазах (40%), острота зрения 0,5 и выше – в 23 глазах (90%).

Во II группе (основной) НКОЗ после операции повысилась на  $0,52 \pm 0,23$  ( $p_w < 0,05$ ), МКОЗ – на  $0,28 \pm 0,18$  ( $p_w < 0,05$ ), через 3 месяца НКОЗ снизилась на  $0,01 \pm 0,03$  ( $p_w = 0,252$ ), КОЗ на  $-0,02 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,833$ ), через 6 месяцев отмечалось незначительное снижение показателей НКОЗ на  $0,11 \pm 0,13$  ( $p_w = 0,730$ ), КОЗ на  $0,11 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,830$ ). Таким образом, к 3-му месяцу отмечалось статистически незначимое снижение показателей остроты зрения с последующей стабилизацией показателей НКОЗ и МКОЗ к 6–12-му месяцу после операции, что может быть обусловлено окончательным формированием рубца в области аркуатного разреза. Проведение очковой коррекции в этот период позволяло повысить остроту зрения до послеоперационных значений. При этом МКОЗ в течение всего периода наблюдения оставалась стабильной ( $p_w > 0,05$ ). К 6-му месяцу НКОЗ, равная 1,0, определялась в 2 глазах (5%), 0,5 и выше – в 21 глазе (80%).

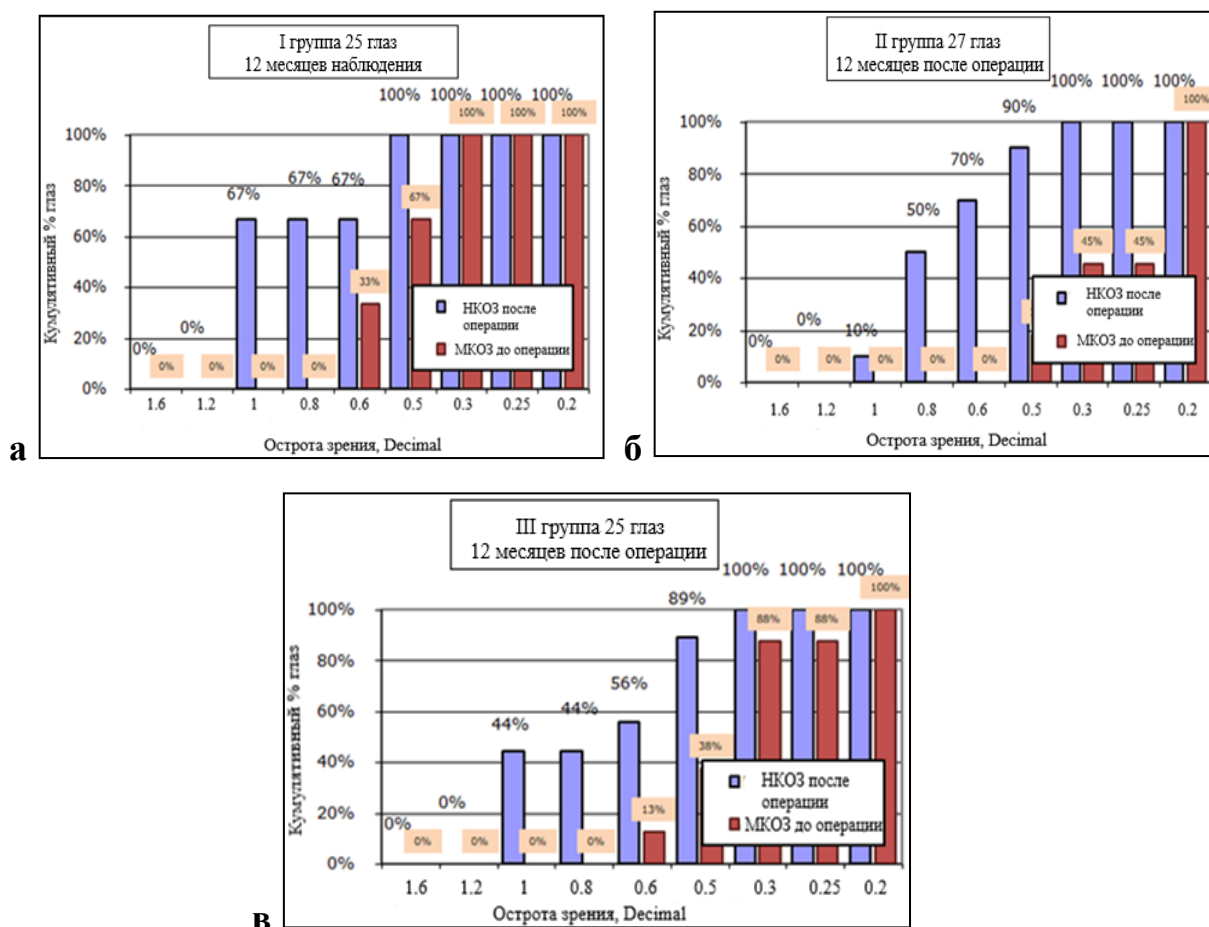
В III группе НКОЗ повысилась на  $0,66 \pm 0,19$  ( $p_w = 0,004$ ), МКОЗ – на  $0,38 \pm 0,19$  ( $p_w = 0,002$ ). Через 3 месяца наблюдения НКОЗ понизилась на  $0,16 \pm 0,09$  ( $p_w = 0,83$ ), МКОЗ повысилась на  $0,04 \pm 0,02$  ( $p_w = 0,10$ ). Через 6 месяцев НКОЗ повысилась на  $0,16 \pm 0,08$  ( $p_w = 0,59$ ), МКОЗ – на  $0,05 \pm 0,03$  ( $p_w = 0,60$ ). Полученные изменения показателей остроты зрения являлись следствием развития фиброзирования капсульного мешка и случаями ротационной нестабильности ТИОЛ. К 6-му месяцу НКОЗ, равная 1,0, была выявлена в 4 глазах (14%), 0,8 и выше – в 7 глазах (29%), 0,5 и выше – в 21 глазе (86%).

Сравнительный анализ между исследуемыми группами не выявил статистически значимой связи между группами на протяжении всего периода наблюдения, что является свидетельством сопоставимой результативности

проводимых методов коррекции относительно итоговых визуальных показателей ( $p_{k-w} > 0,05$ ).

#### 4.1.2. Эффективность и безопасность

Эффективность проведенной операции определялась по соотношению НКОЗ после операции к МКОЗ до операции (Рисунок 13).



а – эффективность коррекции в I группе;

б – эффективность коррекции во II группе;

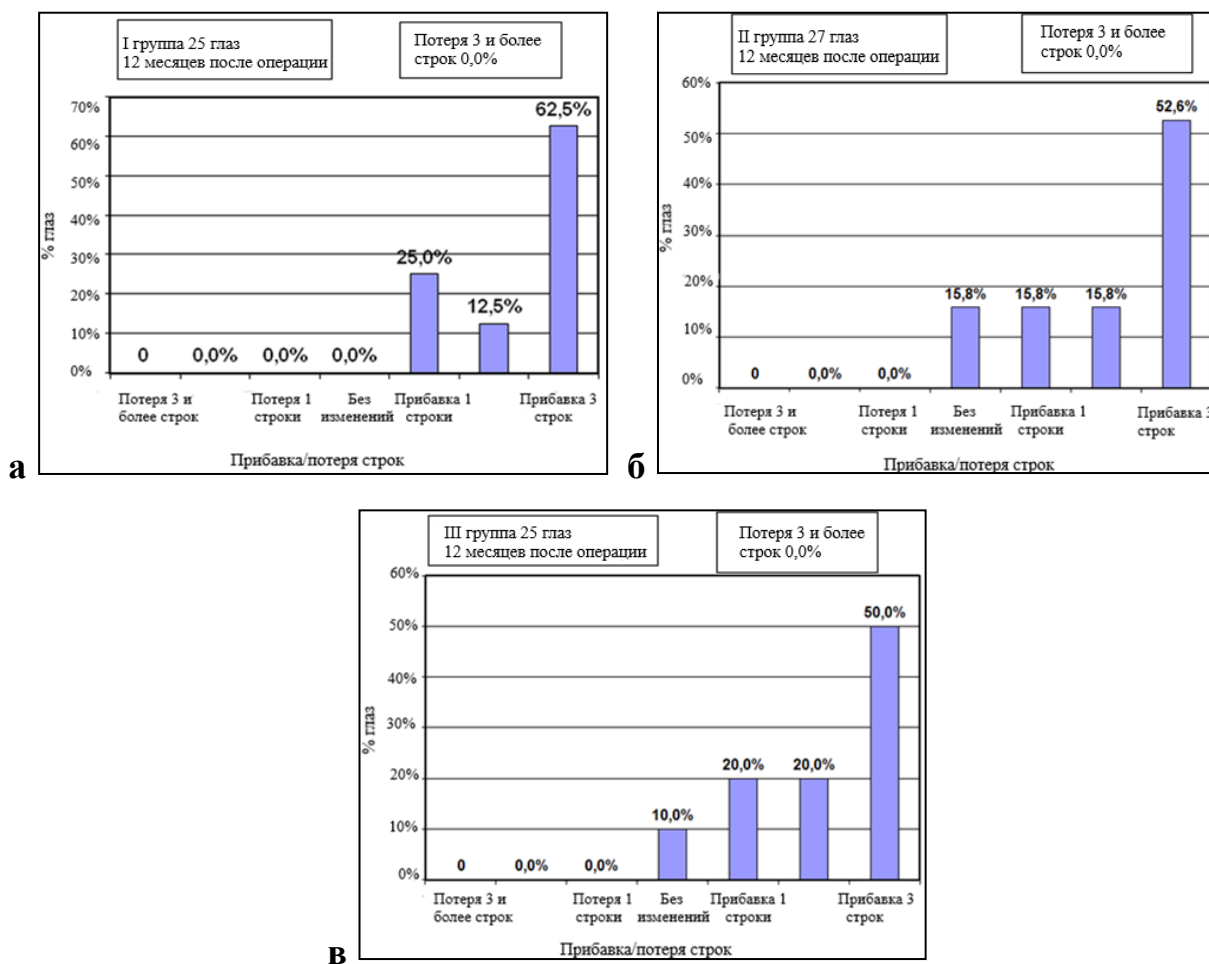
в – эффективность коррекции во III группе.

Рисунок 13 –Эффективность коррекции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Через 12 месяцев после операции в I группе эффективность коррекции в пределах  $\geq 0,5$  составила 100% пациентов (25 глаз), в пределах 1,0 – 67% (17 глаз), во II группе –  $\geq 0,5$  – 90% (24 глаза), 1,0 – 10% (3 глаза), в III группе –  $\geq 0,5$  – 86% (22 глаза), 1,0 – 44% (11 глаз). Повышение показателей НКОЗ по отношению к МКОЗ до операции наблюдалось во всех трех группах, при этом была выявлена тенденция к наилучшим результатам в I группе исследования ( $p < 0,05$ ). Полученные результаты говорят о сопоставимой эффективности всех трех методов коррекции при коррекции астигматизма до 2,0 дптр ( $p > 0,05$ ).

Безопасность определялась как процент доли глаз потерявших и прибавивших строки при определении МКОЗ до и после операции. Полученные данные представлены на Рисунке 14.

Полученные результаты во всех исследуемых группах не сопровождалась потерей строк. В I группе прибавка 1 линии зафиксирована в 25% (6 глаз), 3 и больше – в 62,5% случаев (15 глаз). Во II группе с ФЛ-АК прибавка 3 строк и более наблюдалась в 52,6% случаев (14 глаз), в 15,8% (4 глаза) прибавление строк не выявлено. В III группе повышение МКОЗ на 3 и более строки выявлено в 50% случаев (12 глаз). Полученные результаты показали сопоставимость по уровню безопасности всех трех методов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр ( $p > 0,05$ ), несмотря на различия в технологии проводимой коррекции.



а – оценка безопасности в I группе;

б – оценка безопасности во II группе;

в – оценка безопасности в III группе.

Рисунок 14 – Графики безопасности в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

#### 4.1.3. Динамика изменений рефракционных показателей

Значения показателей рефракционного астигматизма до операции не имели статистически значимых различий между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ). Показатели СЭ, сферы, остаточного цилиндра по данным рефрактометрии были статистически значимо ниже в течение всего периода наблюдения по сравнению с дооперационными значениями ( $p_{k-w} < 0,05$ ).

Динамику изменения цилиндрического компонента рефракции оценивали в группах по данным рефрактометрии и кератотопографии. При этом для всех видов анализа изменения цилиндрического компонента рефракции



использовалась одна и та же база данных до и послеоперационных значений величины астигматизма. Проводили вычисление изменения средней величины астигматизма по данным рефрактометрии на 3-й день после операции, через 3, 6 и 12 месяцев. Изменение данных кератометрии оценивалось также в аспекте влияния проводимых методов коррекции на роговичный астигматизм.

На 3-й день после операции цилиндрический компонент рефракции статистически значимо уменьшился во всех трех группах исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ).

В I группе цилиндрический компонент рефракции на 3-й день после операции уменьшился с  $-1,70 \pm 0,10$  до  $-0,75 \pm 0,40$  ( $p_w = 0,043$ ), что в среднем составило на  $0,72 \pm 0,18$ , во II группе – с  $-1,89 \pm 0,17$  до  $-0,94 \pm 0,51$  ( $p_w = 0,009$ ), снизившись на  $0,59 \pm 0,26$ , в III группе – с  $-1,76 \pm 0,26$  до  $-0,81 \pm 0,40$  ( $p_w = 0,005$ ), что составило на  $0,75 \pm 0,38$ . Детальный анализ динамики величины цилиндрического компонента рефракции выявил незначительное увеличение остаточного рефракционного астигматизма в I группе к 3-му месяцу наблюдения на  $0,1 \pm 0,05$  ( $p_w = 0,840$ ) и его уменьшение  $0,15 \pm 0,12$  ( $p_w = 0,801$ ) в III группе исследования, что может свидетельствовать о некоторой нестабильности величины остаточного цилиндра в течение данного периода наблюдения.

К 6-му месяцу в I группе цилиндрический компонент рефракции уменьшился на  $0,15 \pm 0,12$  ( $p_w = 0,890$ ), во II группе – на  $0,15 \pm 0,09$  ( $p_w = 0,460$ ), в III группе – на  $0,08 \pm 0,05$  ( $p_w = 0,481$ ). Через 12 месяцев после проведенного оперативного вмешательства имело место незначительное статистически незначимое изменение остаточного цилиндрического компонента рефракции в I группе на  $0,05 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,809$ ), во II группе – на  $0,03 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,990$ ) и в III группе – на  $0,06 \pm 0,03$  ( $p_w = 0,950$ ) (Таблица 9, Рисунок 15).

Через 12 месяцев после проведенного оперативного вмешательства остаточный цилиндр в I группе составил  $-0,71 \pm 0,13$ , во II группе –  $-0,85 \pm 0,26$ , в III группе –  $-0,73 \pm 0,34$ . Сравнительный анализ рефракционного астигматизма не выявил статистически значимых различий в величине остаточного

цилиндрического компонента рефракции между группами на 3-й день после операции ( $p_{k-w}=0,110$ ), через 3 месяца ( $p_{k-w}=0,077$ ), через 6 месяцев ( $p_{k-w}=0,201$ ), через 12 месяцев после операции ( $p_{k-w}=0,330$ ).

Таблица 9 – Показатели динамики цилиндрического компонента рефракции до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Группа/период наблюдения	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	$-1,70 \pm 0,10$	$-0,75 \pm 0,50$	$-0,81 \pm 0,23$	$-0,66 \pm 0,12$	$-0,71 \pm 0,13$
II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n = 27$ )	$-1,89 \pm 0,17$	$-0,94 \pm 0,51$	$-0,97 \pm 0,18$	$-0,82 \pm 0,22$	$-0,85 \pm 0,26$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	$-1,76 \pm 0,26$	$-0,81 \pm 0,40$	$-0,75 \pm 0,33$	$-0,67 \pm 0,46$	$-0,73 \pm 0,34$
$p_{k-w}$	0,65	0,11	0,07	0,20	0,33

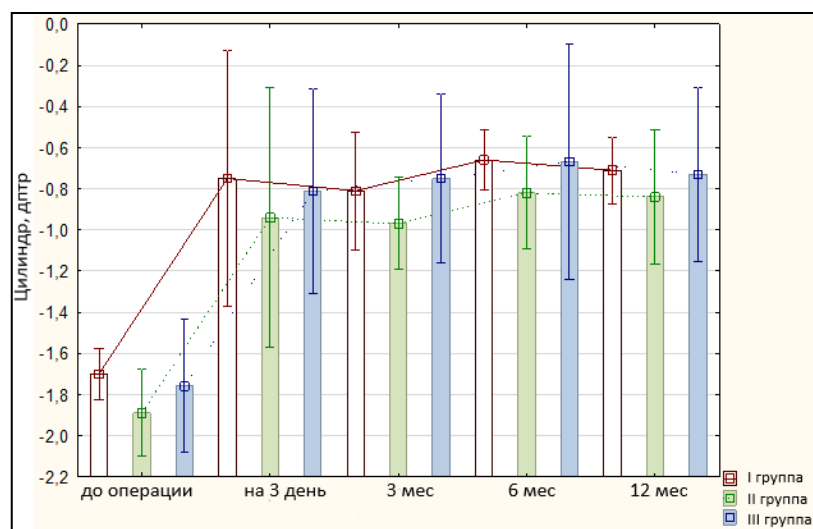


Рисунок 15 – Динамика цилиндрического компонента рефракции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Средние значения сферического компонента рефракции и СЭ в I, II и III группах до и в различные сроки после операции представлены в Таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – Результаты коррекции сферического компонента рефракции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Параметр	Срок операции				
	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
Сфера, дптр	-0,37±6,96	-0,11 ± 0,44	-0,15 ± 0,61	-0,33 ± 0,59	-0,30 ± 0,21
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n = 27)</b>					
Сфера, дптр	-0,35±4,61	-0,10 ± 0,88	-0,10 ± 1,09	-0,12 ± 1,16	-0,14 ± 0,30
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
Сфера, дптр	-0,31±6,04	-0,12 ± 0,77	-0,15 ± 0,66	-0,39 ± 0,28	-0,31 ± 0,57
$p_{k-w}$	0,47	0,91	0,43	0,19	0,68

Таблица 11 – Результаты коррекции сферозэквивалента рефракции в группах с астигматизмом до < 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Параметр	Срок операции				
	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
СЭ, дптр	-0,81±7,45	-0,06 ± 0,89	-0,94 ± 0,51	-0,34 ± 0,59	-0,25 ± 0,21
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n = 27)</b>					
СЭ, дптр	-1,15±3,55	-0,45 ± 0,88	-0,53 ± 1,03	-0,37 ± 1,13	-0,27 ± 1,21
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
СЭ, дптр	-0,97±5,2	-0,20 ± 0,76	-0,57 ± 0,71	-0,76 ± 0,41	-0,26 ± 0,59
$p_{k-w}$	0,05	0,71	0,39	0,21	0,75

Как показано в Таблицах 10 и 11, на 3-й день после операции имелось статистически значимое снижение значений сферы и СЭ во всех трех исследуемых группах ( $p_{k-w} < 0,05$ ). Во II группе прослеживалась тенденция к меньшим значениям сферы по сравнению с I и III группами, однако полученный СЭ имел сопоставимые данные между группами, что объясняется большей величиной остаточного цилиндра во II группе исследования, однако без статистически значимой разницы между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ).

В течение всего периода наблюдения статистически значимых различий между группами по СЭ и сферическому компоненту рефракции выявлено не было ( $p_{k-w} > 0,05$ ), что говорит о сопоставимости исследуемых методов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр.

#### 4.1.4. Изменение роговичного астигматизма

Показатели роговичного астигматизма по данным кератотопографа имели статистически значимые различия между группами на 3-й день после операции ( $p_{k-w} = 0,021$ ), через 3 месяца ( $p_{k-w} = 0,017$ ), через 6 месяцев ( $p_{k-w} = 0,018$ ), через 12 месяцев после операции ( $p_{k-w} = 0,025$ ) (Таблица 12).

В I и III группах средние показатели роговичного астигматизма в дооперационном периоде и в различные сроки после операции имели статистически незначимые изменения в течение всего периода наблюдения ( $p_w > 0,05$ ).

Роговичный астигматизм снизился на 3-й день после операции с  $1,81 \pm 0,23$  до  $1,48 \pm 1,16$  и с  $2,0 \pm 0,01$  до  $1,89 \pm 1,61$  дптр, что в среднем составило на  $0,32 \pm 0,69$  ( $p_w = 0,677$ ), и на  $0,33 \pm 0,15$  дптр ( $p_w = 0,850$ ) в I и III группах соответственно. Во II группе имело место наиболее существенное среди исследуемых групп статистически значимое уменьшение величины роговичного астигматизма на 3-й день после операции с  $1,64 \pm 0,45$  до  $1,25 \pm 0,95$  дптр, что составило на  $0,40 \pm 1,16$  дптр ( $p_w < 0,05$ ) и сопровождалось компенсаторным увеличением  $K_{\min}$  с  $43,05 \pm 1,70$  до  $43,15 \pm 1,49$  и снижением  $K_{\max}$  с  $44,74 \pm 1,58$  до  $43,23 \pm 1,41$  ( $p_w < 0,05$ ). К 3-му месяцу наблюдения величина роговичного астигматизма дополнительно снизилась на  $0,35 \pm 0,05$  ( $p_w = 0,002$ ), составив  $0,90 \pm 0,34$  дптр, с последующим незначительным уменьшением к 6-му месяцу на  $0,02 \pm 0,01$  ( $p_w = 0,027$ ) и увеличению к 12-му месяцу наблюдения на  $0,05 \pm 0,02$  дптр ( $p_w = 0,026$ ).

Таблица 12 – Роговичный астигматизм по данным кератотопографа в группах до 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Параметр	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
Роговичный астигматизм	1,81 ± 0,23	1,48 ± 1,16	1,47 ± 1,16	1,48 ± 1,20	1,47 ± 1,23
К <sub>min</sub> , дптр	43,10 ± 0,80	43,93 ± 1,16	43,81 ± 1,24	43,91 ± 1,18	43,90 ± 1,15
К <sub>max</sub> , дптр	45,25 ± 0,84	45,31 ± 1,08	45,18 ± 0,96	45,30 ± 1,18	45,30 ± 1,18
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n = 27)</b>					
Роговичный астигматизм	1,64 ± 0,45	1,25 ± 0,95*	0,90 ± 0,34*	0,89 ± 0,31*	0,92 ± 0,19*
К <sub>min</sub> , дптр	43,05 ± 1,07	43,15 ± 1,49	43,25 ± 1,30	43,23 ± 1,46	43,21 ± 0,87
К <sub>max</sub> , дптр	44,74 ± 1,58	44,23 ± 1,41	44,15 ± 1,3	44,08 ± 1,43	44,07 ± 1,04
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
Роговичный астигматизм	2,0 ± 0,01	1,89 ± 1,61	2,18 ± 1,19	1,85 ± 1,12	1,86 ± 1,70
К <sub>min</sub> , дптр	41,99 ± 1,48	42,08 ± 1,55	42,26 ± 1,42	42,28 ± 1,60	42,29 ± 1,58
К <sub>max</sub> , дптр	44,41 ± 1,38	44,86 ± 1,39	44,69 ± 1,57	44,36 ± 0,82	44,75 ± 1,30
$P_{k-w}$ (роговичный астигматизм)	0,480	0,021	0,017	0,018	0,025

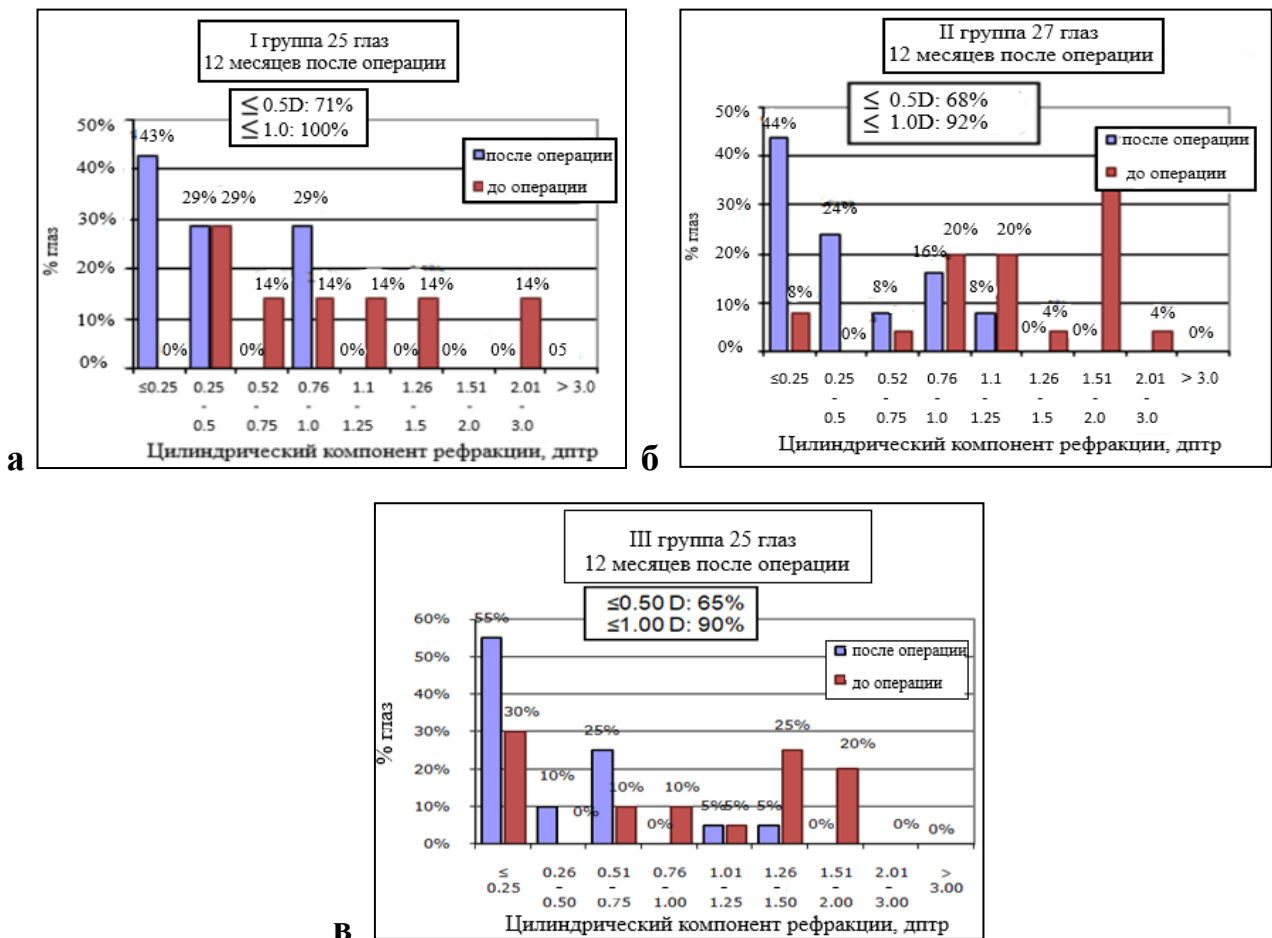
\* Разница статистически значима в группе ( $p_w < 0,05$ ).

Наиболее значимые изменения роговичного астигматизма наблюдались во II группе исследования и были связаны с непосредственным воздействием на роговицу в группе с ФЛ-АК ( $p < 0,05$ ). Межгрупповые сравнения показателей роговичного астигматизма I и III групп статистически значимых различий в течение всего периода наблюдения не выявили ( $p_{m-u} > 0,05$ ).

#### 4.1.5. Предсказуемость проводимых методов коррекции

Предсказуемость коррекции цилиндрического компонента рефракции представлена на Рисунке 16. На графиках явно прослеживается увеличение процента глаз с астигматизмом более слабой степени и снижение – с более высокой степенью. Через 12 месяцев после операции предсказуемость коррекции цилиндрического компонента рефракции составила в I группе в пределах  $\pm 0,5$

дптр – 71%, во II группе – 68%, в III группе – 65% ( $p>0,05$ ). Предсказуемость в пределах  $\pm 1,0$  дптр – 100%, во II группе – 92%, в III группе – 90% без статистически значимой разницы между группами ( $p>0,05$ ). Пациентов с достигнутой коррекцией в пределах  $\pm 0,5$  в процентном соотношении было больше в I группе на 3% по сравнению со II группой и на 6% больше по сравнению с III группой ( $p>0,05$ ).



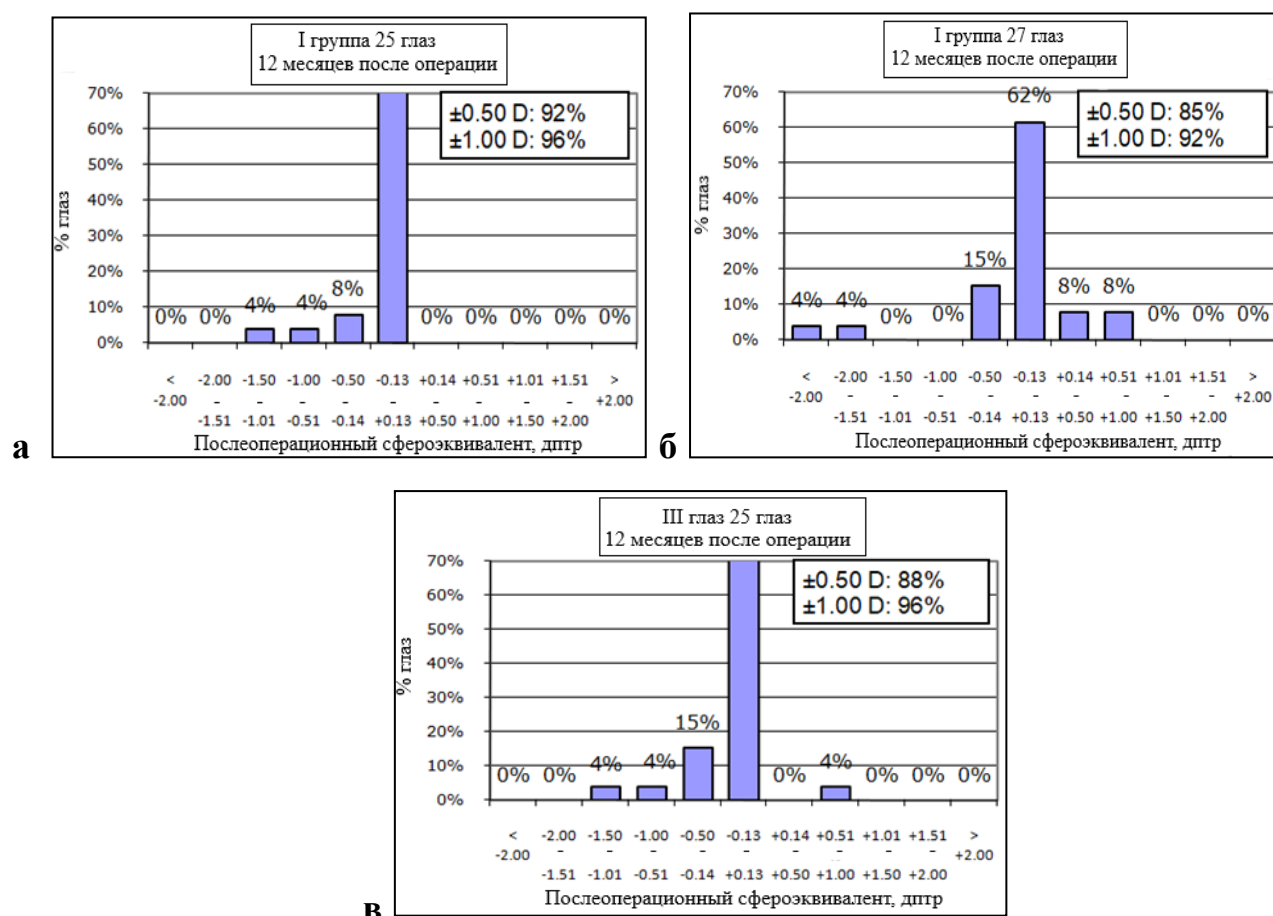
а – коррекция цилиндрического компонента в I группе;

б – коррекция цилиндрического компонента во II группе;

в – коррекция цилиндрического компонента в III группе.

Рисунок 16 – Эффективность коррекции цилиндрического компонента рефракции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Предсказуемость проводимых методов коррекции по СЭ по группам представлена на Рисунке 17. Результаты исследования через 12 месяцев выявили наличие незначительной недокоррекции во всех трех группах. В группах с астигматизмом до 2,0 дптр предсказуемость по СЭ в I группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр составила 92%, во II группе  $\pm 0,5$  дптр – 85%, в III группе  $\pm 0,5$  дптр – 88% ( $p > 0,05$ ). Предсказуемость в пределах  $\pm 1,0$  дптр в I группе – 96%, во II группе  $\pm 1,0$  дптр – 92%, в III группе  $\pm 1,0$  – 96% без статистически значимой разницы между группами ( $p > 0,05$ ).



а – предсказуемость в I группе;

б – предсказуемость во II группе;

в – предсказуемость в III группе.

Рисунок 17 – Прогнозируемость по группам по СЭ  
в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Наибольший разброс показателей СЭ был во II группе и составлял от 1,5 до 2,0 дптр в 8% случаев. Разброс от 0,5 до 1,5 дптр в I группе составил 16% случаев, во II группе – 39%, в III группе – 27% случаев, что говорит о лучшей предсказуемости по данным СЭ в I группе, однако без статистической значимости между группами ( $p < 0,05$ ).

Приведенные результаты сравнительного анализа выявили незначимую разницу между тремя группами исследования по эффективности, предсказуемости и безопасности, что говорит о сопоставимости проводимых методов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр в ходе хирургического лечения катаракты.

#### 4.1.6. Исследование волнового фронта

Анализ aberrаций высшего порядка проводился между группами до операции, на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции в режиме модуля «Warfront High Order Map» на приборе OPD-scan II (NIDEK, Япония). Оценивались данные средней квадратичной ошибки суммарного волнового фронта (RMS OPD), aberrации высшего порядка (НОА) в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах: роговичные и внутренние в фото- и мезопических условиях, а также отдельные группы aberrации: кома, трилистник, сферическая aberrация и квадрафойл. Полученные данные представлены в Таблице 13 и на Рисунке 18.

RMS OPD статистически значимо уменьшилась на 3-й день после операции во всех исследуемых группах ( $p_w < 0,05$ ). В I группе RMS OPD снизились на  $4,917 \pm 2,03$ , с  $5,610 \pm 2,394$  до  $1,319 \pm 0,867$  мкм, ( $p_w = 0,043$ ). Во II группе RMS OPD снизились на  $2,324 \pm 2,076$ , с  $4,252 \pm 2,599$  до  $2,405 \pm 1,161$  мкм, ( $p_w = 0,045$ ). Аналогичная тенденция прослеживалась в III группе, RMS OPD снизились с  $5,605 \pm 2,648$  до  $1,525 \pm 0,816$ , уменьшившись на  $4,091 \pm 0,725$  мкм, ( $p_w = 0,009$ ). Через 3 месяца наблюдения RMS OPD еще снизились в I группе на  $0,230 \pm 0,125$  ( $p_w = 0,009$ ), во II группе – на  $1,326 \pm 1,444$  ( $p_{k-w} = 0,045$ ), в III группе – на  $0,396 \pm 1,086$



мкм ( $p_w=0,017$ ). В период наблюдения 6–12 месяцев RMS OPD оставались без значимых изменений во всех трех группах исследования ( $p_w>0,05$ ). Статистически значимых отличий между группами на протяжении всего периода исследования не выявлено ( $p_{k-w}>0,05$ ).

Таблица 13 – Сравнительные данные средней квадратичной ошибки (RMS OPD) суммарного волнового фронта до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M\pm\sigma$ ,  $n=77$ )

Средняя квадратичная ошибка суммарного волнового фронта	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n = 27$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	$P_{k-w}$
до операции	$5,610 \pm 2,394$ (1,818-8,597)	$4,252 \pm 2,599$ (1,366-10,996)	$5,605 \pm 2,648$ (0,736-9,128)	0,410
на 3-й день	$1,319 \pm 0,867$ (0,324-2,954)	$2,405 \pm 1,161$ (0,306-4,233)	$1,525 \pm 0,816$ (0,324-2,954)	0,080
3 мес.	$1,181 \pm 0,424$ (0,896-1,669)	$1,226 \pm 0,500$ (0,444-1,901)	$1,166 \pm 0,359$ (0,358-1,553)	0,090
6 мес.	$1,019 \pm 0,296$ (0,896-0,998)	$1,238 \pm 0,435$ (0,448-1,908)	$1,180 \pm 0,254$ (0,358-1,553)	0,412
12 мес.	$1,020 \pm 0,125$ (0,890-0,988)	$1,228 \pm 0,550$ (0,446-1,901)	$1,170 \pm 0,359$ (0,358-1,553)	0,909

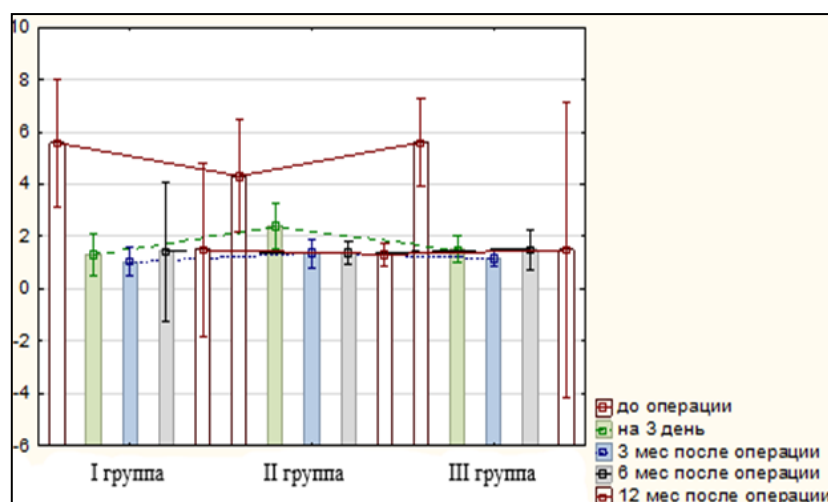


Рисунок 18 – Изменение показателей средней квадратичной ошибки суммарного волнового фронта в группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Роговичные аберрации статистически значимо различались между группами в 3,0- и 6,0-миллиметровой зоне на 3-й день после операции с наибольшими значениями во II группе исследования ( $p_{k-w}=0,039$ ) с последующей стабилизацией показателей к 3-му месяцу наблюдения, что связано с преходящим отеком роговицы в зоне аркуатных разрезов в раннем послеоперационном периоде (Таблицы 14, 15 и Рисунки 19, 20).

Таблица 14 – Динамика изменений роговичных аберраций в 3,0 миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	Зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	3,0 мм	$0,11 \pm 0,12$	$0,15 \pm 0,09^*$	$0,08 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n = 27$ )	3,0 мм	$0,13 \pm 0,07$	$0,28 \pm 0,33^*$	$0,11 \pm 0,04$	$0,10 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,06$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	3,0 мм	$0,08 \pm 0,06$	$0,17 \pm 0,11^*$	$0,07 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,03$
$P_{k-w}$		0,244	0,087	0,379	0,136	0,136

\*Разница между группами статистически значима ( $p < 0,05$ ).

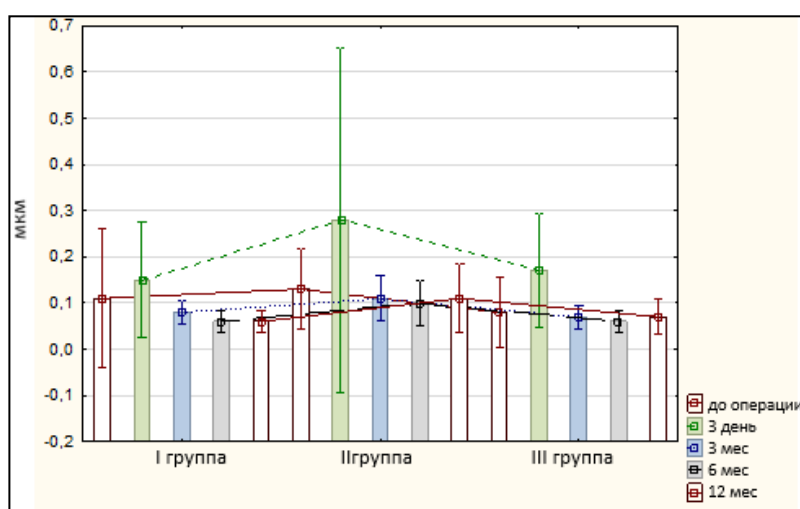


Рисунок 19 – Динамика изменений роговичных аберраций в 3,0-миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр (критерий Краскела-Уоллиса, мкм,  $n=77$ )

Попарные сравнения I и III групп не выявили статистически значимой разницы между группами ( $p_{m-u} > 0,05$ ).

Таблица 15 – Динамика изменений роговичных aberrаций в 6,0-миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	Зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,38 \pm 0,20$	$0,41 \pm 0,25^*$	$0,34 \pm 0,15$	$0,38 \pm 0,12$	$0,36 \pm 0,12$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=27$ )	6,0 мм	$0,56 \pm 0,36$	$0,97 \pm 0,72^*$	$0,51 \pm 0,24$	$0,42 \pm 0,11$	$0,43 \pm 0,15$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,38 \pm 0,21$	$0,44 \pm 0,29^*$	$0,34 \pm 0,11$	$0,36 \pm 0,06$	$0,32 \pm 0,08$
$P_{k-w}$		0,198	0,039	0,491	0,688	0,507

\*Разница между группами статистически значима ( $p < 0,05$ ).

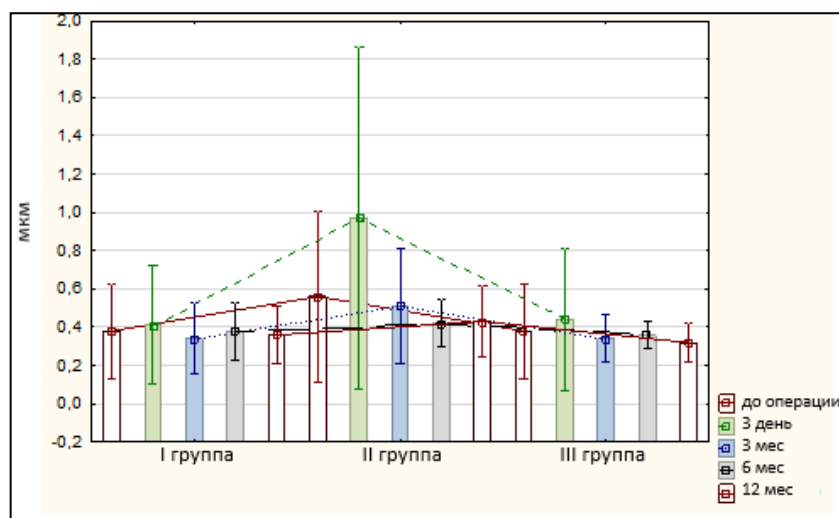


Рисунок 20 – Динамика изменений роговичных aberrаций в 6,0-миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр (критерий Краскела-Уоллиса, мкм,  $n = 77$ )

Межгрупповые значения внутренних aberrаций в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах не имели статистической значимости между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ). Данные по группам представлены в Таблицах 16, 17.

Таблица 16 – Динамика изменений внутренних аберраций в 3,0- миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	Зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	3,0 мм	$0,12 \pm 0,094$	$0,39 \pm 0,40$	$0,07 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=27$ )	3,0 мм	$0,22 \pm 0,19$	$0,26 \pm 0,36$	$0,15 \pm 0,10$	$0,11 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,02$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	3,0 мм	$0,12 \pm 0,09$	$0,44 \pm 0,46$	$0,08 \pm 0,10$	$0,08 \pm 0,13$	$0,08 \pm 0,13$
$P_{k-w}$		0,073	0,336	0,154	0,216	0,216

Таблица 17 – Динамика изменений внутренних аберраций в 6,0- миллиметровой зоне в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	Зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,42 \pm 0,15$	$0,57 \pm 0,21$	$0,33 \pm 0,24$	$0,32 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,03$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=27$ )	6,0 мм	$0,64 \pm 0,18$	$0,46 \pm 0,28$	$0,41 \pm 0,27$	$0,33 \pm 0,22$	$0,32 \pm 0,30$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,41 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,22$	$0,33 \pm 0,29$	$0,32 \pm 0,04$	$0,32 \pm 0,15$
$P_{k-w}$		0,290	0,281	0,122	0,939	0,939

Оптические аберрации до, на 3-й день и через 12 месяцев после операции представлены в Таблице 18.

На 3-й день после операции было выявлено статистически значимое снижение суммарных аберраций волнового фронта (Total) во всех трех группах исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ). Во II группе исследования на 3-й день после операции выявлено увеличение трейфоила (T Trefoil) и квадрафоила (T 4Foil) и сферической аберрации (T Sph) ( $p_w < 0,05$ ) с последующим снижением к 12-му месяцу наблюдения ( $p_w < 0,05$ ). Статистически значимыми между группами были различия

комы (Т Coma) на 3-й день и через 12 месяцев после операции ( $p_{k-w} < 0,05$ ) с наименьшими показателями в I группе, трейфола через 12 месяцев после операции ( $p_{k-w} < 0,05$ ).

Таблица 18 – Сравнительная оценка оптических aberrаций волнового фронта до, на 3-й день и через 12 месяцев после операции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

До 2 дптр	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n = 30$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 30$ )	$P_{k-w}$
	<b>До операции</b>			
Total	6,84 ± 1,51	5,14 ± 3,19	6,93 ± 2,50	0,362
T Coma	0,94 ± 0,37	0,45 ± 0,55	1,79 ± 0,65	0,107
T Trefoil	1,11 ± 1,30	0,64 ± 0,59	1,79 ± 0,44	0,445
T 4Foil	0,29 ± 0,22	0,24 ± 0,02	0,76 ± 0,55	0,323
T Sph	0,64 ± 0,06	0,26 ± 0,02	0,75 ± 0,25	0,316
	<b>На 3-й день</b>			
Total	1,93 ± 0,07	2,56 ± 1,24	2,24 ± 2,13	0,050
T Coma	0,31 ± 0,12	0,56 ± 0,04	0,75 ± 0,08	0,037
T Trefoil	0,86 ± 0,02	0,80 ± 0,35*	1,70 ± 0,24	0,189
T 4Foil	0,24 ± 0,24	0,39 ± 0,33*	0,63 ± 0,54	0,754
T Sph	0,17 ± 0,22	0,38 ± 0,02*	0,61 ± 0,48	0,076
	<b>Через год после операции</b>			
Total	1,68 ± 0,74	1,52 ± 0,69	4,45 ± 0,20	0,057
T Coma	0,19 ± 0,05	0,37 ± 0,08*	0,41 ± 0,20	0,032
T Trefoil	0,17 ± 0,04	0,29 ± 0,12*	0,76 ± 0,06	0,022
T 4Foil	0,16 ± 0,04	0,11 ± 0,04*	0,41 ± 0,05	0,056
T Sph	0,04 ± 0,03	0,29 ± 0,05	0,11 ± 0,03	0,594

\*Отличие статистически значимо по сравнению с предыдущими данными в группе ( $p < 0,05$ ).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что факоэмульсификация катаракты с имплантацией торической ИОЛ, выполненная с

использованием фемтосекундного лазера, способствует меньшему индуцированию aberrаций высшего порядка, в частности комы и трейфола, которые оказывают наибольшее влияние на качество полученного зрения.

Проведенный сравнительный анализ коррекции астигматизма до 2,0 дптр с использованием фемтолазер-ассистированных методов коррекции с ТИОЛ и в сочетании с ФЛ-АК в сравнении с традиционной методикой проведения ФЭК с ТИОЛ выявил сопоставимые показатели НКОЗ, МКОЗ, а также значений СЭ, сферического и цилиндрического компонентов рефракции ( $p_{k-w} > 0,05$ ) и статистически значимые отличия в коррекции роговичного астигматизма ( $p_{k-w} < 0,05$ ), что связано с особенностями технологии проведения операций. При этом была выявлена тенденция к более высоким результатам предсказуемости и эффективности коррекции астигматизма в I и II группах, что свидетельствует об эффективности применяемых методов с использованием предложенной методики маркировки при выполнении ФЛЭК с ТИОЛ и коррекции угла циклоторсии при ФЛЭК с ФЛ-АК. Анализ изменения волнового фронта выявил статистически значимые отличия aberrаций высшего порядка, в частности комы и трейфола, с наименьшими значениями в I группе исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ).

#### **4.2. Сравнительные клинико-функциональные исследования при коррекции астигматизма более 2,0 дптр**

Для изучения клинико-функциональных результатов был проведен сравнительный анализ клинико-функциональных результатов групп пациентов при коррекции астигматизма более 2,0 дптр фемтолазер-ассистированными методами проведения хирургии катаракты – ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК с имплантацией монофокальной ИОЛ в сравнении со стандартной методикой проведения ФЭК с ТИОЛ.

#### 4.2.1. Динамика показателей остроты зрения

Результаты НКОЗ и МКОЗ в исследуемых группах до и в различные периоды наблюдения представлены в Таблицах 19, 20.

Дооперационные значения не имели статистически значимой разницы между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ). На 3-й день после операции во всех группах отмечено статистически значимое улучшение НКОЗ и МКОЗ по сравнению с дооперационными значениями ( $p_w < 0,05$ ).

Таблица 19 – Показатели НКОЗ до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n = 85$ )

Период наблюдения	НКОЗ			
	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	$P_{k-w}$
До операции	0,15±0,12	0,09±0,08	0,21±0,15	0,18
На 3 день	0,75±0,14	0,63±0,30	0,69±0,10	0,07
3 мес.	0,73±0,14	0,53±0,17	0,67±0,16	0,04*
6 мес.	0,73±0,13	0,57±0,22	0,69±0,16	0,04*
12 мес.	0,77±0,13	0,55±0,26	0,71±0,12	0,03*

\*Различия статистически значимы между группами ( $p_{k-w} < 0,05$ ).

Таблица 20 – Показатели МКОЗ до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Период наблюдения	МКОЗ			
	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	$P_{k-w}$
До операции	0,49±0,18	0,36±0,21	0,47±0,19	0,09
На 3 день	0,79±0,22	0,67±0,27	0,73±0,11	0,08
3 мес.	0,71±0,18	0,62±0,30	0,70±0,24	0,39
6 мес.	0,78±0,19	0,65±0,26	0,72±0,19	0,11
12 мес.	0,77±0,18	0,64±0,25	0,71±0,14	0,36

На 3-й день после операции НКОЗ в I группе повысилась на  $0,58 \pm 0,23$  и достигла средних значений  $0,75 \pm 0,14$  ( $p_w < 0,05$ ). МКОЗ повысилась на  $0,34 \pm 0,19$ , достигнув  $0,79 \pm 0,22$  ( $p_w < 0,05$ ). Через 3 месяца НКОЗ снизилась в среднем на  $0,02 \pm 0,01$  ( $p_w > 0,05$ ) и оставалась практически без изменений до 6-12 месяца наблюдения ( $p_w > 0,05$ ). МКОЗ уменьшилась к 3-му месяцу на  $0,11 \pm 0,05$ , составив  $0,71 \pm 0,18$  ( $p_w = 0,326$ ), с последующим повышением к 6-му месяцу на  $0,05 \pm 0,01$  до  $0,78 \pm 0,19$  ( $p_w = 0,685$ ).

У пациентов II группы НКОЗ на 3-й день операции НКОЗ повысилась на  $0,49 \pm 0,31$  и составила  $0,63 \pm 0,30$  ( $p_w < 0,05$ ), МКОЗ – на  $0,26 \pm 0,18$ , составив  $0,67 \pm 0,30$  ( $p_w = 0,002$ ). Через 3 месяца после операции НКОЗ снизилась на  $0,10 \pm 0,05$  до  $0,53 \pm 0,17$  ( $p_w = 0,483$ ), МКОЗ уменьшилась на  $0,05 \pm 0,02$ , составив  $0,62 \pm 0,30$  ( $p_w = 0,685$ ). К 6-му месяцу НКОЗ незначительно повысилась на  $0,05 \pm 0,02$  достигнув  $0,57 \pm 0,22$  ( $p_w = 0,875$ ), незначительно изменившись к 12-му месяцу наблюдения ( $p_w > 0,05$ ). МКОЗ к 6-му месяцу составила  $0,65 \pm 0,26$ , к 12-му месяцу –  $0,64 \pm 0,25$  ( $p_w > 0,05$ ).

В III группе исследования НКОЗ повысилась на  $0,47 \pm 0,19$ , достигнув  $0,69 \pm 0,10$  ( $p_w < 0,05$ ), МКОЗ повысилась на  $0,30 \pm 0,16$  составив  $0,73 \pm 0,11$  ( $p_w < 0,05$ ). К 3-му месяцу НКОЗ снизилась на  $0,04 \pm 0,23$ , составив  $0,67 \pm 0,16$  ( $p_w = 0,179$ ), с последующим незначительным повышением на  $0,02 \pm 0,10$  к 6 месяцу до  $0,69 \pm 0,16$  ( $p_w = 0,930$ ) и на  $0,02 \pm 0,01$  к 12 месяцу до  $0,71 \pm 0,12$  ( $p_w = 0,170$ ). Показатели МКОЗ стабилизировались к 6–12-му месяцу, составив  $0,72 \pm 0,19$  ( $p_w = 0,910$ ) и  $0,71 \pm 0,14$  ( $p_w = 0,180$ ) соответственно.

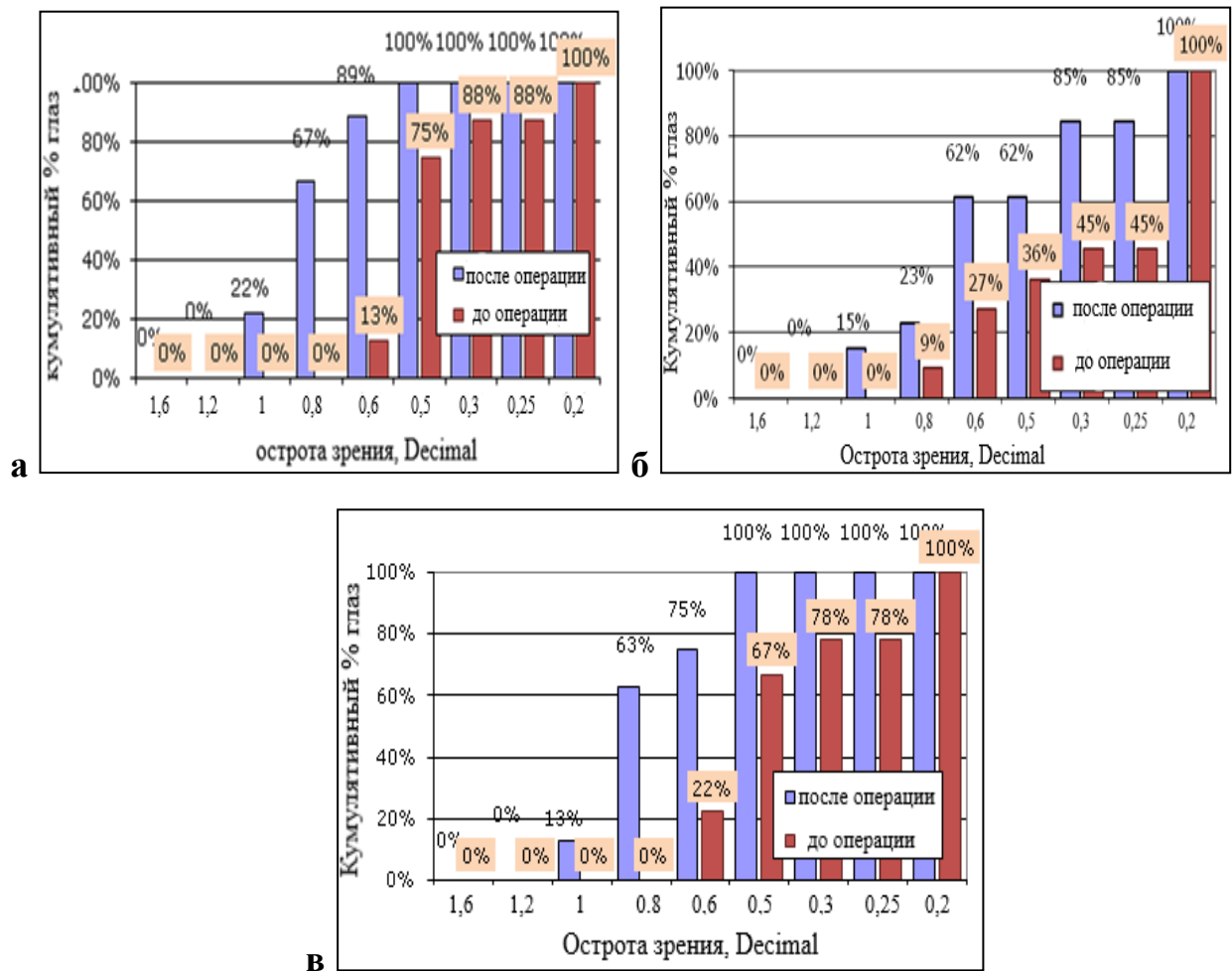
Сравнительный анализ НКОЗ между группами имел статистически значимую разницу через 3, 6 и 12 месяцев после операции ( $p_{k-w} < 0,05$ ) с тенденцией к более высоким показателям в I группе исследования. При этом



НКОЗ и МКОЗ между I и III группами не имела достоверных различий ( $p_{m-u} > 0,05$ ). Таким образом, при коррекции астигматизма более 2,0 дптр наиболее высокие значения НКОЗ были получены при имплантации ТИОЛ. Во II группе НКОЗ была статистически значимо ниже по сравнению с I и III группами ( $p_{kw} < 0,05$ ).

#### 4.2.2. Эффективность и безопасность

Данные эффективности коррекции исследуемых методов представлены на Рисунке 21.



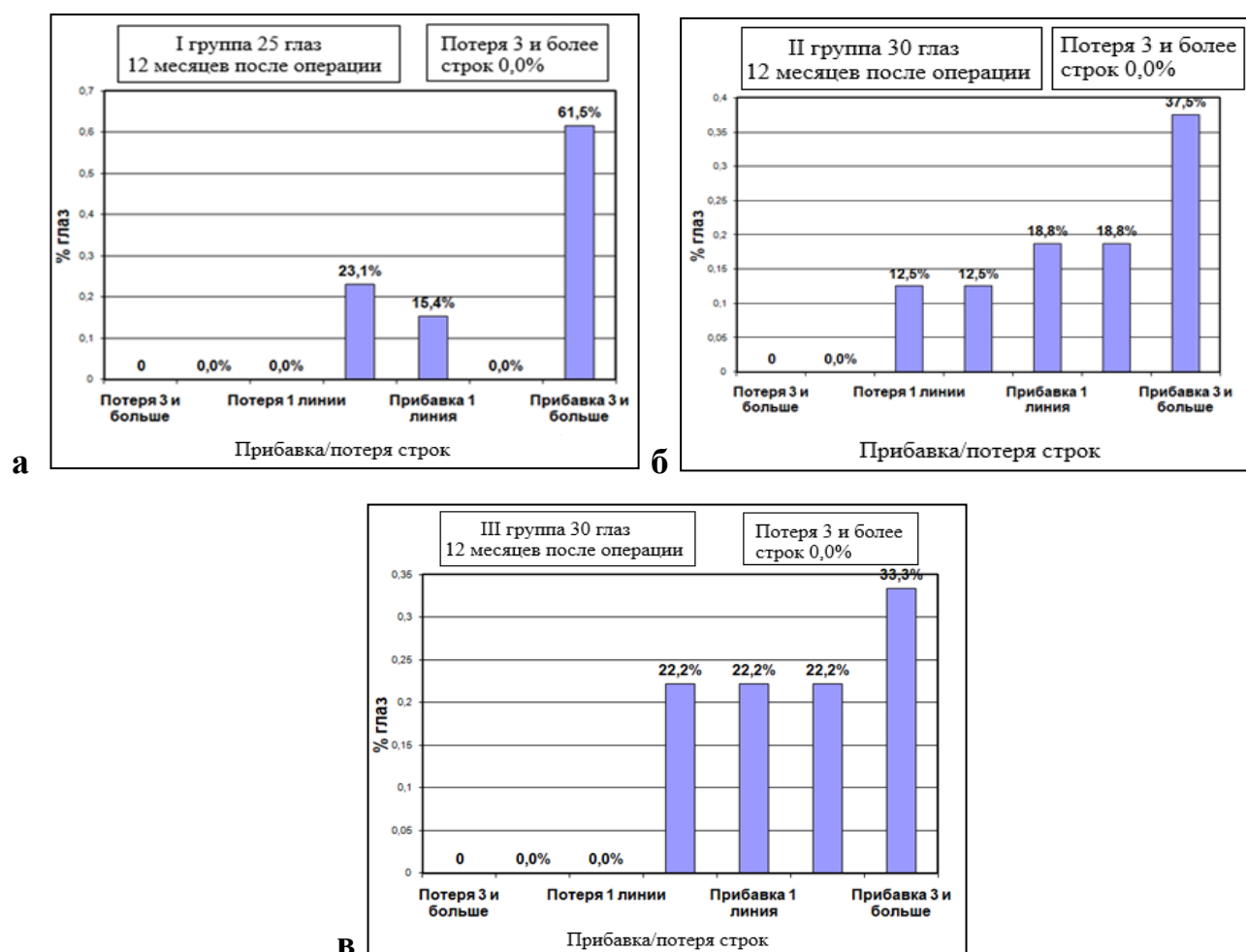
- а – эффективность коррекции в I группе;
- б – эффективность коррекции во II группе;
- в – эффективность коррекции в III группе.

Рисунок 21 – Кумулятивное представление эффективности коррекции

в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

Анализ эффективности коррекции в I группе выявил остроту зрения 1,0 в 22% случаев (6 глаз), 0,8 и выше – в 67% случаев (17 глаз), во II группе 1,0 достигнута в 15% случаев (4 глаза), 0,8 и выше – в 23% (7 глаз), в III группе 1,0 – в 13% (4 глаза), 0,8 – в 63% случаев (18 глаз). При этом эффективность коррекции в пределах  $\geq 0,5$  составила 100% в I и III группах исследования, во II группе  $\geq 0,5$  – 62%, что говорит о недостаточной эффективности метода ФЛЭК с ФЛ-АК.

Данные по безопасности проводимых методов коррекции представлены на Рисунке 22.



а – оценка безопасности в I группе;

б – оценка безопасности во II группе;

в – оценка безопасности в III группе.

Рисунок 22 – Графики безопасности в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

Полученные результаты не сопровождались потерей строк в I и III группах исследования. В I группе прибавка 3 и более строк составила 61,5% (15 глаз), во II – 37,6% строк (11 глаз), в III группе – 33,3% строк (10 глаз). Во II группе потеря одной строки наблюдалась в 12,5% глаз (4 глаза). ФЛЭЖ с ФЛ-АК может привести к непредвиденным визуальным результатам, сопровождающимся возможной потерей строк.

#### 4.2.3. Динамика изменений рефракционных показателей

Данные по динамике цилиндрического компонента рефракции на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции представлены в Таблице 21 и на Рисунке 23. На 3-й день после операции цилиндрический компонент рефракции статистически значимо снизился во всех трех группах исследования ( $p_w > 0,05$ ).

В I группе рефракционный астигматизм снизился с  $-2,60 \pm 0,84$  до  $-0,65 \pm 0,33$ , что в среднем составило на  $1,83 \pm 0,92$  ( $p_w = 0,030$ ), с последующим снижением через 3 месяца на  $0,02 \pm 0,01$ , что составило  $-0,67 \pm 0,46$ , через 6 месяцев – на  $0,02 \pm 0,05$ , достигнув  $-0,50 \pm 0,34$ , к 12-му месяцу незначительно изменившись на  $0,06 \pm 0,10$  и составив  $-0,58 \pm 0,27$  ( $p_w > 0,05$ ).

Во II группе цилиндрический компонент по данным рефракции снизился с  $-2,75 \pm 0,50$  до  $-1,44 \pm 0,81$  ( $p_w = 0,001$ ), что в среднем составило на  $-1,09 \pm 0,69$ , с последующим увеличением к 6-му месяцу наблюдения на  $0,19 \pm 0,09$ , составив  $-1,57 \pm 0,58$ , с последующим уменьшением до  $-1,51 \pm 0,72$  к 12-му месяцу наблюдения ( $p_w > 0,05$ ).

В III группе цилиндрический компонент рефракции уменьшился с  $-2,25 \pm 0,60$  до  $-0,66 \pm 0,35$ , что составило на  $1,78 \pm 0,94$  ( $p_w = 0,001$ ), уменьшившись к 3-му месяцу на  $0,08 \pm 0,40$  и снизившись к 6-му месяцу еще на  $0,01 \pm 0,03$ , с последующей стабилизацией до 12 месяцев составив  $-0,61 \pm 0,31$  ( $p_w > 0,05$ ).

Таблица 21 – Показатели динамики цилиндрического компонента рефракции до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Период наблюдения	До операции	После операции	После 3 мес.	После 6 мес.	После 12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	$-2,60 \pm 0,84$	$-0,65 \pm 0,33$	$-0,67 \pm 0,46$	$-0,50 \pm 0,34$	$-0,58 \pm 0,27$
II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	$-2,75 \pm 0,50$	$-1,44 \pm 0,81^*$	$-1,50 \pm 0,58^*$	$-1,57 \pm 0,58^*$	$-1,51 \pm 0,72^*$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	$-2,25 \pm 0,60$	$-0,66 \pm 0,35$	$-0,61 \pm 0,32$	$-0,60 \pm 0,36$	$-0,61 \pm 0,31$
$P_{k-w}$	0,480	0,002	0,001	0,013	0,002

\* Отличие статистически значимо относительно исходных данных ( $p < 0,05$ ).

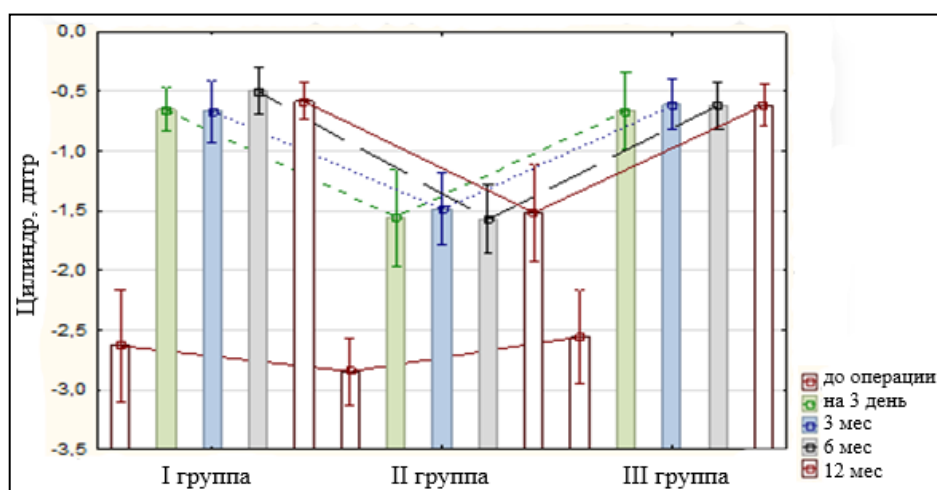


Рисунок 23 – Динамика цилиндрического компонента рефракции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

Цилиндрический компонент рефракции статистически значимо отличался между группами в течение всего периода наблюдения и имел наибольшее значение во II группе исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ). Сравнительный анализ выявил статистически значимые различия между группами на 3-й день после операции ( $p_{k-w} = 0,002$ ), через 3 месяца ( $p_{k-w} = 0,001$ ), через 6 месяцев ( $p_{k-w} = 0,013$ ), через 12

месяцев после операции ( $p_{k-w}=0,002$ ). Попарное межгрупповое сравнение не выявило статистически значимой разницы между I и III группами ( $p_{m-u}>0,05$ ).

Средние значения сферического компонента рефракции и СЭ в I, II и III группах до и в различные сроки после операции представлены в Таблицах 22 и 23.

Таблица 22 – Изменение сферического компонента у пациентов в группах более 2,0 дптр ( $M\pm\sigma$ ,  $n=85$ )

Параметр	Срок операции				
	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, n=25)</b>					
Сфера, дптр	-0,35±5,87	-0,10 ± 1,00	-0,07 ± 0,62	-0,07 ± 0,55	-0,03±0,45
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n=30)</b>					
Сфера, дптр	-0,36±5,34	-0,17 ± 0,93	-0,11 ± 0,97	-0,12 ± 0,90	-0,12 ± 0,66
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n=30)</b>					
Сфера, дптр	-0,31±6,52	-0,25 ± 0,60	-0,20 ± 0,65	-0,16 ± 0,56	-0,10 ± 0,61
$P_{k-w}$	0,070	0,410	0,950	0,790	0,809

Таблица 23 – Изменение сферозэквивалента у пациентов в группах более 2,0 дптр ( $M\pm\sigma$ ,  $n=85$ )

Параметр	Срок операции				
	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, n=25)</b>					
СЭ, дптр	-1,63±5,57	-0,42 ± 0,78	-0,40 ± 0,71	-0,32 ± 0,52	-0,32 ± 0,19
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n=30)</b>					
СЭ, дптр	-1,38±3,5	-0,89 ± 0,30*	-0,86 ± 0,99*	-0,87 ± 0,52*	-0,87 ± 0,55*
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n=30)</b>					
СЭ, дптр	-1,5±6,42	-0,58 ± 0,61	-0,31 ± 0,73	-0,46 ± 0,62	-0,41 ± 0,21
$P_{k-w}$	0,091	0,015	0,170	0,830	0,802

\*Показатели статистически значимы относительно других групп

( $P_{k-w}<0,05$ ).

Показатели коррекции сферического компонента рефракции выявили статистически незначимую разницу между группами в течение всего периода наблюдения ( $p_{k-w} > 0,05$ ). При этом показатели СЭ имели статистически значимую разницу между группами на 3-й день после операции ( $p_{k-w} = 0,010$ ), через 3 месяца ( $p_{k-w} = 0,012$ ), 6 месяцев ( $p_{k-w} = 0,011$ ), 12 месяцев ( $p_{k-w} = 0,010$ ), с наибольшими значениями во II группе исследования, что связано с большими значениями остаточного цилиндра и говорит о менее эффективной коррекции астигматизма более 2,0 дптр методом ФЛЭК с ФЛ-АК.

Попарный сравнительный анализ по СЭ выявил меньшие значения в I группе исследования по сравнению с III группой, однако данные показатели не имели статистической значимости ( $p_{k-w} > 0,05$ ).

#### 4.2.4. Изменение роговичного астигматизма

Данные роговичного астигматизма представлены в Таблице 24.

Показатели роговичного астигматизма по данным кератотопографа имели статистически значимые отличия на 3-й день ( $p_{k-w} = 0,0001$ ), через 3 ( $p_{k-w} = 0,006$ ), 6 ( $p_{k-w} = 0,001$ ) и 12 месяцев ( $p_{k-w} = 0,001$ ) после операции с наибольшими значениями во II группе исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ), что определяется технологией проведения коррекции с ФЛ-АК.

В I и III группах средние показатели роговичного астигматизма имели незначительные, статистически незначимые изменения в течение всего периода наблюдения ( $p_w > 0,05$ ). В I группе роговичный астигматизм увеличился на 3-й день после операции с  $3,38 \pm 0,63$  до  $3,49 \pm 0,66$ , что в среднем составило на  $0,10 \pm 0,02$  ( $p_w = 0,870$ ). Во II группе имелось наиболее существенное снижение роговичного астигматизма с  $2,74 \pm 0,84$  до  $1,59 \pm 0,96$ , что составило на  $1,25 \pm 0,60$  ( $p_w = 0,009$ ) и сопровождалось снижением  $K_{\max}$  с  $44,99 \pm 1,61$  до  $44,20 \pm 1,62$  и увеличением  $K_{\min}$  с  $42,34 \pm 1,65$  до  $42,97 \pm 1,66$ . В III группе – показатели

увеличились с  $3,02 \pm 0,78$  до  $3,24 \pm 1,65$ , что составило на  $0,22 \pm 0,10$  ( $p_w = 0,007$ ). К 3-му месяцу наблюдения величина роговичного астигматизма снизилась на  $0,47 \pm 0,23$  ( $p_w = 0,504$ ) и оставалась стабильной до 12-го месяца наблюдения ( $p_w = 0,987$ ).

Таблица 24 – Изменение роговичного астигматизма в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

Период наблюдения	До операции	После операции	3 мес.	6 мес.	12 мес
<b>I группа (ФЛК с ТИОЛ, n = 25)</b>					
Роговичный астигматизм	$3,38 \pm 0,63$	$3,49 \pm 0,66$	$3,27 \pm 1,14$	$3,28 \pm 1,15$	$3,27 \pm 1,18$
Kmin, дптр	$45,24 \pm 1,16$	$45,51 \pm 1,35$	$45,75 \pm 1,41$	$45,75 \pm 1,41$	$45,75 \pm 1,41$
Kmax, дптр	$41,85 \pm 1,08$	$42,01 \pm 1,35$	$42,02 \pm 1,12$	$42,02 \pm 1,12$	$42,02 \pm 1,12$
<b>II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, n = 30)</b>					
Роговичный астигматизм	$2,74 \pm 0,84$	$1,59 \pm 0,96^*$	$1,18 \pm 0,69^*$	$1,28 \pm 0,60^*$	$1,27 \pm 0,60^*$
Kmin, дптр	$42,34 \pm 1,65$	$42,58 \pm 2,36$	$42,97 \pm 1,62$	$42,97 \pm 1,62$	$42,97 \pm 1,62$
Kmax, дптр	$44,99 \pm 1,61$	$43,97 \pm 2,02$	$44,20 \pm 1,66$	$44,20 \pm 1,66$	$44,20 \pm 1,66$
<b>III группа (ФЭК с ТИОЛ, n = 30)</b>					
Роговичный астигматизм	$3,02 \pm 0,78$	$3,24 \pm 1,65$	$3,34 \pm 1,0$	$3,30 \pm 1,5$	$3,31 \pm 1,0$
Kmin, дптр	$45,32 \pm 1,45$	$45,40 \pm 1,98$	$45,55 \pm 1,86$	$45,55 \pm 1,86$	$45,55 \pm 1,86$
Kmax, дптр	$42,30 \pm 1,34$	$41,85 \pm 1,56$	$42,28 \pm 1,70$	$42,28 \pm 1,70$	$42,28 \pm 1,70$
$P_{k-w}$ (роговичный астигматизм)	0,580	0,0001	0,006	0,001	0,001

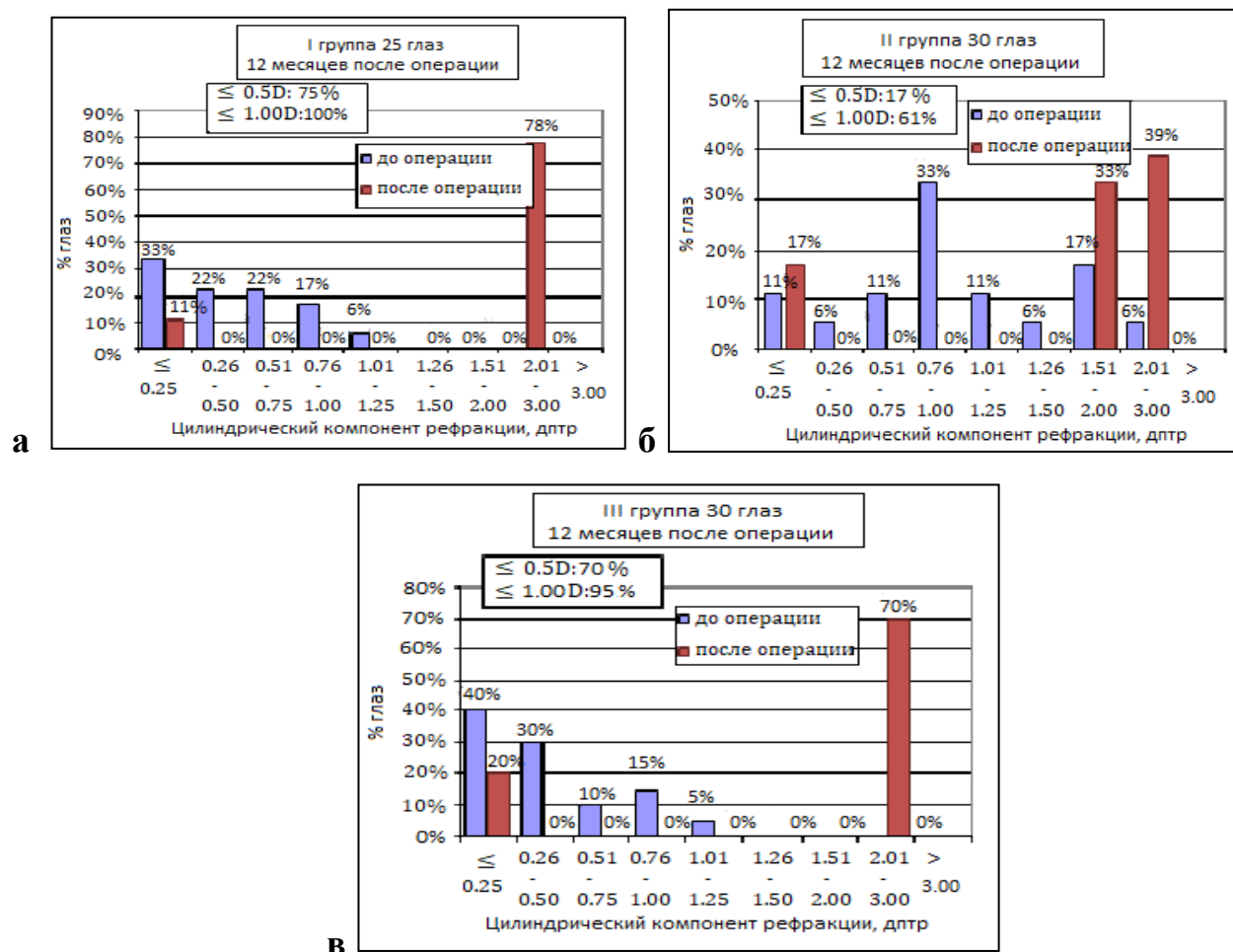
\*Показатели статистически значимы относительно других групп ( $p_{k-w} < 0,05$ )

Наиболее значимые изменения роговичного астигматизма наблюдались во II группе исследования, что связано с технологией проведения операции при ФЛ-АК. Межгрупповые сравнения показателей роговичного астигматизма I и III

групп статистически значимых различий в течение всего периода наблюдения не выявили ( $p_{m-u} > 0,05$ ).

#### 4.2.5. Предсказуемость проводимых методов коррекции

Предсказуемость коррекции цилиндрического компонента рефракции представлена на Рисунке 24.



а – предсказуемость коррекции в I группе;

б – предсказуемость коррекции во II группе;

в – предсказуемость коррекции в III группе.

Рисунок 24 – Предсказуемость коррекции цилиндрического компонента рефракции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

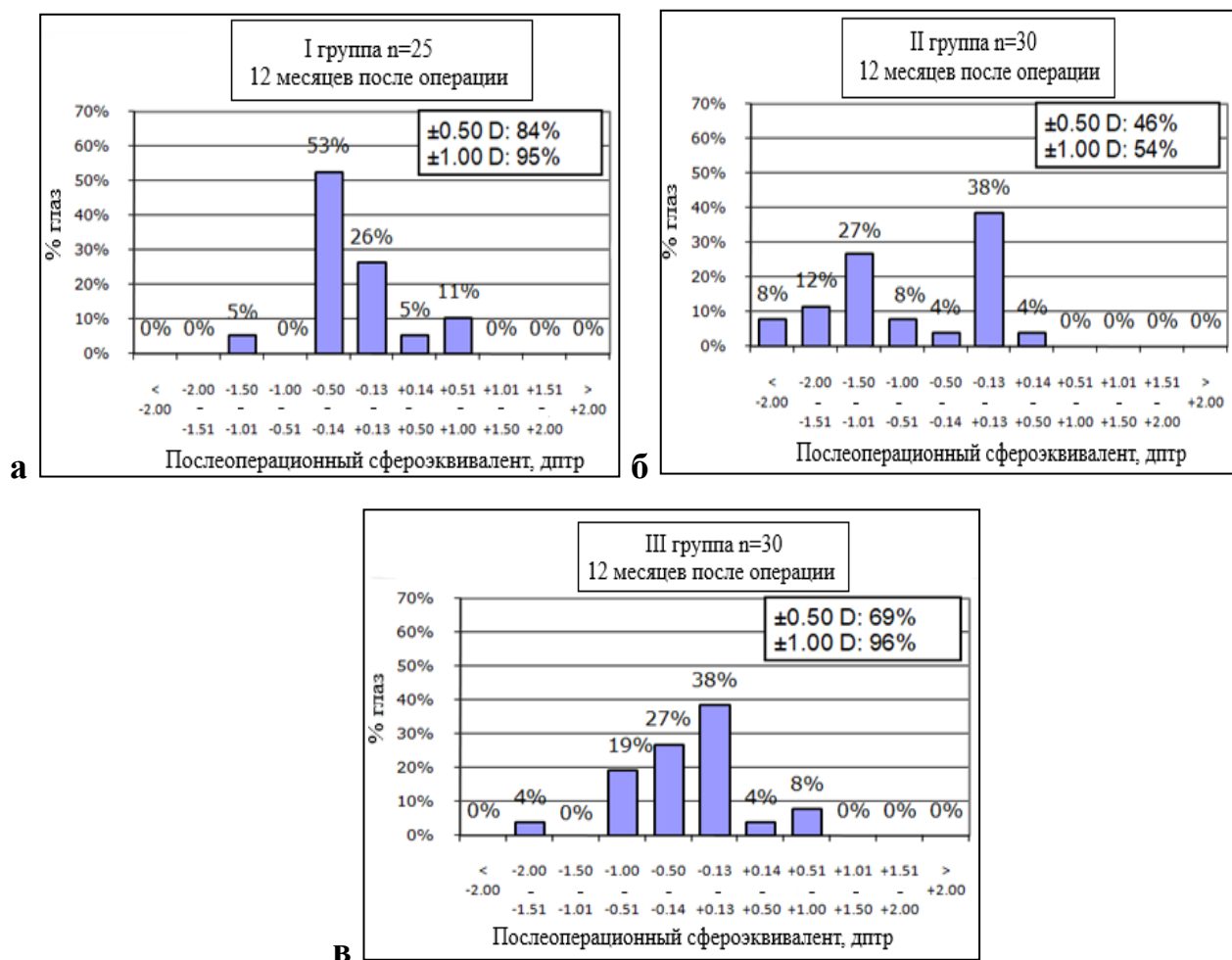


Через 12 месяцев после операции предсказуемость цилиндрического компонента рефракции составила в I группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 75%,  $\pm 1,0$  дптр – 100%, во II группе  $\pm 0,5$  дптр – 17%,  $\pm 1,0$  – 61%, в III группе  $\pm 0,5$  дптр – 70%,  $\pm 1,0$  – 95%.

Пациентов с достигнутой коррекцией в пределах  $\pm 0,5$  в процентном соотношении было больше в I группе на 5% по сравнению с III группой и на 23% больше по сравнению со II группой, что является показателем более эффективной коррекции астигматизма более 2,0 дптр ТИОЛ, по сравнению с ФЛ-АК при хирургическом лечении катаракты ( $p < 0,05$ ).

Предсказуемость проводимых методов коррекции по СЭ в группах представлена на Рисунке 25.

Через 12 месяцев после операции наименьший разброс полученных значений определялся в I группе исследования и превышал 1,0 дптр в 5% случаев, по сравнению с 55 и 23% во II и III группах соответственно ( $p < 0,05$ ). В I группе предсказуемость в пределах  $\pm 0,5$  дптр составила 84%, во II группе  $\pm 0,5$  дптр – 46%, в III группе  $\pm 0,5$  дптр – 69%, что показало статистически значимое различие между исследуемыми группами и более близкие к нулю показатели в I группе ( $p < 0,05$ ). Предсказуемость в I группе в пределах  $\pm 1,0$  дптр составила 95%, во II группе  $\pm 1,0$  дптр – 54%, в III группе  $\pm 1,0$  – 96% и носила статистически незначимый характер ( $p > 0,05$ ).



а – предсказуемость СЭ в I группе;

б – предсказуемость СЭ во II группе;

в – предсказуемость СЭ в III группе.

Рисунок 25 – Предсказуемость по СЭ  
в группах с астигматизмом более 2,0 дптр

На основании сравнительной оценки клиничко-функциональных результатов исследуемых групп пациентов при коррекции астигматизма более 2,0 дптр было показано, что методы коррекции с имплантацией ТИОЛ обеспечивали более высокие показатели НКОЗ и более эффективно снижали цилиндрический компонент рефракции по сравнению с ФЛЭК с ФЛ-АК ( $p_{k-w} < 0,05$ ). В группе ФЛЭК с ТИОЛ была выявлена более высокая предсказуемости по СЭ ( $p < 0,05$ ), что говорит о предпочтительном использовании фемтолазерного сопровождения

при проведении факэмульсификации катаракты с имплантацией ТИОЛ при коррекции астигматизма более 2,0 дптр.

#### 4.2.6. Исследование волнового фронта

В Таблице 25 представлены результаты изменения RMS OPD, аберраций высшего порядка: роговичные и внутренние в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции (Рисунок 26).

Таблица 25 – Сравнительные данные средней квадратичной ошибки (RMS OPD) суммарного волнового фронта до и в различные сроки после операции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Средняя квадратичная ошибка суммарного волнового фронта	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	$P_{к-и}$
До операции	$5,073 \pm 2,709$ (0,325-10,896)	$7,285 \pm 4,930$ (1,004-18,808)	$6,764 \pm 3,119$ (3,966-11,461)	0,265
На 3 день после операции	$1,719 \pm 0,556^*$ (0,785-2,681)	$2,325 \pm 1,026^*$ (0,853-2,702)	$2,440 \pm 0,775^*$ (1,551-3,315)	0,120
3 мес. после операции	$1,695 \pm 0,510$ (0,786-2,637)	$1,742 \pm 0,427$ (1,206-2,220)	$2,298 \pm 1,225$ (0,672-3,617)	0,441
6 мес. после операции	$1,789 \pm 0,620$ (0,880-2,729)	$1,756 \pm 0,434$ (1,206-1,952)	$1,883 \pm 1,030$ (0,766-3,233)	0,566
12 мес. после операции	$1,752 \pm 0,557$ (0,880-2,500)	$1,743 \pm 0,427$ (1,206-1,900)	$1,873 \pm 1,346$ (0,810-2,724)	0,960

\*Данные статистически значимы по сравнению с дооперационными,  $p < 0,001$ .

Анализ RMS OPD выявил достоверное снижение средних значений во всех трех исследуемых группах по сравнению с дооперационными: в I группе на  $3,461 \pm 2,983$  ( $p_w=0,001$ ), во II группе – на  $5,172 \pm 5,324$  ( $p_w=0,012$ ), в III группе – на  $4,324 \pm 3,330$  ( $p_w=0,043$ ). К 3-му месяцу показатели продолжали снижаться в I группе – на  $0,659 \pm 0,742$  ( $p_w=0,313$ ), во II группе – на  $1,163 \pm 1,448$  ( $p_w=0,012$ ), в III группе – на  $0,142 \pm 0,649$  ( $p_w=0,500$ ). В период наблюдения от 6 до 12 месяцев

отмечалось статистически незначимое колебание показателей в пределах групп ( $p_w > 0,05$ ).

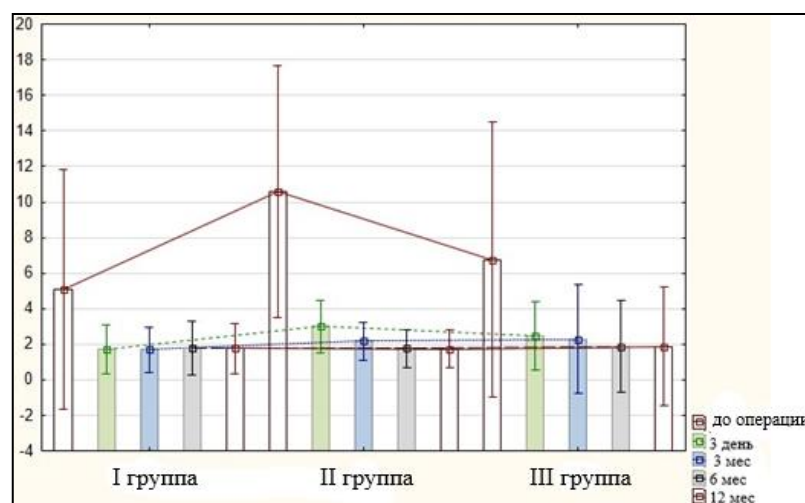


Рисунок 26– Изменение показателей средней квадратичной ошибки суммарного волнового фронта в группах с астигматизмом более 2,0 дптр (критерий Краскела-Уоллиса, мкм,  $n = 85$ )

Данные по роговичным абберациям представлены в Таблице 26–27 и на Рисунке 27–28.

Таблица 26 – Динамика изменений роговичных аббераций в 3,0-миллиметровой зоне в группе с астигматизмом более 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	3,0 мм	0,10 ± 0,03	0,17 ± 0,09	0,06 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,12
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	3,0 мм	0,10 ± 0,06	0,27 ± 0,25*	0,10 ± 0,05	0,09 ± 0,07	0,10 ± 0,06
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	3,0 мм	0,15 ± 0,06	0,18 ± 0,13	0,14 ± 0,10	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,08
$P_{k-w}$		0,539	0,042	0,284	0,564	0,564

\*Разница между группами статистически значима ( $p < 0,05$ ).

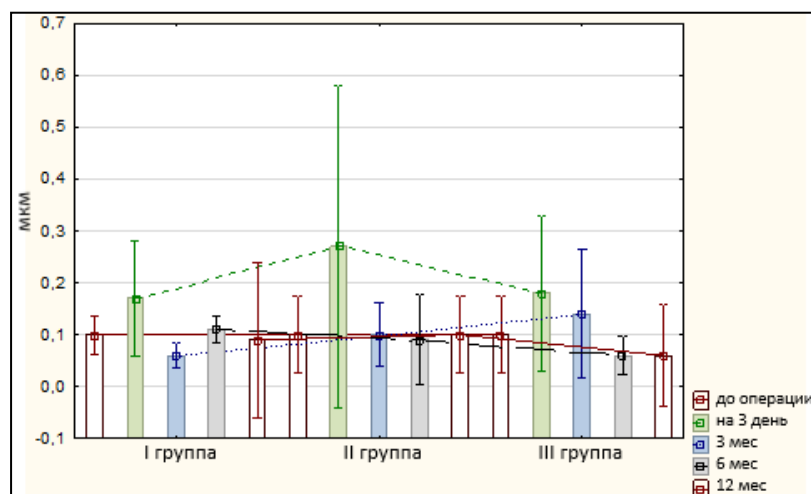


Рисунок 27 – Динамика изменений роговичных аберраций в 3,0- миллиметровой зоне в группах с астигматизмом более 2,0 дптр (критерий Краскела-Уоллиса, мкм, n=85)

Роговичные аберрации имели статистически значимую разницу между группами в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах на 3-й день после операции с наибольшими значениями во II группе ( $p_{k-w} < 0,042$ ). Попарный сравнительный анализ не выявил статистически значимой разницы между I и III группами в течение всего периода наблюдения ( $p_{m-u} > 0,05$ ). Статистически значимым было увеличение роговичных НОА во II группе на 3-й день после операции, которое составило – на  $0,052 \pm 0,09$  ( $p_w = 0,043$ ) и на  $0,169 \pm 0,389$  мкм ( $p_w = 0,048$ ) в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах соответственно. В I группе в 3,0-миллиметровой зоне роговичные НОА увеличились на  $0,023 \pm 0,16$  ( $p_w = 0,160$ ), в III группе – на  $0,086 \pm 0,122$  мкм ( $p_w = 0,150$ ). В 6,0-миллиметровой зоне в I группе увеличились на  $0,209 \pm 0,426$  ( $p_w = 0,610$ ), в III группе – на  $0,009 \pm 0,310$  мкм ( $p_w = 0,720$ ).

Вариабельность полученных результатов после операции во II группе была связана с преходящим отеком роговицы в зоне аркуатных разрезов в раннем послеоперационном периоде и является характерным для рефракционных оперативных вмешательств, проводимых на роговице, где стабилизация занимает определенное время. В целом к 3-му месяцу рефракционные данные были стабилизированы.

Таблица 27 – Динамика изменений роговичных аберраций в 6,0-миллиметровый зоне в группах с астигматизмом более 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,40 \pm 0,29$	$0,40 \pm 0,17$	$0,36 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,04$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	6,0 мм	$0,44 \pm 0,28$	$0,74 \pm 0,33^*$	$0,39 \pm 0,28$	$0,37 \pm 0,20$	$0,37 \pm 0,25$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	6,0 мм	$0,48 \pm 0,27$	$0,47 \pm 0,20$	$0,44 \pm 0,14$	$0,29 \pm 0,09$	$0,28 \pm 0,14$
$P_{k-w}$		0,580	0,040	0,818	0,778	0,778

\*Разница между группами статистически значима ( $p < 0,05$ ).

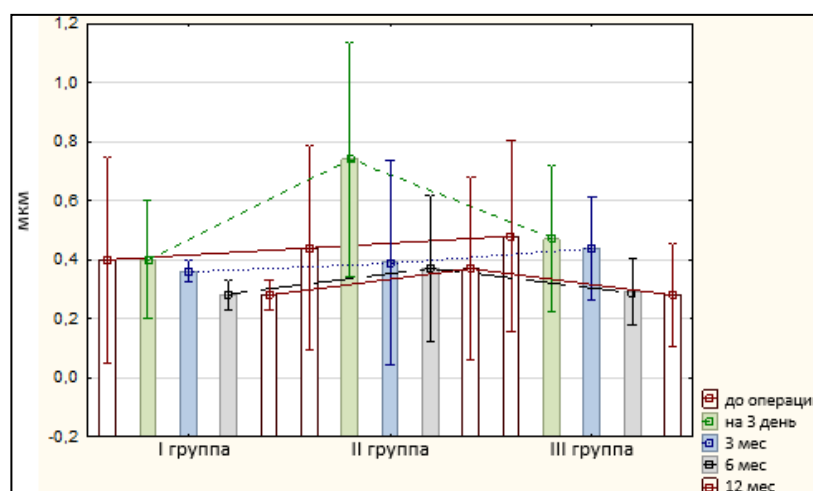


Рисунок 28 – Динамика изменений роговичных аберраций в 6,0- миллиметровой зоне в группах с астигматизмом более 2,0 дптр (критерий Краскела-Уоллиса, мкм,  $n=85$ )

Сравнительные данные внутренних аберраций представлены в Таблицах 28, 29. Исследование внутренних аберраций между группами в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах не выявило статистически значимой разницы между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ).

Таблица 28 – Изменение внутренних аберраций в 3,0-миллиметровой зоне в группах с астигматизмом более 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	Зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	3,0 мм	$0,11 \pm 0,06$	$0,13 \pm 0,07$	$0,03 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,09$	$0,14 \pm 0,11$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	3,0 мм	$0,14 \pm 0,08$	$0,24 \pm 0,35$	$0,10 \pm 0,07$	$0,09 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,03$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	3,0 мм	$0,12 \pm 0,11$	$0,39 \pm 0,40$	$0,11 \pm 0,07$	$0,08 \pm 0,06$	$0,08 \pm 0,04$
$P_{k-w}$		0,785	0,377	0,144	0,496	0,496

Таблица 29 – Изменение внутренних аберраций в 6,0-миллиметровой зоне в группах с астигматизмом более 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Группа	Послеоперационный срок наблюдения					
	зона	До операции	3-й день	3 мес.	6 мес.	12 мес.
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	6,0 мм	$0,48 \pm 0,21$	$0,60 \pm 0,26$	$0,44 \pm 0,38$	$0,46 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,76$
II группа (ФЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	6,0 мм	$0,51 \pm 0,27$	$0,53 \pm 0,16$	$0,49 \pm 0,09$	$0,48 \pm 0,08$	$0,45 \pm 0,09$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	6,0 мм	$0,34 \pm 0,20$	$0,83 \pm 0,78$	$0,52 \pm 0,34$	$0,50 \pm 0,30$	$0,50 \pm 0,34$
$P_{k-w}$	6,0 мм	0,580	0,040	0,818	0,778	0,040

Внутренние НОА на 3-й день после операции увеличились во всех трех группах исследования: в 3,0-миллиметровой зоне в I группе – на  $0,05 \pm 0,24$  ( $p_w=0,671$ ), во II группе – на  $0,015 \pm 0,05$  ( $p_w=0,480$ ), в III группе – на  $0,14 \pm 0,38$  мкм ( $p_w=0,05$ ); в 6,0-миллиметровой зоне в I группе – на  $0,18 \pm 0,48$  ( $p_w=0,751$ ), во II группе – на  $0,05 \pm 0,15$  ( $p_w=0,090$ ), в III группе – на  $0,20 \pm 0,38$  мкм ( $p_w=0,830$ ). Имелась тенденция к наибольшему значению внутренних НОА в III группе исследования на 3-й день после операции ( $p_w < 0,05$ ). Через 3 месяца наблюдения зафиксировано уменьшение внутренних НОА: в 3,0-миллиметровой зоне в I группе – на  $0,11 \pm 0,15$  ( $p_w=0,101$ ), во II группе – на  $0,13 \pm 0,08$  ( $p_w=0,179$ ), в III группе – на  $0,019 \pm 0,10$  ( $p_w=0,162$ ); в 6,0-миллиметровой зоне в I группе – на

$0,19 \pm 0,30$  ( $p_w=0,501$ ), во II группе – на  $0,52 \pm 0,28$  ( $p_w=0,094$ ), в III группе – на  $0,05 \pm 0,04$  ( $p_w=0,480$ ), и стабилизация показателей к 6-му месяцу.

Оптические аберрации до, на 3-й день и через 12 месяцев после операции представлены в Таблице 30.

На 3-й день после операции было выявлено статистически значимое снижение аберраций суммарных аберраций волнового фронта (Total) во всех трех группах исследования и увеличение трейфоила (T Trefoil) и квадрафоила (T 4Foil) во II группе ( $p_w < 0,05$ ). Статистически значимыми были изменения аберраций кома (T Coma) на 3-й день и через 12 месяцев после операции ( $p_{k-w}=0,034$  и  $p_{k-w}=0,035$  соответственно) и трейфоила (T Trefoil) на 3-й день после операции ( $p_{k-w}=0,043$ ), что связано с уменьшением дефокуса и процессом рубцевания роговицы во II группе. При межгрупповом исследовании статистически значимым было различие комы между I и III группами через 12 месяцев ( $p_{k-w}=0,015$ ).

В раннем послеоперационном периоде было выявлено статистически значимое снижение RMS OPD во всех трех группах исследования ( $p_{k-w} > 0,05$ ), статистически значимое увеличение роговичных аберраций в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах во II группе исследования с последующим снижением к 6–12-му месяцу наблюдения ( $p_w < 0,05$ ).

Внутренние НОА в раннем послеоперационном периоде не имели статистически значимой разницы, при этом в срок наблюдения через 3 месяца имели тенденцию к меньшим значениям в I группе исследования ( $p_{k-w} > 0,05$ ). Анализ изменения волнового фронта выявил статистически значимые отличия комы в течение всего периода наблюдения с наименьшими значениями в I группе исследования ( $p_{k-w} < 0,05$ ) и трейфоила на 3-й день после операции, которые наиболее значимо влияют на качественные характеристики полученного зрения.



Таблица 30 – Оптические aberrации волнового фронта до, на 3-й день и через 12 месяцев после операции в группах с астигматизмом более 2,0 дптр, мкм ( $M \pm \sigma$ ,  $n=85$ )

Аберрации	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=30$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=30$ )	$P_{k-w}$
	<b>До операции</b>			
Total	4,72±2,01	9,61±6,21	4,4±3,13	0,076
T Coma	0,28±0,20	0,36±0,33	0,32±0,36	0,822
T Trefoil	0,39±0,44	0,52±0,26	0,43±0,36	0,321
T 4Foil	0,24±0,23	0,11±0,06	0,17±0,02	0,508
T Sph	0,23±0,12	0,49±0,54	0,19±0,22	0,135
	<b>После операции</b>			
Total	2,21±0,91	2,44±1,08	2,11±1,50	0,413
T Coma	0,26±0,09	0,46±0,13	0,35±0,11	0,034*
T Trefoil	0,35±0,05	0,82±0,54	0,42±0,27	0,043*
T 4Foil	0,25±0,19	0,26±0,23	0,19±0,13	0,805
T Sph	0,19±0,09	0,21±0,16	0,18±0,21	0,299
	<b>Через год после операции</b>			
Total	1,78±0,93	1,79±0,52	1,76±1,03	0,908
T Coma	0,17±0,15	0,46±0,09	0,37±0,10	0,035*
T Trefoil	0,20±0,05	0,25±0,15	0,34±0,21	0,819
T 4Foil	0,10±0,05	0,18±0,14	0,15±0,15	0,543
T Sph	0,14±0,08	0,17±0,08	0,10±0,09	0,207

\*Отличие статистически значимо между группами ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, полученные клинико-функциональные результаты коррекции астигматизма с использованием фемтолазер-ассистированных методов с фемтолазерной аркуатной кератотомией и имплантацией торической ИОЛ в сравнении со стандартной факоэмульсификацией катаракты с имплантацией торической ИОЛ показали сопоставимую эффективность, прогнозируемость и безопасность при астигматизме до 2,0 дптр и более высокую эффективность в группе с имплантацией торических ИОЛ при коррекции астигматизма более 2,0

дптр, заключающуюся в лучшей прогнозируемости рефракционного результата по сферозэквиваленту ( $p_{k-w} < 0,05$ ). Технология проведения фактоэмульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением обеспечивала меньшее индуцирование аберраций высшего порядка, в частности кома и трейфойл.

### 4.3. Векторный анализ

Для изучения эффективности коррекции астигматизма в зависимости от технологии проведения операции был проведен сравнительный векторный анализ по Альпинсу и графический векторный анализ с диаграммой двойного угла.

#### 4.3.1. Сравнительная оценка результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа при коррекции астигматизма до 2,0 дптр

Данные сравнительного анализа значений основных векторов через 12 месяцев после операции представлены в Таблицах 31, 32.

Анализ основных векторных показателей не выявил статистически значимой разницы между группами через 12 месяцев наблюдения при коррекции астигматизма до 2,0 дптр ( $p_{k-w} > 0,05$ ) (Таблица 31).

Анализ интегральных показателей выявил меньшую тенденцию АЕ в I группе исследования, без статистической значимости ( $p_{k-w} = 0,653$ ). Индекс МЕ имел отрицательное значение во II группе исследования и положительные значения в I и III группах, что говорит о полученной недокоррекции методом ФЛ-АК и небольшой гиперкоррекции в группах с имплантацией ТИОЛ ( $p_{k-w} = 0,139$ ). СИ незначительно превышал 1,0 в I и III группах ( $1,05 \pm 0,30$  и  $1,01 \pm 0,53$ ) и был меньше 1,0 во II группе ( $0,72 \pm 0,43$ ), что говорит о незначительной гиперкоррекции в группе с имплантированными ТИОЛ и гипокоррекции в группе

ФЛЭК с ФЛ-АК ( $p_{k-w}=0,125$ ). Значения IOS имели более близкие к нулю показатели в I и III группах ( $0,52 \pm 0,47$  и  $0,59 \pm 0,25$ ).

Таблица 31 – Векторные показатели в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, ( $M \pm \sigma$ ,  $n=77$ )

Показатель	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n = 27$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 25$ )	$P_{k-w}$
ТИА	$1,45 \pm 0,57$ ах $79,39 \pm 49,8^\circ$	$1,76 \pm 0,42$ ах $87,12 \pm 56,3^\circ$	$1,66 \pm 0,61$ ах $94,00 \pm 34,11$	0,808
SIA	$1,50 \pm 0,66$ ах $70,3 \pm 62,3^\circ$	$1,30 \pm 0,88$ ах $83,06 \pm 53,18^\circ$	$1,59 \pm 0,47$ ах $104,77 \pm 43,09^\circ$	0,599
DV	$0,90 \pm 1,42$ ах $83,33 \pm 56,66^\circ$	$1,15 \pm 0,48$ ах $92,16 \pm 60,70^\circ$	$0,94 \pm 0,37$ ах $74,77 \pm 35,52$	0,897

Таблица 32 – Интегральные показатели в I и III группах с астигматизмом до 2,0 дптр

Группа	Параметр			
	АЕ (0)	МЕ (+ или-)	СИ (1,0)	IOS (0)
I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	$3,0 \pm 10,93$	$0,10 \pm 0,36$	$1,05 \pm 0,30$	$0,52 \pm 0,47$
II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК, $n=27$ )	$7,41 \pm 10,67$	$-0,46 \pm 0,70$	$0,72 \pm 0,43$	$0,65 \pm 0,25$
III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n=25$ )	$5,08 \pm 14,50$	$0,38 \pm 3,10$	$1,01 \pm 0,53$	$0,59 \pm 0,25$
$P_{k-w}$	0,653	0,139	0,125	0,731

Графический анализ коррекции астигматизма в исследуемых группах представлен на Рисунках 29–31. По данным графического векторного анализа координаты расположения центра в I группе составили до операции  $0,61$  ах  $197^\circ$ , после операции –  $0,34$  ах  $8^\circ$ , во II группе –  $0,24$  ах  $129^\circ$  до операции и  $0,20$  ах  $103^\circ$  после операции, в III группе –  $1,02$  ах  $8,8^\circ$  до операции и  $0,36$  ах  $332^\circ$  после операции.

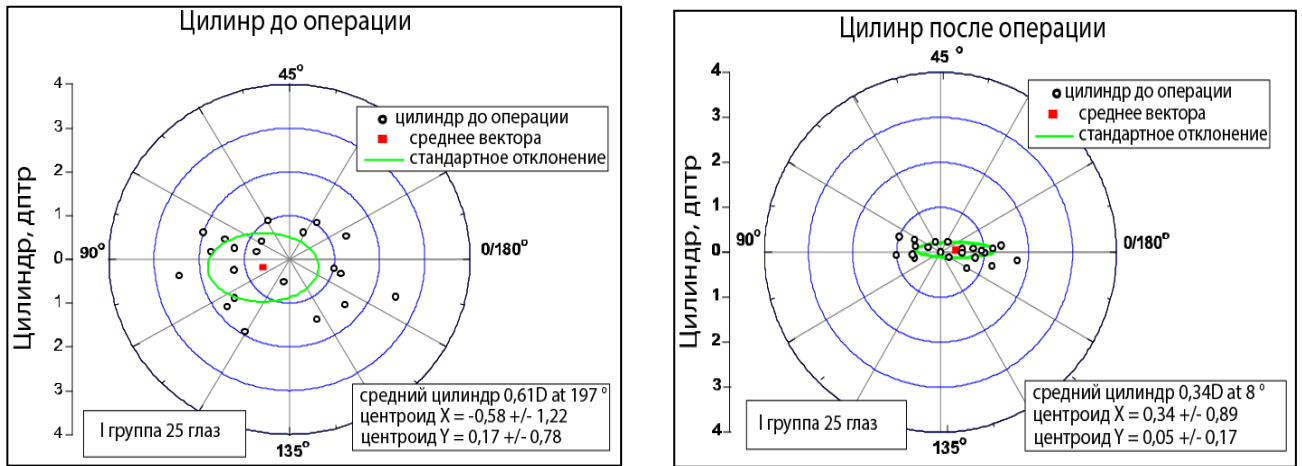


Рисунок 29 – Графический векторный анализ до и после операции  
в I группе с астигматизмом до 2,0 дптр

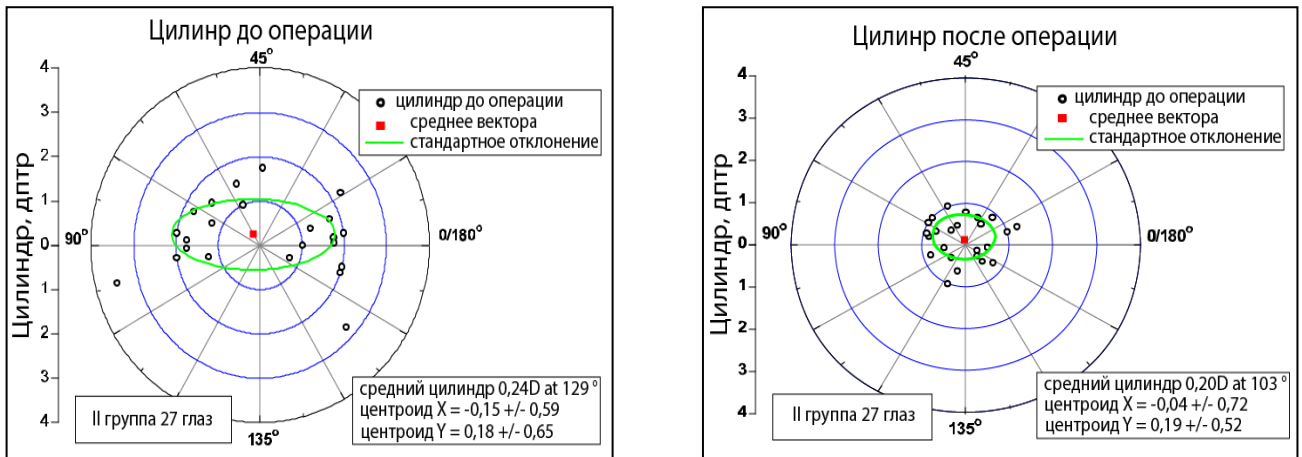


Рисунок 30 – Графический векторный анализ до и после операции  
во II группе с астигматизмом до 2,0 дптр

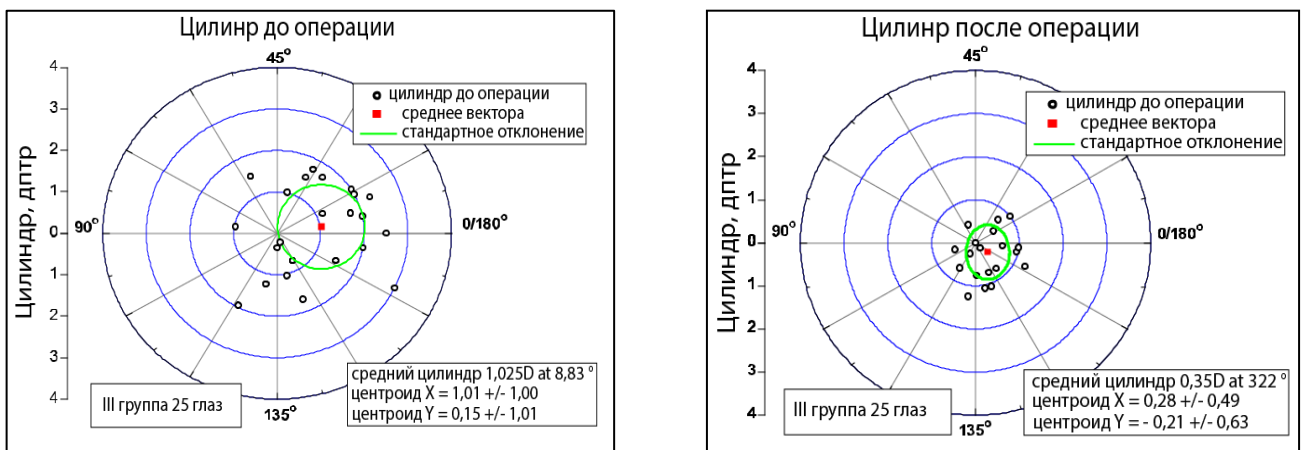


Рисунок 31 – Графический векторный анализ до и после операции  
в III группе с астигматизмом до 2,0 дптр

Проведенный графический векторный анализ выявил значительное снижение цилиндрического компонента рефракции при коррекции астигматизма до 2,0 дптр, что выражалось в уменьшении величины центроида и эллипса вокруг него. Данные показатели сопровождалось расположением центроида в правой половине графика в I и III группах, что говорит об имеющейся недокоррекции. Во II группе расположение центроида было незначительно смещено в левую половину, что свидетельствовало о несущественной гиперкоррекции.

Таким образом, проведенная сравнительная оценка результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа пациентов исследуемых групп, прооперированных по технологии фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической ИОЛ или с ФЛ-АК, в сравнении с традиционной факэмульсификацией катаракты с ТИОЛ не выявила статистически значимой разницы между группами, что свидетельствует о сопоставимости проводимых методов коррекции при астигматизме до 2,0 дптр и предоставляет хирургу возможность выбора метода хирургического лечения в зависимости от профессиональных навыков и технической обеспеченности.

#### **4.3.2. Сравнительная оценка результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа при коррекции астигматизма более 2,0 дптр**

Данные сравнительного анализа значений основных векторов через 12 месяцев после операции представлены в Таблицах 33–36. Была выявлена статистически значимая разница в значениях вектора SIA и DV между группами ( $p_{k-w}=0,046$  и  $0,037$  соответственно). При попарном сравнении основных групп (ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК) с группой контроля (ФЭК с ТИОЛ) была выявлена статистическая значимость ( $p_{m-u}<0,05$ ). Однако при применении поправки Бонферрони данные результаты утрачивали свою статистическую значимость ( $p>0,017$ ).

Таблица 33 – Векторные показатели в группах с астигматизмом более 2,0 дптр (M±σ, n=85)

Параметр/группа	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ)	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК)	III группа (ФЭК с ТИОЛ)	P <sub>k-w</sub>
TIA	2,63 ± 0,78 ах 89,35 ± 35,34	2,09 ± 0,81 ах 102,18 ± 59,52°	2,53 ± 0,81 ах 107,80 ± 35,89°	0,910
SIA	2,57 ± 1,32 ах 97,78 ± 46,79°	1,73 ± 1,12 ах 97,29 ± 48,76°	2,72 ± 0,99 ах 88,5 ± 47,7°	0,046
DV	0,72 ± 0,57 ах 63,41 ± 53,63	1,11 ± 0,48 ах 88,44 ± 59,38°	0,75 ± 0,66 ах 99,35 ± 62,10°	0,037

Таблица 34 – Векторные показатели в I и III группах с астигматизмом более 2,0 дптр, (M ± σ)

Параметр	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ)	III группа (ФЭК с ТИОЛ)	P <sub>m-u</sub>
TIA	2,63 ± 0,78 ах 89,35 ± 35,34	2,53 ± 0,81 ах 107,80 ± 35,89°	0,484
SIA	2,52 ± 1,32 ах 97,78 ± 46,79°	2,72 ± 0,99 ах 88,5 ± 47,7°	0,526
DV	0,65 ± 0,18 ах 63,41 ± 53,63	0,82 ± 0,36 ах 99,35 ± 62,10°	0,508

Таблица 35 – Сравнительные данные векторных показателей в II и III группах с астигматизмом более 2,0 дптр, (M ± σ)

Параметр	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК)	III группа (ФЭК с ТИОЛ)	P <sub>k-w</sub>
TIA	2,09 ± 0,81 ах 102,18 ± 59,52°	2,53 ± 0,81 ах 107,80 ± 35,89°	0,060
SIA	1,79 ± 1,14 ах 97,29 ± 48,76°	2,72 ± 0,99 ах 88,5 ± 47,7°	0,031
DV	1,11 ± 0,48 ах 88,44 ± 59,38°	0,82 ± 0,36 ах 99,35 ± 62,10°	0,026

Таблица 36 – Сравнительные данные векторных показателей в II и I группах с астигматизмом более 2,0 дптр, ( $M \pm \sigma$ )

Параметр	II группа (ФЛЭК с ФЛ-АК)	I группа (ФЭК с ТИОЛ)	$P_{m-u}$
TIA	$2,09 \pm 0,81$ ax $102,18 \pm 59,52^\circ$	$2,63 \pm 0,78$ ax $89,35 \pm 35,34$	0,079
SIA	$1,79 \pm 1,14$ ax $97,29 \pm 48,76^\circ$	$2,52 \pm 1,32$ ax $97,78 \pm 46,79^\circ$	0,030
DV	$1,11 \pm 0,48$ ax $88,44 \pm 59,38^\circ$	$0,65 \pm 0,18$ ax $63,41 \pm 53,63$	0,021

Результаты анализа интегральных показателей представлены в Таблице 37.

Таблица 37 – Интегральные показатели в группах с астигматизмом более 2,0 дптр, ( $M \pm \sigma$ , n=85)

Группа	Параметр			
	AE (0)	ME (+ или-)	CI(1,0)	IOS(0)
I группа	$1,07 \pm 22,80$	$0,20 \pm 0,63$	$1,07 \pm 0,37$	$0,32 \pm 0,75$
II группа	$4,5 \pm 27,24$	$0,52 \pm 0,33$	$0,85 \pm 0,53$	$0,68 \pm 0,50$
III группа	$9,76 \pm 37,42$	$0,28 \pm 0,67$	$1,05 \pm 0,39$	$0,37 \pm 0,28$
$P_{k-w}$	0,007	0,460	0,664	0,313

Значение AE имело наименьшую величину в I группе ( $p_{k-w} < 0,007$ ). Попарное сравнение между группами выявило статистически значимую разницу между I и III группами ( $p_{m-u} < 0,015$ ), между II и III группами ( $p_{m-u} < 0,017$ ), что является признаком наименьшего среди исследуемых групп смещения астигматической оси в I группе. Статистически незначимыми были показатели ME, CI и IOS ( $p_{k-w} > 0,05$ ). ME имели признаки небольшой гиперкоррекции, так как характеризовались положительными значениями во всех трех группах ( $p_{k-w} = 0,460$ ). Показатели CI были ближе к 1,0 в группах с имплантированными ТИОЛ –  $1,07 \pm 0,37$  и  $1,05 \pm 0,39$  в I и III группах соответственно, по сравнению с  $0,85 \pm 0,53$  во II группе. IOS имели более низкие значения в I и III группах

0,32±0,75 и 0,37±0,28 соответственно, в отличие от 0,68±0,50 во II группе. Таким образом, наиболее значимыми были различия в величине SIA, DV и AE, что определяет имплантацию ТИОЛ как наиболее прогнозируемую по сравнению с ФЛ-АК при коррекции астигматизма более 2,0 дптр. Однако наименьшие значения угла ошибки являются показателем более целевого проведения коррекции, обусловленного разработанным методом интраоперационной маркировки и меньшей вероятностью систематической ошибки позиционирования ТИОЛ при ФЛЭК с ТИОЛ.

Результаты графического векторного анализа представлены на Рисунках 32–34.

По данным графического векторного анализа величина центроида до операции в I группе составила 1,66 ах 6,1°, после операции – 0,11 ах 30°, во II группе величина центроида составила 0,71ах 137° до операции и 0,31 ах 228° после, в III группе центроид составил 1,54 ах 12° до операции и 0,25 ах 235°. Во всех случаях коррекции мы установили значительное уменьшение величины центроида и эллипса вокруг него, что говорит о снижении степени астигматизма при применении исследуемых методов коррекции.

Полученные значения координат расположения центроида через 12 месяцев после операции выявили наименьшее значение и более близкое расположение к нулю в I группе исследования, что является свидетельством более эффективной коррекции астигматизма в группе с фемтолазерным сопровождением (ФЛЭК с ТИОЛ). Самые высокие значения центроида и разброса средних значений были выявлены во II группе исследования. Расположение центроида в левой половине графика говорило об имеющейся недокоррекции, что сопровождалось более значительным разбросом данных вокруг эллипса и наблюдалось во II и III группах.





Рисунок 32 – Графический векторный анализ до и после операции  
в I группе с астигматизмом более 2,0 дптр



Рисунок 33 – Графический векторный анализ до и после операции  
в II группе с астигматизмом более 2,0 дптр



Рисунок 34 – Графический векторный анализ до и после операции  
в III группе с астигматизмом более 2,0 дптр

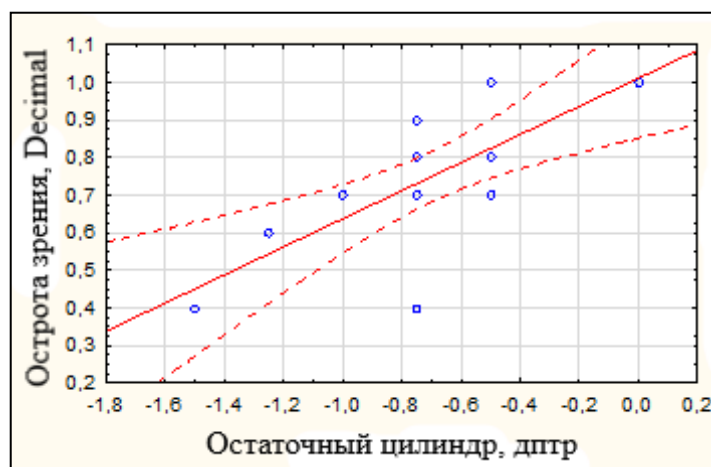


Рисунок 35 – График корреляции остроты зрения и цилиндрического компонента рефракции в III группе с астигматизмом более 2,0 дптр

Корреляционный анализ выявил статистически значимую связь остаточного цилиндра с НКОЗ на протяжении всего периода исследования в III группе исследования в раннем послеоперационном периоде ( $p=0,009$ ,  $r=0,606$ ), через 3 месяца ( $p=0,001$ ,  $r=0,701$ ), через 6 месяцев наблюдения ( $p=0,003$ ,  $r=0,660$ ), и в I группе через 3 месяца ( $p=0,630$ ,  $r=0,048$ ) и 6 месяцев ( $p=0,601$ ,  $r=0,048$ ), что говорит о зависимости остроты зрения от величины остаточного цилиндра (Рисунок 35).

Таким образом, на основании проведенной сравнительной оценки векторного анализа по методу Альпинса исследуемых групп пациентов с астигматизмом более 2,0 дптр, прооперированных методом ФЛЭК с ФЛ-АК и ФЛЭК с ТИОЛ в сравнении с ФЭК с ТИОЛ, было доказано, что фемтолазерное сопровождение факоэмульсификации катаракты с проведением интраоперационной маркировки при имплантации торической ИОЛ способствует повышению точности проводимого метода коррекции, выражающейся в более низких значениях угла ошибки, который статистически значимо отличался между группами ( $p_{m-u} < 0,015$ ), что говорит о меньшей вероятности систематической ошибки в группе ФЛЭК с ТИОЛ.

## **ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОТАЦИОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И ПОЛОЖЕНИЯ ТОРИЧЕСКОЙ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ЛИНЗЫ В ГРУППЕ С ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИЕЙ КАТАРАКТЫ И ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ АРКУАТНОЙ КЕРАТОТОМИЕЙ**

Целью данной главы было определение ротационной стабильности и положения торической ИОЛ в капсульном мешке в зависимости от технологии проведения операции. Для этого, в соответствии с поставленными задачами, необходимо было разработать метод оценки ротации торической ИОЛ и метод определения децентрации и наклона оптической части линзы в капсульном мешке.

### **5.1. Оценка ротационной стабильности**

Для изучения ротационной стабильности ТИОЛ в капсульном мешке с течением времени, с целью проведения сравнительного анализа между группами ФЛЭК и ФЭК, был разработан метод определения угла ротации линзы.

#### **5.1.1. Метод определения угла ротации торической ИОЛ в капсульном мешке с течением времени**

Исследование проводили по разработанному нами методу определения угла ротации через заданные промежутки времени (патент № 2695567 от 24.07.2019)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Пат. 2695567 Российская Федерация, МПК А 61F 9/007 (2019.02); А61В 3/00 (2019.02). Способ определения угла ротации торической интраокулярной линзы / Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Тимофеева Н.С., Куликов И.В.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» (RU). № 2018131189; заявл. 30.08.2018; опубл. 24.07.2019 Бюл. № 21

В условиях максимальной циклоплегии в положении пациента сидя под щелевой лампой осуществляется фотофиксация ТИОЛ с прицелом на расположение меток цилиндрического компонента оптической части ТИОЛ (точек), указывающих на ориентацию торической составляющей линзы (Рисунок 36).

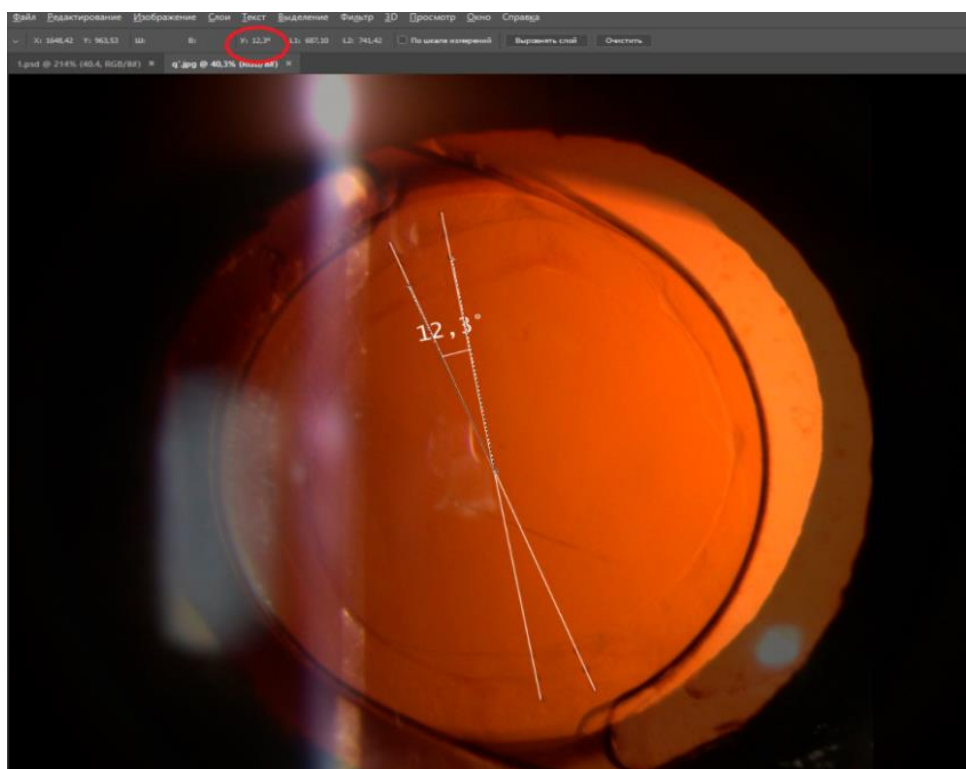


Рисунок 36 – Определение угла ротации ТИОЛ при наложении двух фотоснимков с использованием программы Adobe Photoshop (выделено красным маркером в верхнем левом углу) при ретроградном подсвечивании

При помощи графической компьютерной программы Adobe Photoshop, оснащенной векторной графикой, проводится совмещение первого и последующего фотоснимков в заданной последовательности с определением угла ротации ТИОЛ через определенные временные промежутки. С помощью инструмента «линейка» программы Adobe Photoshop проводится обозначение маркированных осей оптической части совмещенных линз. При выделении искомого угла программа в автоматическом режиме определяет образовавшийся между двумя обозначенными линиями угол в градусах.

Данный метод дает возможность наглядно проследить ротацию ТИОЛ и ее направление с количественным определением угла ротации в градусах.

Отличительная точность и прецизионность метода позволяют измерять вращение ТИОЛ при каждом плановом визите с точностью до  $0,1^\circ$  и сопоставлять данные с предшествующими значениями, что невозможно при проведении субъективных методов оценки положения ИОЛ.

Данный метод определения ротации торической ИОЛ, заключающийся в фоторегистрации оптической части линзы с прицелом на цилиндрическую составляющую с последующим совмещением полученных фотоснимков в определенной последовательности и обработкой в программе Adobe Photoshop, позволяет проводить поэтапное исследование осевого положения торической ИОЛ и количественно оценивать отклонение от фактической оси астигматизма как в раннем послеоперационном периоде, так и отследить изменение угла ротации через определенные интервалы времени на 1-й день после операции, через 3, 6 и 12 месяцев.

### **5.1.2. Сравнительная оценка ротационной стабильности торической ИОЛ между группами ФЛЭК и ФЭК**

Исследование ротационной стабильности ТИОЛ проводилось между I и III группами через определенные интервалы времени (3, 6 и 12 месяцев после операции) и включало определение величины и направления ротации. В связи с критериями включения обследовались пациенты с астигматизмом, не превышающим 3,5 дптр, сравнительная оценка величины ротации ТИОЛ проводилась без учета деления на подгруппы.

В I группу вошли 50 пациентов (50 глаз) после ФЛЭК с ТИОЛ, в III группу – 50 пациентов (50 глаз) после ФЭК с ТИОЛ (Таблица 38). В раннем послеоперационном периоде проводилось сравнение целевого меридиана с наибольшей оптической силой с фактическим расположением цилиндрической составляющей ТИОЛ. В дальнейшем проводилось определение угла ротации

между исходно сильной осью роговичного астигматизма и расположением торической оси ТИОЛ через указанные временные промежутки.

Таблица 38 – Ротационная стабильность ТИОЛ на 1-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции, ( $M \pm \sigma$ ,  $n=100$ )

Группа исследования	Период наблюдения			
	На 1-й день (отклонение от сильной оси роговицы)	3 мес.	6 мес.	12 мес.
<b>I группа</b> (ФЛЭК с ТИОЛ, $n=50$ )	$1,57 \pm 1,66^{\circ*}$	$2,47 \pm 2,54^{\circ*}$	$2,57 \pm 2,56^{\circ*}$	$2,83 \pm 2,52^{\circ}$
<b>III группа</b> (ФЭК с ТИОЛ, $n=50$ )	$3,60 \pm 2,19^{\circ*}$	$4,63 \pm 3,40^*$	$4,73 \pm 3,64^{\circ*}$	$4,78 \pm 3,31^{\circ}$
$P_{m-u}$	0,007	0,033	0,051	0,240

\* Разница статистически достоверна между группами  $p_{m-u} < 0,05$

На 1-й день после операции определялось отклонение положения астигматической оси ТИОЛ от сильного меридиана роговицы в I группе в среднем на  $1,57 \pm 1,66^{\circ}$ , в III группе – на  $3,60 \pm 2,19^{\circ}$  со статистически значимой разницей между группами ( $P_{m-u} = 0,007$ ), что является следствием более точного позиционирования цилиндрического компонента ТИОЛ относительно меридиана роговицы с наибольшей оптической силой и меньшей склонностью к ротации в первые дни после операции в группе ФЛЭК. Максимальный угол отклонения от фактической оси на 1-й день после операции составил  $4,2^{\circ}$  в I группе и  $11^{\circ}$  в III группе. Таким образом, разница в величине отклонения от целевого меридиана в группе ФЛЭК была в 2,5 раза меньше по сравнению с группой ФЭК.

Через 3 месяца наблюдения имелась статистически значимая разница угла ротации ТИОЛ между группами ( $P_{m-u} = 0,033$ ). В I группе угол ротации составил  $2,47 \pm 2,54^{\circ}$ , в III группе –  $4,63 \pm 3,40$ . Максимальный угол ротации в I группе

составил  $7^\circ$ , в III группе –  $16^\circ$ . Только в одном случае в III группе ротация ТИОЛ произошла против часовой стрелки ( $0,5\%$ ), угол ротации составил  $3^\circ$ , в I группе все случаи ротации были по часовой стрелке. Анализ угла ротации в данный временной промежуток носил статистически значимый характер между визитами в III группе ( $p_{m-u}=0,013$ ) в отличие от данных в I группе ( $p_{m-u}=0,153$ ), что связано с более устойчивым положением ТИОЛ в группе с фемтолазерным сопровождением.

Через 6 месяцев ротация ТИОЛ в I группе незначительно увеличилась и составила  $2,57 \pm 2,56^\circ$ , в III группе –  $4,73 \pm 3,64^\circ$  и имела статистически значимую разницу между группами ( $p_{m-u}=0,051$ ). К 12-му месяцу в I группе отклонение от заданной оси составило  $2,83 \pm 2,52^\circ$  и  $4,78 \pm 3,31^\circ$  – в III группе ( $p_{m-u}=0,240$ ).

В течение всего периода наблюдения ротация ТИОЛ в I группе выявлена на 43 глазах ( $86\%$ ), отсутствие ротации – на 7 глазах ( $14\%$ ), в III группе ротация выявлена на 47 глазах ( $94\%$ ), отсутствие ротации – на 3 глазах ( $6\%$ ). В I группе ротация более  $5^\circ$  определялась на 3 глазах ( $6\%$ ), в III группе – в 7 случаях ( $14\%$ ), при максимальном угле ротации в III группе –  $13^\circ$  ( $0-13^\circ$ ). К концу периода наблюдения величина отклонения от фактической оси астигматизма в среднем была в 1,9 раз меньше в группе ФЛЭК, чем в группе ФЭК.

Сравнительный анализ между визитами выявил отсутствие статистически значимой связи между первым и последним исследованиями в I группе ( $p_w=0,075$ ) и статистически значимую разницу в III группе ( $p_w=0,007$ ), что говорит о более высокой ротационной стабильности ТИОЛ при проведении ФЛЭК с ТИОЛ по сравнению со стандартной методикой ФЭК с ТИОЛ.

Разработанный метод определения угла ротации, заключающийся в проведении фоторегистрации расположения цилиндрической составляющей торической ИОЛ с последующей обработкой данных при помощи графической компьютерной программы Adobe Photoshop, оснащенной векторной графикой, выявил, что выполнение основных этапов экстракции катаракты с применением

фемтосекундного лазера в сочетании с разработанным методом интраоперационной маркировки обеспечивает в среднем в 2,5 раза меньшее значение угла отклонения торической ИОЛ от фактической оси астигматизма на 1-й день после операции ( $P_{m-u}=0,007$ ) и снижает вращательную способность линзы в 1,9 раз в течение 3 месяцев после операции ( $P_{m-u}=0,033$ ) по сравнению с традиционной методикой проведения факоэмульсификации, что обеспечивает меньший угол ротации к 12-му месяцу после операции, а значит, свидетельствует о лучшей ротационной устойчивости торической ИОЛ при применении фемтосекундного сопровождения в ходе факоэмульсификации катаракты.

## **5.2. Оценка положения торической ИОЛ в капсульном мешке**

Для изучения децентрации и наклона торической ИОЛ в капсульном мешке с целью проведения сравнительного анализа между группами ФЛЭК и ФЭК было выполнено математическое численное моделирование индуцирования астигматизма в зависимости от изменения положения ТИОЛ, разработан метод определения децентрации и наклона ТИОЛ в капсульном мешке по данным ОКТ.

### **5.2.1. Математическое обоснование влияния децентрации и наклона на индуцирование астигматизма**

С целью обоснования влияния децентрации и наклона ИОЛ в капсульном мешке на полученные рефракционные результаты, в частности на возможность индуцирования астигматизма, было проведено математическое численное моделирование с использованием метода трассировки лучей на модели глаза.



Для решения данной задачи в программе Opticstudio (Zemax, LLC, США, версия от 20.08.2014) была построена теоретическая модель глаза, учитывающая радиус передней и задней поверхности роговицы, толщину роговицы, радиус кривизны передней и задней поверхности линзы, преломляющие коэффициенты и константы оптических структур и сред (влага передней камеры, стекловидное тело) (Рисунок 37, Таблица 39). Толщина линзы для каждой оптической силы рассчитывалась соответственно диаметру оптической части линзы и разнице радиусов кривизны в программе Компас-3D LT V 12 (Аскон, Россия).

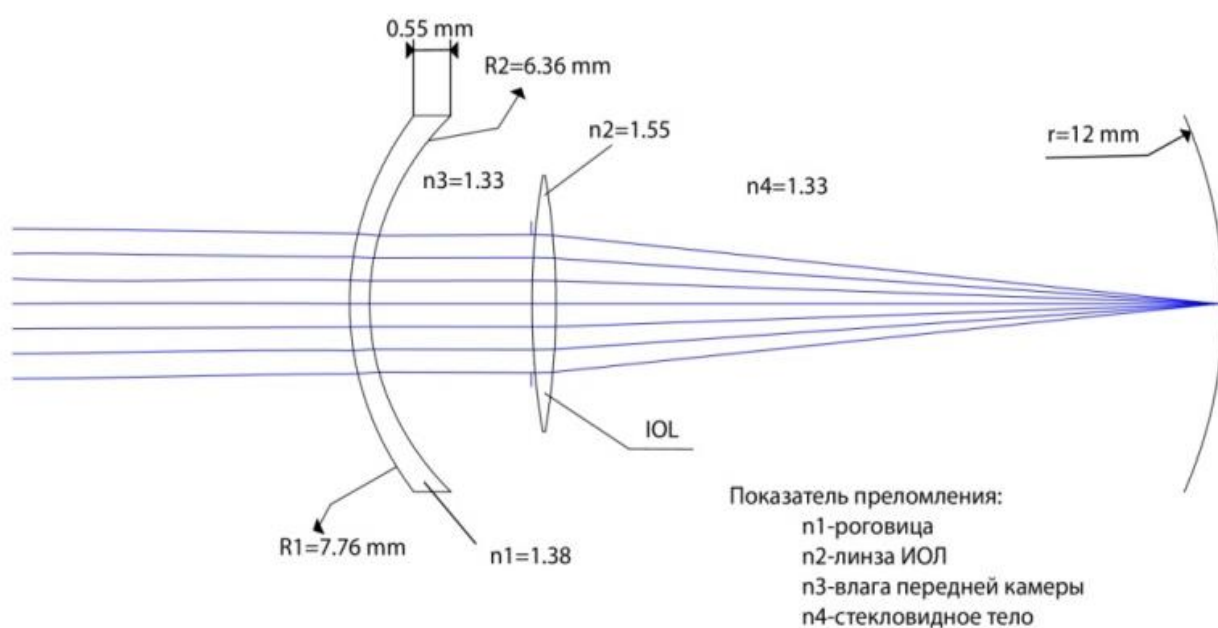


Рисунок 37 – Схематичная модель псевдофакичного глаза

Таблица 39 – Номинальные параметры теоретической модели глаза

Параметр	Значение
Передний радиус кривизны роговицы, мм	7,76
Роговичный передний параметр Q (асферической ИОЛ)	-0,26
Корнеальный индекс рефракции	1,376
Задний радиус кривизны роговицы, мм	6,36
Роговичный задний параметр Q (асферической ИОЛ)	-0,24
Диаметр зрачка (мм)	3,5
Коэффициент преломления влаги передней и задней камер	1,33
Коэффициент преломления стекловидного тела	1,33

Имитация наклона и децентрации ИОЛ относительно горизонтальной плоскости в программе проводилась с шагом от 1 до 10° для наклона и 0,1 мм для децентрации. Наклон и децентрация ТИОЛ исследовались относительно горизонтального и вертикального меридианов с выравниванием по 90 и 180°. Положение сетчатки определялось с учетом среднего фокусного расстояния, составляющего 23,5 мм.

Программное обеспечение Zemax позволяет генерировать модель трассировки лучей в оптической системе с заданными параметрами. Исследовалось изменение волнового фронта в результате наклона и децентрации оптической части асферических и торических моделей ИОЛ с вычислением цифровых значений индуцированного астигматизма. Использовались данные асферической и торической моделей Acrysof IQ с оптической силой 16,0; 22,0 и 24,0 дптр и SN6AT3, SN6AT4 и SN6AT5 с оптической силой цилиндра 1,50; 2,25 и 3,0 дптр (Alcon, USA).

За основу была взята модель, представленная Lio и Brennan (1997) и Holladay J. T. (2012) [138].

Анализ aberrаций проводился с помощью значений полиномов Zernike. Для наклона исследовались полиномы  $Z(2,2)$ , которые были переведены из микрометров в дптр согласно формуле  $4 * \sqrt{6} * Z_2^2 / R^2$ . Данное уравнение было описано Applegate R. A. и соавт. (2003) и включает преобразованные в микрометры данные aberrаций 2-го порядка  $Z(2,2)$  по отношению к диаметру зрачка (мм) [140].

В группе асферических ИОЛ индуцирование астигматизма в 0,1 дптр составило 3,0° для ИОЛ с оптической силой 22,0 и 24,0 дптр и 3,5° для ИОЛ 16,0 дптр. При увеличении величины угла наклона регистрировалось увеличение значений индуцированного астигматизма: при 5° – на 0,3 дптр и на 0,21 дптр для 22,0; 24,0 и 16,0 дптр соответственно (Рисунок 38).

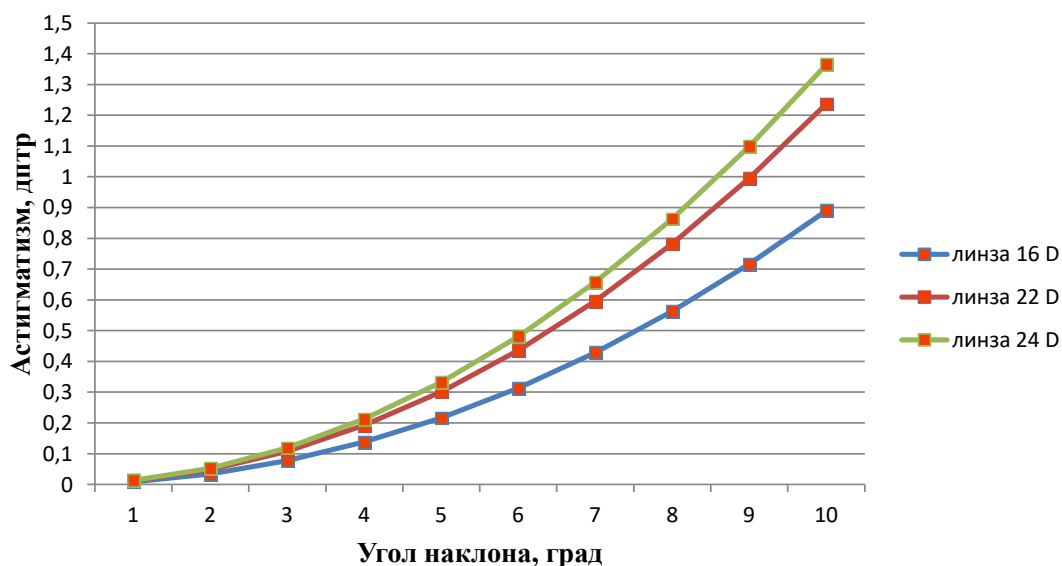


Рисунок 38 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с асферической оптикой при оптической силе ИОЛ 16,0; 22,0 и 24,0 дптр

Децентрации ИОЛ относительно горизонтальной плоскости выявило индуцирование астигматизма величиной 0,1 мм при значениях 0,7 мм для линз с оптической силой 22,0; 24,0 дптр и 1,0 мм для 16,0 дптр линзы (Рисунок 39).

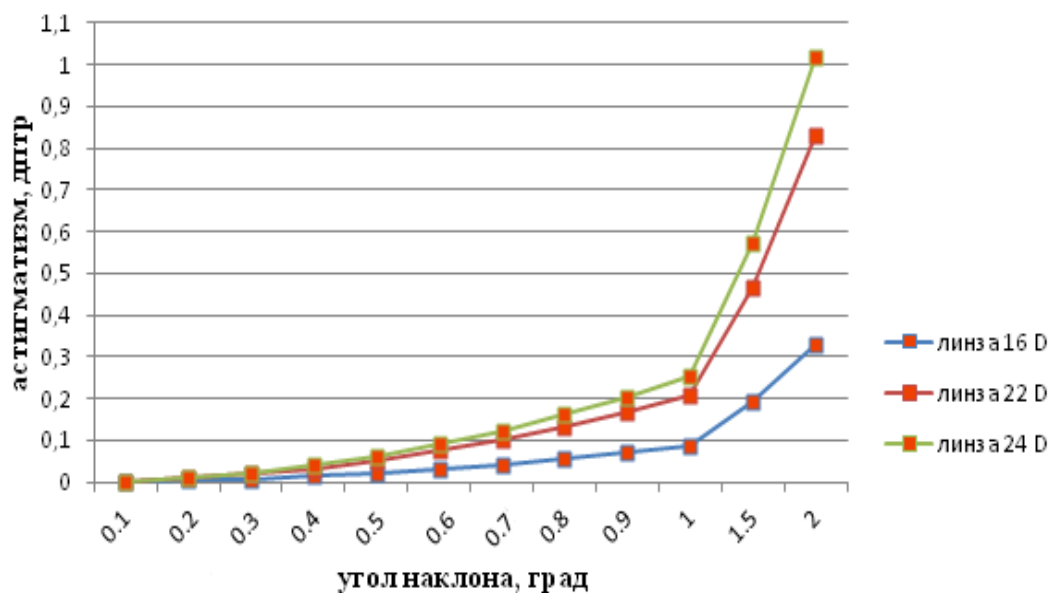


Рисунок 39 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с асферической оптикой при оптической силе ИОЛ 16,0, 22,0 и 24,0 дптр

Увеличение значений децентрации и наклона асферической ИОЛ происходило соответственно нарастанию величины оптической силы линзы.

Исследование изменения положения ТИОЛ проводилось при установке цилиндрического компонента по оси  $90^\circ$  (при коррекции прямого астигматизма) и горизонтальном наклоне вдоль оси  $0^\circ$ – $180^\circ$ . Было выявлено индуцирование астигматизма на 0,1 дптр при угле наклона  $3^\circ$  и снижение величины индуцированного астигматизма при установке цилиндрического компонента по оси  $180^\circ$ . Горизонтальный наклон ТИОЛ при коррекции прямого астигматизма имел тенденцию к гипокоррекции, при коррекции обратного астигматизма – к гиперкоррекции (Рисунок 40, 41).

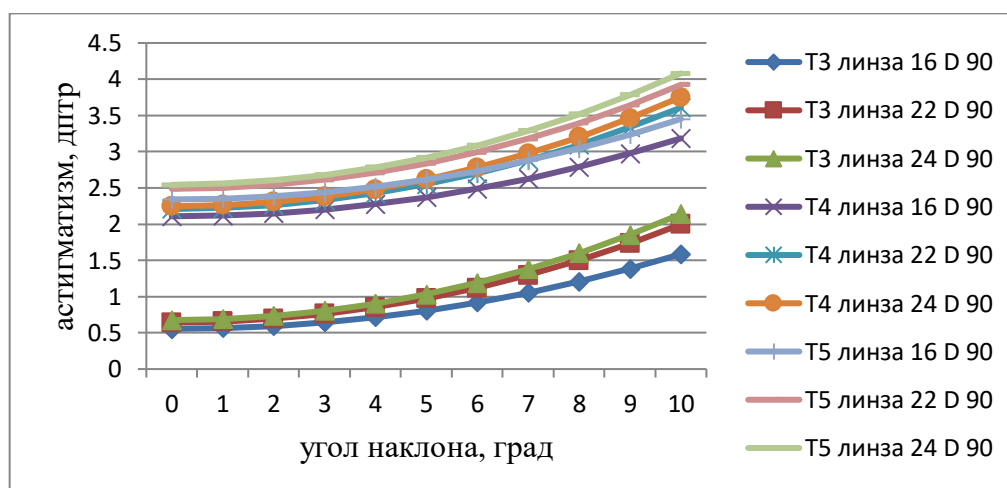


Рисунок 40 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (линза установлена на  $90^\circ$ ) с силой 16,0; 22,0 и 24,0 дптр с оптической силой цилиндра 1,50; 2,25 и 3,0 дптр.

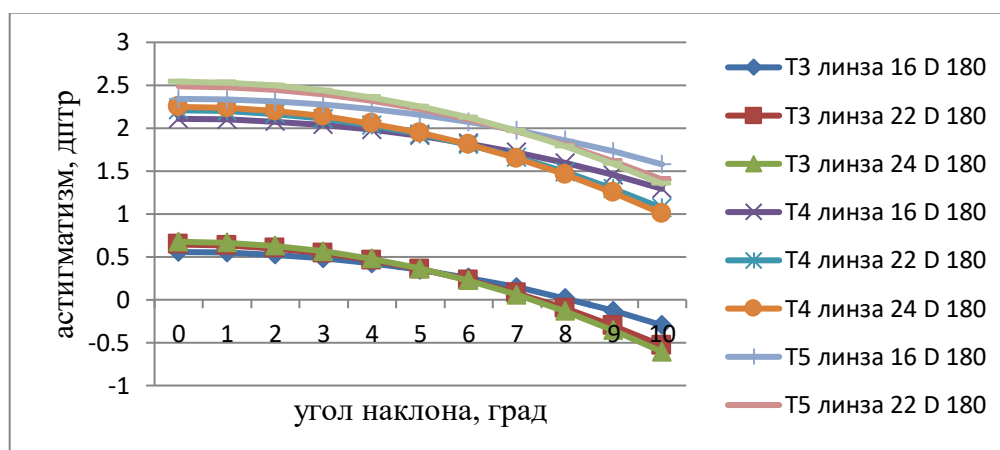


Рисунок 41 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (линза установлена на  $180^\circ$ ) с силой 16,0; 22,0 и 24,0 дптр с оптической силой цилиндра 1,50; 2,25 и 3,0 дптр

Исследование децентрации ТИОЛ выявило индуцирование астигматизма при величине децентрации, равной 0,7 мм для линз 22,0 и 24,0 дптр и более значительной децентрации, составляющей 0,9–1,0 мм для линз 16,0 дптр, что совпадало с результатами исследования децентрации асферической ИОЛ (Рисунок 42, 43).

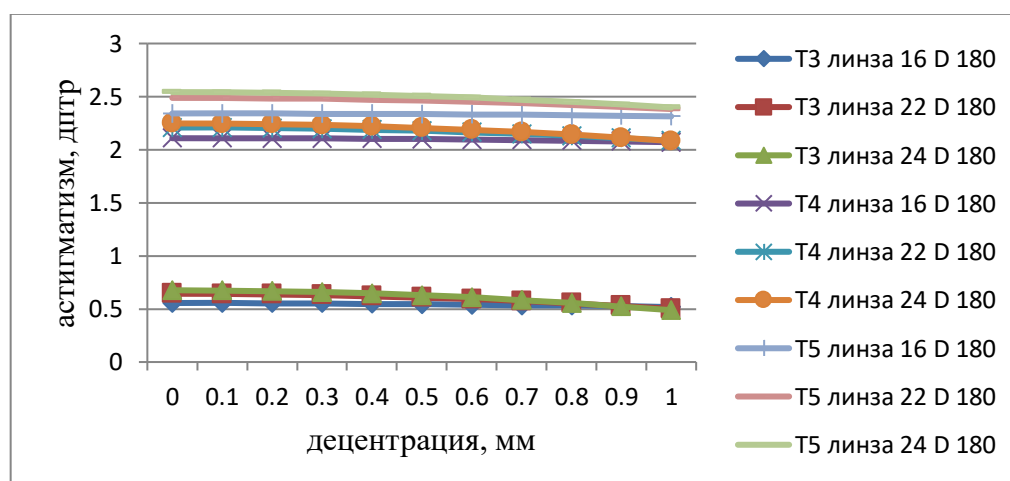


Рисунок 42 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (ТИОЛ установлена на  $90^\circ$ ) с оптической силой 16,0; 22,0 и 24,0 дптр с оптической силой цилиндра 1,50; 2,25 и 3,0 дптр

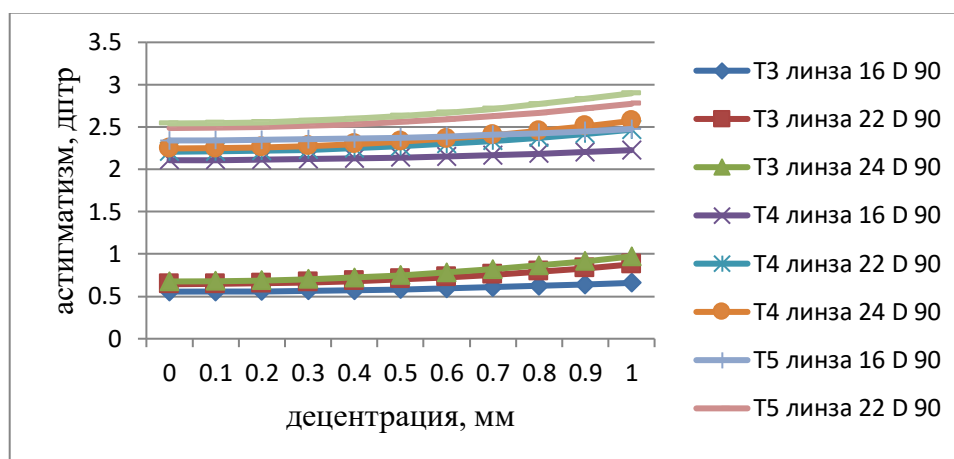


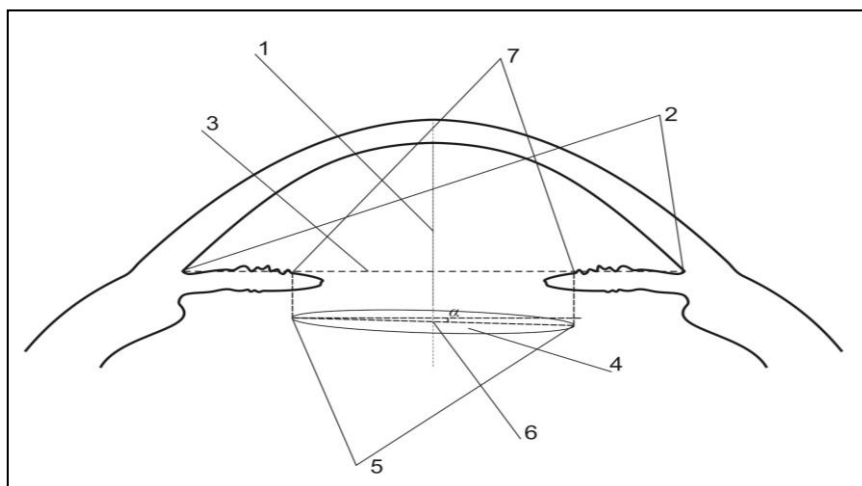
Рисунок 43 – График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (ТИОЛ установлена на  $180^\circ$ ) с оптической силой 16,0; 22,0 и 24,0 дптр с оптической силой цилиндра 1,50; 2,25 и 3,0 дптр

Математическое исследование положения ИОЛ в капсульном мешке выявило зависимость влияния величины наклона и децентрации линзы на индуцирование астигматизма, имеющего критические значения, составляющие  $3,0\text{--}3,5^\circ$  для наклона и  $0,7\text{--}1,0$  мм для децентрации. Данные показатели децентрации и наклона имели тенденцию к увеличению соответственно нарастанию оптической силы ТИОЛ. Наклон ТИОЛ способствовал индуцированию астигматизма, что может рассматриваться как недостаточная эффективность проводимых методов коррекции (гипоэффект).

### 5.2.2 Метод определения наклона и децентрации торической ИОЛ в капсульном мешке по данным ОКТ

После расширения зрачка на приборе OCT Casia 2 проводят сканирование переднего отдела глазного яблока методом оптической когерентной томографии. Оптическая ось глаза (1) выставляется самим прибором в автоматическом режиме. После идентификации склеральной шпоры (2) проводят определение

расположения фронтальной плоскости, обозначаемой как базовая линия (3) и проходящей через диаметрально противоположные точки, соответствующие склеральным шпорам<sup>1</sup> (Рисунок 44).



- 1 – оптическая ось глаза;
- 2 – склеральная шпора;
- 3 – базовая линия;
- 4 – оптическая часть ИОЛ;
- 5 – края оптической части ИОЛ;
- 6 – оптический центр ИОЛ;
- 7 – точка соединения перпендикуляра от края оптической части ИОЛ с базовой линией.

Рисунок 44 – Схематичное изображение анатомических структур переднего отрезка глаза и ИОЛ

Замеряют расстояние между крайними точками (5) оптической части ИОЛ (4), которое должно совпадать с техническими параметрами диаметра оптической части данной модели ИОЛ, и по диаметру проводят горизонтальную линию через

<sup>1</sup> Пат. 2683932 Российская Федерация, МПК А61В 3/00, А61В 5/107. Способ определения положения интраокулярной линзы / Паштаев Н.П., Тимофеева Н.С., Куликов И.В., Пикусова С.М.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова (RU). - №2018113423; заявл. 13.04.2018; опубл. 02.04.2019. Бюл. №10. – 8 с.

оптический центр линзы (6), соответствующую продольной оси линзы по расположению плоскости сканирования. Затем от крайних точек оптической части проводят перпендикулярные отрезки до пересечения с базовой линией (7)

Децентрация ИОЛ равна половине разницы между длинами отрезков базовой линии от склеральной шпоры до точки пересечения с перпендикулярной линией. Полученный результат отражает величину дислокации ИОЛ (децентрации) относительно оптической оси глаза в каждом из взаимоперпендикулярных исследуемых меридианов и выражается в миллиметрах.

$$\text{Децентрация ИОЛ} = (AB - A1B1) / 2,$$

где АВ – отрезок базовой линии, соединяющий точку, соответствующую склеральной шпоре, и точку пересечения с перпендикулярной линией, проведенной от края оптической части ИОЛ с одной стороны; А1В1 – отрезок базовой линии соединяющий точку, соответствующую склеральной шпоре, и точку пересечения с перпендикулярной линией, проведенной от края оптической части ИОЛ с другой стороны. Для определения угла наклона ИОЛ в градусах относительно плоскости сканирования проводят линию, параллельную базовой, от края оптической части линзы до пересечения с горизонтальной линией, определяющей продольную ось линзы. Количественное измерение угла в градусах осуществляется автоматически, благодаря встроенному программному обеспечению. Полученная величина угла  $> 0^\circ$  в двух и более взаимоперпендикулярных сечениях свидетельствует о наличии наклона ИОЛ относительно фронтальной плоскости, при величине угла, равной  $0^\circ$ , – об отсутствии наклона ИОЛ относительно фронтальной плоскости.

Таким образом, разработанный метод определения положения оптической части торической ИОЛ относительно горизонтальной и вертикальной плоскостей заключался в проведении линейных и угловых замеров с помощью измерительных инструментов, доступных на ОКТ, и сопровождался математическим расчетом при измерении децентрации, позволяя проводить



количественную оценку децентрации и наклона линзы в капсульном мешке в зависимости от направления смещения ИОЛ.

### **5.2.3. Сравнительная оценка децентрации и наклона торической ИОЛ между группами ФЛЭК и ФЭК**

Сравнительная оценка децентрации и наклона ТИОЛ в капсульном мешке проводилась между группами ФЛЭК и ФЭК через определенные интервалы времени: на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции, и включала определение величины децентрации и наклона относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей. В связи с критериями включения обследовались пациенты с астигматизмом, не превышающим 3,5 дптр.

Следует отметить, что во всех случаях ТИОЛ располагалась в капсульном мешке без видимых (субъективных) при биомикроскопическом исследовании признаков децентрации и наклона ИОЛ в условиях максимального мидриаза, что являлось обязательным критерием включения пациентов в данное исследование. При обследовании пациентов в группе ФЛЭК в 100% случаев край оптической части ТИОЛ равномерно перекрывался краем капсулорексиса, в группе ФЭК в 90% (45 глаз) случаев капсулорексис имел форму, отличающуюся от идеального кругового капсулорексиса, в 42% (23 глаз) край капсулорексиса выходил за пределы границ оптической части ИОЛ, в 34% (17 глаз) находился на краю оптики линзы. Контакта с краем радужной оболочки ни в одном случае не наблюдалось, что было подтверждено данными ОКТ (Рисунок 52–54).

Результаты показателей децентрации и наклона в различные сроки после операции представлены в Таблицах 40 и 41.

Таблица 40 – Показатели децентрации ИОЛ в раннем послеоперационном периоде и через 3, 6 и 12 месяцев после операции в группе ФЛЭК и ФЭК ( $M \pm \sigma$ ,  $n=100$ , диапазон, мм)

Срок обследования	Децентрация					
	Горизонтальная			Вертикальная		
	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 50$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 50$ )	$P_{m-u}$	I группа (ФЛЭК с ТИОЛ, $n = 50$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 50$ )	$P_{m-u}$
На 3 день	$0,201 \pm 0,209$	$0,173 \pm 0,147$	0,74	$0,196 \pm 0,368$	$0,162 \pm 0,118$	0,89
Через 3 мес.	$0,106 \pm 0,087^*$	$0,101 \pm 0,034$	0,72	$0,172 \pm 0,122$	$0,234 \pm 0,232$	0,92
Через 6 мес.	$0,100 \pm 0,059$	$0,113 \pm 0,071^*$	0,79	$0,152 \pm 0,112$	$0,104 \pm 0,110$	0,98
через 12 мес.	$0,100 \pm 0,053$	$0,113 \pm 0,070$	0,79	$0,132 \pm 0,102$	$0,154 \pm 0,120$	0,98

\* Показатели статистически значимы относительно исходных значений,  $p_w < 0,05$ .

Таблица 41 – Показатели наклона ИОЛ в раннем послеоперационном периоде и через 3, 6 и 12 месяцев после операции в группе ФЛЭК и ФЭК ( $M \pm \sigma$ ,  $n=100$ , диапазон, мм)

Сроки обследования	Наклон					
	Горизонтальный			Вертикальный		
	I группа (ФЛЭК с ИОЛ, $n = 50$ )	III группа (ФЭК с ТИОЛ, $n = 50$ )	$P_{m-u}$	I группа (ФЛЭК с ИОЛ, $n = 50$ )	III группа (ФЭК с ИОЛ, $n = 50$ )	$P_{m-u}$
На 3 день	$0,97 \pm 0,67$	$1,22 \pm 1,02$	0,43	$0,92 \pm 0,70$	$0,85 \pm 0,55$	0,543
Через 3 мес.	$0,66 \pm 0,39^*$	$0,79 \pm 0,34$	0,59	$0,59 \pm 0,12$	$0,87 \pm 0,17$	0,048**
Через 6 мес.	$0,61 \pm 0,27$	$0,80 \pm 0,43$	0,50	$0,60 \pm 0,31$	$0,86 \pm 0,32$	0,045**
через 12 мес.	$0,52 \pm 0,56$	$0,89 \pm 0,23$	0,50	$0,79 \pm 0,38$	$0,85 \pm 0,54$	0,670

\* Показатели статистически значимы относительно исходных значений,  $p_w < 0,05$ .

\*\*Разница между группами статистически значима,  $p_{m-u} < 0,05$ .

Показатели горизонтальной и вертикальной децентрации ТИОЛ не имели статистически значимых отличий между группами в течение всего периода наблюдения. Однако статистически значимой была разница между измерениями горизонтальной децентрации в раннем послеоперационном периоде и повторных определений данного показателя через 3 месяца после операции ( $p_{m-u}=0,003$ ) в группе ФЛЭК и горизонтальной децентрации между данными на 3-й день после

операции и через 6 месяцев наблюдения в группе ФЭК ( $p_{m-u}=0,020$ ). Через 3 месяца горизонтальная децентрация в группе ФЛЭК уменьшилась на  $0,1641\pm 0,2117$  ( $p_w=0,003$ ), вертикальная – на  $0,109\pm 0,233$  ( $p_w=0,790$ ), в группе ФЭК горизонтальная децентрация также уменьшилась на  $0,1206\pm 0,1422$  ( $p_w=0,11$ ), вертикальная – на  $0,0285\pm 0,2444$  ( $p_w=0,480$ ). Через 6 месяцев после операции показатели горизонтальной децентрации в группе ФЛЭК уменьшились на  $0,005\pm 0,0270$  ( $p_w=0,901$ ), в группе ФЭК увеличились на  $0,0454\pm 0,0792$  ( $p_w=0,381$ ), по сравнению с данными предыдущего обследования.

Горизонтальный наклон не имел статистической разницы между группами на 3-й день после операции ( $p_{m-u}>0,05$ ). В группе ФЛЭК статистически значимо уменьшился к 3-му месяцу наблюдения ( $p_w=0,022$ ). Сравнительный анализ между группами выявил статистически значимые отличия в величине вертикального наклона к 3-му ( $p_{m-u}=0,048$ ) и 6-му месяцу ( $p_{m-u}=0,045$ ) (Рисунок 45). Увеличение значений горизонтального и вертикального наклона наблюдалось к 6-му месяцу исследования и имело тенденцию к большим показателям в группе ФЭК ( $p_{m-u}>0,05$ ), при незначительных изменениях в группе ФЛЭК ( $p_{m-u}>0,05$ ).

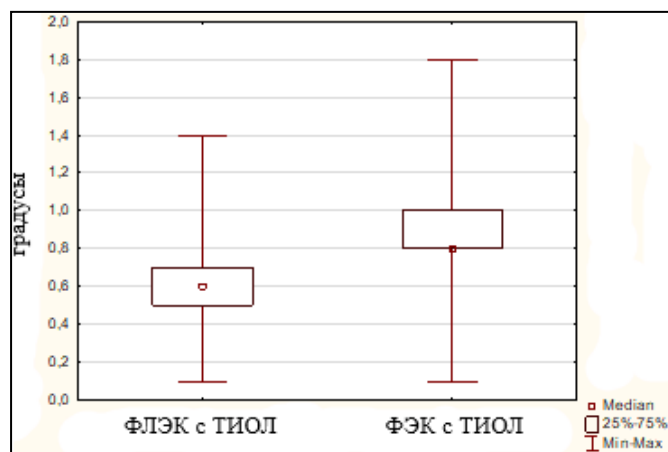


Рисунок 45 – Вертикальный наклон в I и III группах (ФЛЭК и ФЭК) через 3 месяца после операции ( $p = 0,048$ )

Примеры клинических случаев исследования децентрации и наклона у пациентов после имплантации ТИОЛ представлены на Рисунках 46, 47, 48.

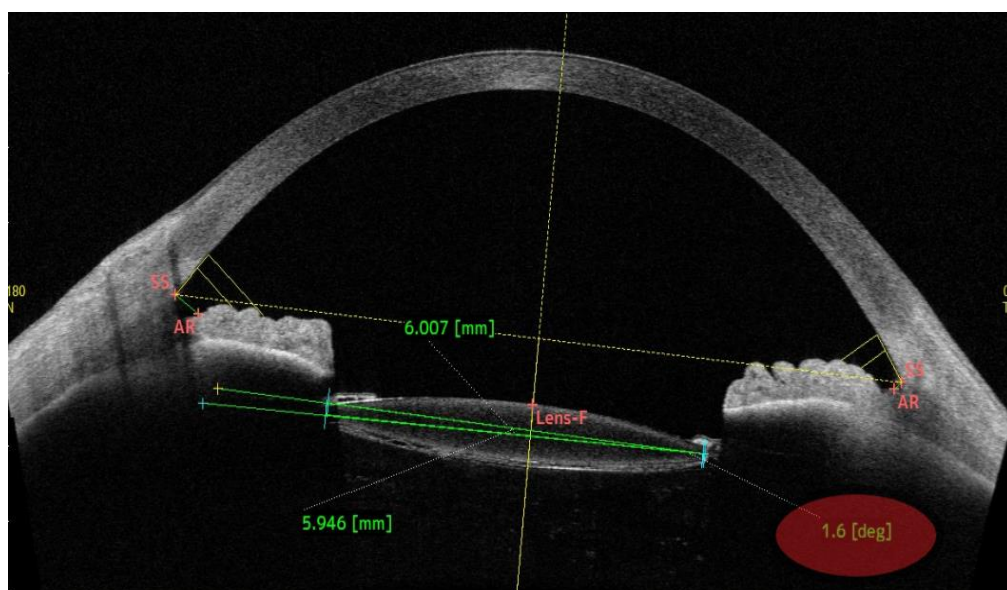


Рисунок 46 – ОКТ пациентки, 58 лет. Через 6 месяцев после операции горизонтальный наклон составил  $1,6^\circ$

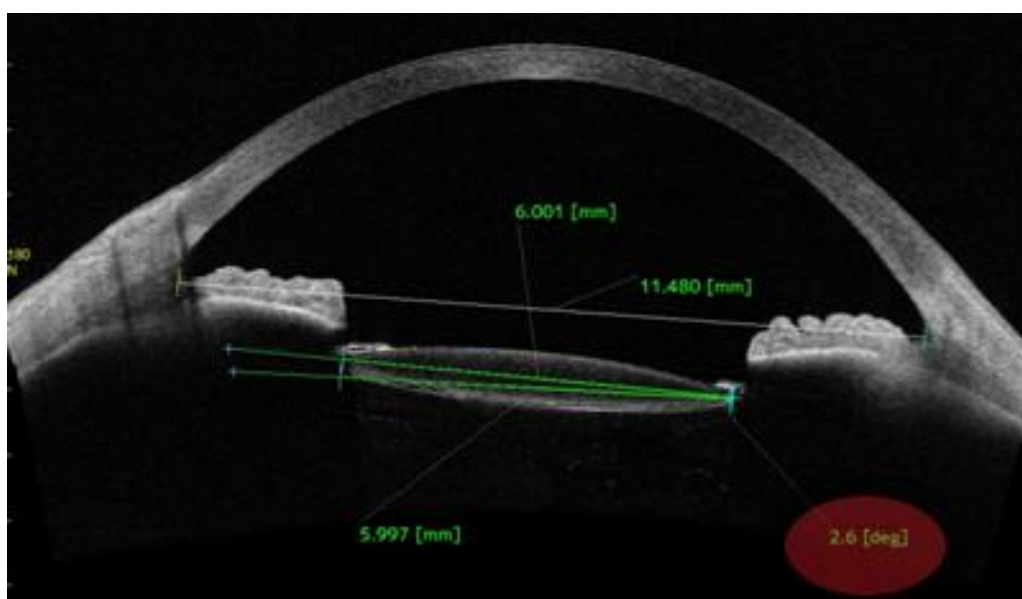


Рисунок 47 – ОКТ пациентки, 58 лет. Через 6 месяцев после операции вертикальный наклон составил  $2,6^\circ$

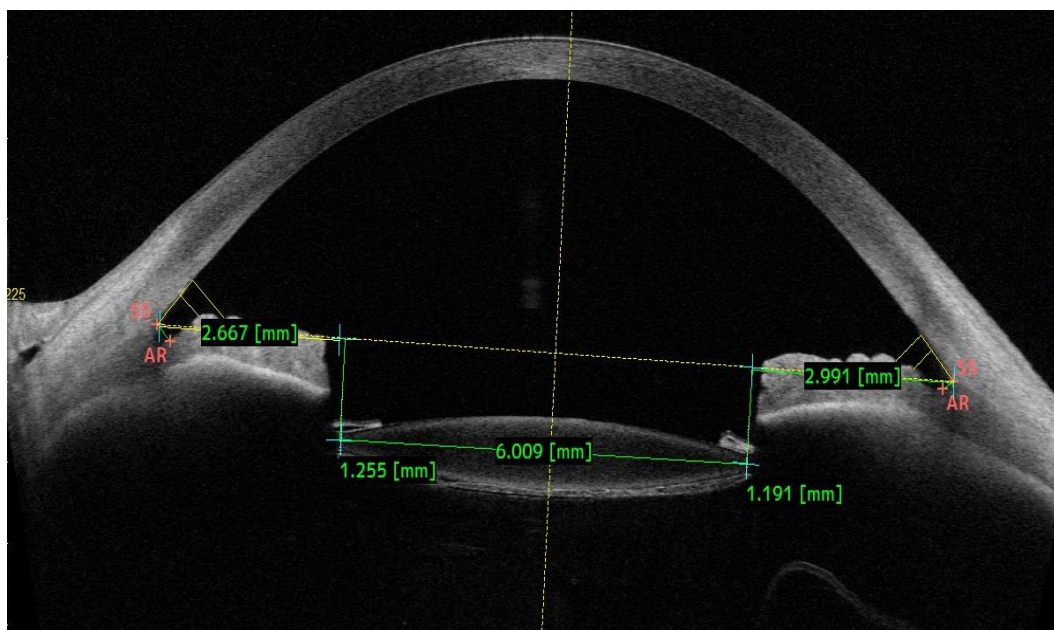


Рисунок 48 – ОКТ пациентки, 58 лет. Через 6 месяцев после операции вертикальная децентрация составила 0,324

Таким образом, анализ децентрации ТИОЛ в капсульном мешке не выявил статистически значимой разницы между группами в течение 12 месяцев наблюдения, однако значимыми были различия в величине вертикального наклона в период наблюдения через 3 и 6 месяцев ( $p = 0,048$  и  $p = 0,043$  соответственно), сопровождающиеся меньшими показателями в I группе исследования, что демонстрирует лучшую стабильность положения оптической части линзы в капсульном мешке в I группе по сравнению с III группой исследования.

Проведенный нами через 3 месяца послеоперационного наблюдения корреляционный анализ выявил наличие статистически значимой связи средней силы между остаточным цилиндром и горизонтальным наклоном ( $p=0,02$ ,  $r_s=0,52$ ), остаточным цилиндром и вертикальной децентрацией ( $p=0,03$ ,  $r_s=0,52$ ) в группе ФЭК, что говорит об имеющемся влиянии наклона и децентрации на величину резидуального цилиндра (Рисунок 49).

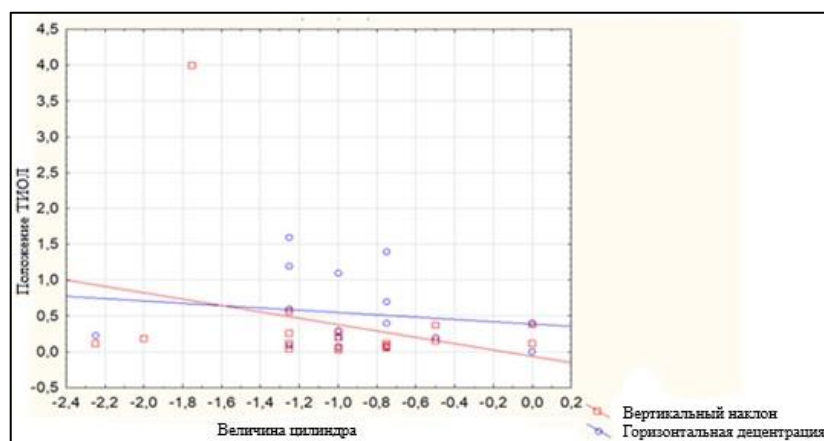


Рисунок 49– Корреляция остаточного цилиндра через 3 месяца после операции с вертикальным наклоном и горизонтальной децентрацией в III группе

В группе ФЭК с ТИОЛ корреляционный анализ выявил наличие положительной высокой корреляции RMS через 3 месяца с вертикальным наклоном ( $p=0,004$ ,  $r_s=0,974$ ). Была выявлена положительная корреляция между наклоном (в горизонтальной плоскости) и комой ( $p=0,007$ ,  $r_s=0,707$ ), что говорит о возможности индуцирования НОА комы при наклоне ТИОЛ (Рисунок 50). При этом корреляция между наклоном ИОЛ и сферической абберацией отсутствовала, что объясняется асферическим дизайном исследуемых моделей ИОЛ, имплантированных с целью снижения общей сферической абберации. Также не было выявлено статистически значимой связи между наклоном и длиной глаза ( $p=0,74$ ,  $r_s=-0,065$ ), наклоном и глубиной передней камеры ( $p=0,40$ ,  $r_s=-0,138$ ).

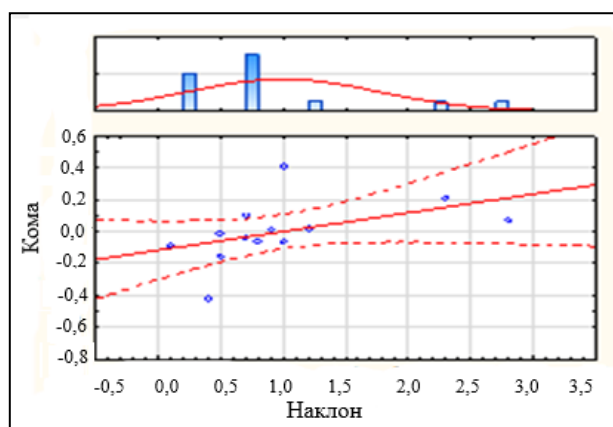


Рисунок 50– График корреляции между наклоном и комой в III группе исследования через 3 месяца наблюдения

Разработанный метод определения положения ТИОЛ в капсульном мешке, заключающийся в количественном определении значений децентрации и наклона оптической части линзы путем проведения линейных и угловых замеров с помощью ОКТ, выявил наибольшие показатели вертикального наклона при имплантации торической ИОЛ в группе с факоэмульсификацией, выполненной по традиционной методике, в сравнении с группой с фемтолазерным сопровождением ( $p_{m-u}=0,043$ ) на 3-й день после операции и через 3 месяца после операции ( $p_{m-u}=0,045$ ), напрямую коррелирующие с абберациями высшего порядка, а именно с комой ( $p=0,007$ ,  $r_s=0,707$ ), что свидетельствует о более эффективной коррекции астигматизма при применении фемтолазерного сопровождения экстракции катаракты.

Таким образом, разработанный метод определения угла ротации торической ИОЛ, заключающийся в проведении фоторегистрации положения цилиндрического компонента торической ИОЛ с последующей обработкой данных при помощи графической программы, и метод определения положения оптической части линзы, заключающийся в количественном определении значений децентрации и наклона с помощью ОКТ, определил технологию проведения фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты как наиболее предпочтительную в связи с меньшей ротационной способностью и меньшими значениями наклона оптической части торической ИОЛ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы проведения оперативного вмешательства по поводу катаракты направлены на получение максимально возможных показателей остроты зрения, что возможно при одномоментном или поэтапном проведении коррекции сопутствующих аметропий. Внедрение в повседневную практику факоэмульсификации катаракты позволило минимизировать хирургическую травму, а разработка и широкое применение интраокулярных линз премиум-класса – повысить клиничко-функциональные результаты операции. Актуальность коррекции роговичного астигматизма слабой степени продиктована прежде всего высокой распространенностью в популяции, достигающей, по данным исследований, 64,4%, и желанием пациентов обходиться без дополнительной очковой коррекции вдаль после оперативного лечения катаракты [95].

Фемтосекундное сопровождение хирургии катаракты – это технология, основанная на преимуществах прецизионного автоматизированного подхода к основным этапам операции. Непрерывное перекрытие оптической части ИОЛ капсулой хрусталика на протяжении 360° предрасполагает к равномерному и симметричному сокращению передней капсулы и сводов капсульного мешка, что способствует центральному и устойчивому положению линзы с течением времени. В то же время неравномерное перекрытие вызывает смещение оптической части линзы относительно оптической оси глаза и непредвиденный рефракционный сдвиг в сторону миопии или гиперметропии. При этом имеют место исследования, подтверждающие отсутствие статистически значимой разницы между сформированным вручную и на ФСЛ капсулорексисе [89, 202]. Многие авторы в своих исследованиях предпринимали попытки оценить влияние предполагаемого автоматизированного подхода на показатели остроты зрения, рефракционный результат, величину остаточного астигматизма, а также качественные характеристики полученного зрения. Результаты данных



исследований разнятся в своих выводах, создавая дилемму перед практикующими хирургами.

Послабляющие роговичные разрезы считаются недорогим и эффективным методом снижения роговичного астигматизма. Однако из-за вариабельности воспроизводимости по длине, глубине и расположению роговичных разрезов, связанных в том числе с индивидуальными хирургическими навыками оперирующего доктора, использованием различного инструментария, данная методика ассоциируется с непредсказуемыми результатами и развитием как интраоперационных, так и послеоперационных осложнений [88; 86; 161; 75; 40]. Именно поэтому имплантация ТИОЛ традиционно рассматривалась как более прогнозируемый метод коррекции роговичного астигматизма, что подтверждается значительным количеством исследований на данную тему. Разработка и внедрение фемтосекундных лазерных технологий в офтальмологии позволили существенно повысить точность выполнения рассчитанных параметров проведения операции [191;67]. ФЛ-АК отличается абсолютной четкостью соблюдения основных характеристик и координатной ориентации роговичных разрезов, что дает возможность достоверно прогнозировать рефракционный результат операции, делая данный метод коррекции более контролируемым [176; 20;184]. При этом в большинстве литературных источников анализируются случаи коррекции астигматизма после кератопластики и остаточного астигматизма после хирургии катаракты. Малочисленны исследования при проведении ФЛЭК с ФЛ-АК с имплантацией монофокальной ИОЛ, посвященные изучению остаточного астигматизма, работы, нацеленные на сравнительный анализ между ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК, носят единичный характер [91;184].

Влияние кривизны задней поверхности на общую преломляющую способность роговицы является установленным фактом и принимается во внимание при расчете оптической силы ТИОЛ (теоретическое моделирование в формуле Barrett). При этом традиционно применяемая кератометрия измеряет только переднюю поверхность роговицы, что может приводить к ошибке

прогнозирования остаточного рефракционного астигматизма, снижая результативность метода послабляющих разрезов роговицы при коррекции астигматизма. В связи с этим разработана номограмма, учитывающая оптическую силу задней поверхности роговицы при проведении ФЛ-АК, является необходимым условием получения высоких функциональных результатов.

В литературе имеют место исследования влияния ротации на рефракционный результат, который, по мнению авторов, напрямую зависит от величины оптической силы ТИОЛ: чем больше оптическая сила в дптр ИОЛ, тем важнее точное позиционирование по оси и больше вероятность индуцирования остаточного астигматизма [194, 156]. Тем не менее коррекция астигматизма слабой и средней степени требует от хирурга не менее ответственного подхода к выполнению позиционирования ТИОЛ относительно сильного меридиана, определяя целесообразность проводимого оперативного вмешательства. В большинстве случаев остаточный астигматизм является результатом рассогласования вращения ИОЛ в сочетании с недостаточной или чрезмерной коррекцией.

Вместе с тем открытым остается вопрос о влиянии применения ФСЛ на качественные характеристики полученного зрения. Литературные источники приводят данные, свидетельствующие о меньшем индуцировании aberrаций высшего порядка при ФЛЭК в сравнении с ФЭК [117].

Таким образом, исследование сравнительной эффективности различных методов коррекции астигматизма имеет не только академическое, но и практическое значение для оперирующих хирургов, так как открывает возможность обоснованного выбора оптимального метода в зависимости от степени исходного астигматизма, целевого рефракционного результата и предпочтений пациента и хирурга.

Целью данной работы являлась разработка алгоритма хирургической коррекции астигматизма на основе методов с имплантацией торической интраокулярной линзы и аркуатной кератотомией у пациентов в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты.

В связи с поставленной целью в задачи исследования входило следующее: разработка алгоритма проведения фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией, включающего номограмму для расчета параметров аркуатных разрезов роговицы с учетом циклоторсии, разработка метода интраоперационной маркировки при проведении фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы, проведение сравнительной оценки клинико-функциональных результатов групп пациентов в зависимости от степени исходного астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы и фемтолазерной аркуатной кератотомии, проведение оценки коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты с применением векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа с диаграммой двойного угла, разработка метода определения ротации и положения торической интраокулярной линзы, оценка полученных результатов в зависимости от технологии проведения операции факоэмульсификации катаракты с использованием фемтосекундного лазера и традиционной факоэмульсификации катаракты.

Работа проводилась на базе ЧФ ФГАУ МНТК «Микрохирургия глаза» им. С. Н. Федорова с 2018 по 2020 г. В исследование вошло 162 пациента с сопутствующим роговичным астигматизмом, пришедших на плановую хирургию по поводу катаракты.

В исследование были отобраны пациенты с катарактой с правильным роговичным астигматизмом и шириной зрачка не менее 6,0 мм в условиях лекарственного мидриаза. Средний возраст составил от 40 до 70 лет.

В связи с направленностью работы на изучение сравнительной эффективности исследуемых методов коррекции астигматизма с использованием фемтосекундного лазера, включающих проведение ФЛЭК с ТИОЛ и ФЛЭК с ФЛ-АК, группу контроля составили пациенты, которым была проведена ФЭК с ТИОЛ, выполненная по традиционной методике. С учетом распространенности применения АК при астигматизме не более 2,5–3,5 дптр все пациенты в

зависимости от степени астигматизма были разделены на 2 подгруппы: до 2,0 дптр (0,75–2,0 дптр) и более 2,0 дптр (2,1–3,5 дптр).

I (основная) группа – 50 пациентов (50 глаз), которым была выполнена ФЛЭК с ТИОЛ. Данная группа была разделена на две подгруппы: в первую подгруппу вошли – 25 пациентов с астигматизмом до 2,0 дптр и средним цилиндрическим компонентом рефракции до операции  $-1,70 \pm 0,10$ , во вторую 25 пациентов с астигматизмом более 2,0 дптр и цилиндрическим компонентом  $-2,6 \pm 0,84$ .

II (основная) группа – 57 пациентов (57 глаз), прооперированных методом ФЛЭК в сочетании с ФЛ-АК. В первую подгруппу были включены 27 пациентов с астигматизмом до 2,0 дптр и средним цилиндрическим компонентом рефракции  $-1,89 \pm 0,17$ , во вторую – 30 пациентов с астигматизмом более 2,0 дптр с цилиндрическим компонентом  $-2,75 \pm 0,50$ .

III (контрольная) группа – 55 пациентов (55 глаз) с ФЭК с имплантацией ТИОЛ, выполненной по стандартной методике. Первую подгруппу составили 25 пациентов с астигматизмом менее 2,5 дптр, с цилиндрическим компонентом рефракции  $-1,76 \pm 0,26$ , вторую подгруппу – 30 пациентов с астигматизмом более 2,0 дптр с цилиндрическим компонентом  $-2,25 \pm 0,60$ .

Всем пациентам было проведено комплексное до- и послеоперационное обследование с использованием стандартных и специальных методов исследования. Стандартные методы включали: биомикроскопию, визометрию, тонометрию, автокераторефрактометрию, кератотопографию, биометрию, ультразвуковую биомикроскопию, осмотр глазного дна трехзеркальной линзой Гольдмана.

Специальные методы: aberрометрия, определение децентрации и наклона оптической части ИОЛ, определение ротационной стабильности ТИОЛ.

Соответственно поставленной цели были определены задачи, для решения которых был разработан алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии и метод интраоперационной маркировки в ходе фемтолазерного этапа операции.

Алгоритм проведения ФЛ-АК включал определение параметров аркуатных разрезов роговицы по разработанной номограмме в зависимости от ориентации сильной оси роговицы при постоянном диаметре между насечками и глубиной разреза, составляющими 7,0 мм и 90% соответственно (заявка на патент РФ № 2020124334), и метод компенсации циклоторсии, заключающийся в определении угла циклоторсии путем математического суммирования координат маркированного в предоперационном периоде горизонтального меридиана и выставленной в автоматическом режиме оси парацентезов 0–180° с последующей коррекцией расположения аркуатных разрезов соответственно сильной оси роговицы (патент РФ № 2718860). Разработанный алгоритм позволил проводить расчет с аркуатных разрезов с учетом кривизны задней поверхности роговицы и компенсировать циклоторсию непосредственно в ходе фемтолазерного этапа операции.

Метод интраоперационной маркировки заключается в формировании двух симметрично расположенных аркуатных разрезов в 9,0-миллиметровой зоне с длиной дуги 10–15°, расположенных соответственно координатам проекции сильного меридиана роговицы и выполняемых непосредственно во время фемтолазерного этапа операции. Данные аркуатные разрезы являются анатомическими ориентирами расположения меридиана с наибольшей оптической силой (заявка на патент № 2020127370), позволяющими повысить точность позиционирования цилиндрического компонента торической ИОЛ, а также использовать его в качестве ориентира при определении ротационной нестабильности ТИОЛ в отдаленных периодах наблюдения.

Таким образом, разработанный алгоритм проведения ФЛ-АК и метод интраоперационной маркировки при ФЛЭК с ТИОЛ позволили повысить точность ожидаемого рефракционного результата, определяющего визуальные исходы операции, что соответствует цели алгоритма проведения хирургической коррекции астигматизма.

После разработки технологии контроля проведения коррекции астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты

проводилось изучение клинико-функциональных результатов в сравнительном аспекте с группой контроля в зависимости от степени астигматизма.

Для проведения оперативного вмешательства использовалась фемтолазерная система LenSx (Alcon, США), факоэмульсификация выполнялась на приборе Centurion® VisionSystem (Alcon, США).

Значимость различий всех трех групп исследования оценивали на основе непараметрического критерия Краскела – Уоллеса. Качественные характеристики в группах сравнивались с использованием критерия  $\chi^2$ . Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ Statistica 10,0 (StatSoft, США) и Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft, США).

Анализ клинико-функциональных результатов проводился на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции. Через 12 месяцев после операции оценивались: безопасность, эффективность и предсказуемость коррекции по цилиндрическому компоненту рефракции. Анализ изменения астигматизма проводили с помощью стандартного метода Alpins с использованием программного обеспечения ASSORT VectrAK (Cheltenham, Victoria, Австралия) и графического векторного анализа с диаграммой двойного угла.

Через 12 месяцев показатели НКОЗ статистически значимо улучшились по сравнению с дооперационными на  $0,62 \pm 0,25$ ;  $0,59 \pm 0,18$  и  $0,56 \pm 0,17$  в подгруппе с астигматизмом до 2,0 дптр, достигнув  $0,71 \pm 0,13$ ,  $0,85 \pm 0,26$  и  $0,73 \pm 0,34$  в I, II и III группах соответственно ( $p_w < 0,05$ ). Через 12 месяцев после операции в I группе НКОЗ в пределах 0,5 была у 100% пациентов, в пределах 1,0 – 67%, во II группе – 0,5 – 90%, 1,0 – 10%, в III группе –  $\geq 0,5$  – 86%, 1,0 – 44%.

При коррекции астигматизма более 2,0 дптр НКОЗ увеличилась на  $0,60 \pm 0,18$ ;  $0,44 \pm 0,28$  и  $0,53 \pm 0,19$  в I, II и III группах соответственно, составив  $0,77 \pm 0,13$ ;  $0,55 \pm 0,26$  и  $0,71 \pm 0,12$  в I, II и III группах соответственно ( $p_w < 0,05$ ). Через 12 месяцев после операции в I группе эффективность коррекции в пределах  $\geq 0,5$  составила 100% пациентов, в пределах 1,0 – 22%, во II группе –  $\geq 0,5$  – 62%, 1,0 – 15%, в III группе –  $\geq 0,5$  – 100%, 1,0 – 13%.

Статистический анализ сферического компонента рефракции и СЭ не определил статистически значимой разницы между группами через 12 месяцев после операции в группах с астигматизмом до 2,0 дптр, что является показателем сопоставимой эффективности проводимых методов коррекции при астигматизме до 2,0 дптр ( $p_{k-w} > 0,05$ ). Предсказуемость по СЭ в группах с астигматизмом до 2,0 дптр составила в I группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр 92%,  $\pm 1,0$  дптр – 96%, во II группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 85%,  $\pm 1,0$  дптр – 92%, в III группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 88%,  $\pm 1,0$  дптр – 96%. В группах с астигматизмом более 2,0 дптр значения СЭ имели статистически значимые различия в течение всего периода наблюдения с наибольшими значениями во II группе исследования (ФЛЭК с ФЛ-АК) ( $p_{k-w} < 0,05$ ). При межгрупповом сравнении I и III групп достоверной разницы не выявлено, что говорит о более эффективных методах коррекции астигматизма величиной более 2,0 дптр методами с имплантацией ТИОЛ ( $p_{m-u} < 0,05$ ). Предсказуемость по сферозэквиваленту в I группе составила в пределах  $\pm 0,5$  дптр 84%,  $\pm 1,0$  дптр – 95%, во II группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 46%,  $\pm 1,0$  дптр – 54%, в III группе в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 69%,  $\pm 1,0$  дптр – 96%. При этом в группе ФЛЭК с ТИОЛ была выявлена более высокая предсказуемость по СЭ в пределах  $\pm 0,5$  дптр ( $p < 0,05$ ), что говорит о предпочтительном использовании фемтолазерного сопровождения при проведении факоемульсификации катаракты с имплантацией ТИОЛ при коррекции астигматизма более 2,0 дптр.

Оценка остаточного цилиндрического компонента рефракции через 12 месяцев после проведенного хирургического вмешательства выявила статистически незначимую разницу между исследуемыми группами при коррекции астигматизма до 2,0 дптр, которая составила  $-0,71 \pm 0,13$ ;  $-0,85 \pm 0,26$  и  $-0,73 \pm 0,34$  ( $p_{k-w} > 0,05$ ) и достоверные различия при коррекции астигматизма более 2,0 дптр:  $0,58 \pm 0,27$ ;  $-1,51 \pm 0,72$  и  $-0,61 \pm 0,31$  ( $p_{k-w} < 0,05$ ) в I, II и III группах соответственно. При межгрупповом сравнении результатов величина остаточного цилиндра во II группе (ФЛЭК с ФЛ-АК) имела наибольшее значение  $-1,51 \pm 0,72$ . Статистически значимой разницы между I и III группами выявлено не было ( $p_{m-u} > 0,05$ ).

Полученные результаты укладываются в средние значения эффективности коррекции астигматизма слабой и средней степени с помощью ТИОЛ, по данным которых величина остаточного цилиндра варьирует от 0,19 до 1,02 [158; 66; 85]. В исследованиях коррекции астигматизма слабой степени ФЛ-АК с применением ФСЛ предоперационный роговичный астигматизм был снижен с  $0,92 \pm 0,34$  дптр до  $0,14 \pm 0,23$  дптр, что превосходит наши результаты, однако следует учитывать, что в большинстве исследований на данную тему коррекции подвергалась изначально меньшая величина среднего дооперационного цилиндра [185]. Полученные результаты остаточного цилиндра также совпадают с исследованиями других авторов, проводивших сравнительный анализ коррекции среднего и высокого астигматизма стандартным методом ФЭК с имплантацией ТИОЛ и мануальной техникой выполнения LRI, в которых остаточный астигматизм составил 0,75 и 1,33 дптр соответственно [156].

Предсказуемость остаточного цилиндра при коррекции астигматизма до 2,0 дптр составила в I группе  $\pm 0,5$  дптр – 71%,  $\pm 1,0$  – 100%, во II группе  $\pm 0,5$  дптр – 68%,  $\pm 1,0$  – 92%, в III группе  $\pm 0,5$  дптр – 65%,  $\pm 1,0$  – 90%. Предсказуемость при коррекции астигматизма более 2,0 дптр составила в пределах  $\pm 0,5$  дптр – 75%,  $\pm 1,0$  – 100%, во II группе  $\pm 0,5$  дптр – 17%,  $\pm 1,0$  – 61%, в III группе  $\pm 0,5$  дптр – 70%,  $\pm 1,0$  – 95%. Полученные результаты свидетельствуют о сопоставимой эффективности всех трех методов коррекции у пациентов с астигматизмом до 2,0 дптр и более эффективной компенсации цилиндрического компонента рефракции ФЛЭК с имплантацией ТИОЛ при коррекции астигматизма более 2,0 дптр. Приведенные данные превышают результаты коррекции астигматизма, полученные Roberts T. V. и соавт., в которых в пределах  $\pm 0,5$  – 35,7% и 16,7%,  $\pm 1,0$  – 82,2 и 44,4% в группах с ТИОЛ и АК соответственно, однако совпадают с исследованиями некоторых авторов [128; 156; 73; 62].

В литературе имеют место данные об успешной коррекции астигматизма слабой степени методом ФЛ-АК. При этом используемые номограммы не учитывают кривизну задней поверхности роговицы и ограничивают эффективность данного метода. Разработанная нами номограмма, изменяющая



длину дуги в зависимости от направления сильного меридиана, позволила повысить эффективность коррекции при астигматизме до 2,0 дптр методом ФЛ-АК на уровень сопоставимый с имплантацией ТИОЛ. Величина рефракционного цилиндра при коррекции астигматизма до 2,0 дптр уменьшилась с  $-1,89 \pm 0,87$  до  $-0,85 \pm 0,26$  и не имела статистически значимой разницы между группами с ТИОЛ ( $p_{k-w}=0,330$ ). Результаты данного исследования совпадают с данными, приведенными Уоо и соавт., в которых рефракционный цилиндр уменьшился с  $1,71 \pm 0,15$  до  $0,78 \pm 0,10$  D и с  $1,67 \pm 0,13$  до  $0,83 \pm 0,09$  в группах ФЛЭК с ФЛ-АК и ФЛЭК с ТИОЛ соответственно ( $p=0,01$ ), и превышают по эффективности мануальные методы проведения LRI, при которых средний остаточный цилиндр был равен  $1,18 \pm 0,90$  [90;156].

При сравнительном анализе роговичного астигматизма выявлена статистически значимая разница между группами первой и второй подгрупп ( $<2,0$  и  $>2,0$  дптр), сопровождающаяся меньшими значениями астигматизма во II группе  $0,92 \pm 0,19$  по сравнению с  $1,47 \pm 1,23$  и  $1,86 \pm 1,70$  в I и III группах соответственно ( $p_{k-w}=0,001$ ) при коррекции астигматизма до 2,0 дптр и  $1,27 \pm 0,60$  при коррекции астигматизма более 2,0 дптр и  $3,27 \pm 1,18$  и  $3,31 \pm 1,0$  в I и III группах при коррекции астигматизма более 2,0 дптр. Значимое снижение кератометрического цилиндра после ФЛ-АК было выявлено в обеих подгруппах, что связано с технологией проведения операции.

С целью проведения объективной оценки эффективности коррекции цилиндрического компонента рефракции нами проводился векторный анализ по методу Альпинса и графический векторный анализ с диаграммой двойного угла.

При коррекции астигматизма до 2,0 дптр величина вектора TIA составила  $1,45 \pm 0,57$ ;  $1,76 \pm 0,42$  и  $1,66 \pm 0,61$  ( $p_{k-w} > 0,05$ ), вектора SIA –  $1,50 \pm 0,66$ ;  $1,30 \pm 0,88$  и  $1,59 \pm 0,47$  ( $p_{k-w} > 0,05$ ), вектора DV –  $0,90 \pm 1,42$ ;  $1,15 \pm 0,48$  и  $0,94 \pm 0,37$  ( $p_{k-w} > 0,05$ ) в I, II и III группах соответственно. Анализ интегральных показателей не выявил статистически значимых различий между группами, однако наименьший угол ошибки был в I группе исследования ( $p_{k-w} > 0,05$ ) и составил  $3,0 \pm 10,93$ , по

сравнению с  $7,41 \pm 10,67$  и  $5,08 \pm 14,50$  во II и III группах соответственно. Данные векторного анализа не имели статистически значимой связи между группами ( $p_{k-w} > 0,05$ ), что является показателем сопоставимости всех трех методов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр.

Данные векторного анализа при коррекции астигматизма более 2,0 дптр имели сопоставимые предоперационные показатели вектора TIA  $2,63 \pm 0,78$ ;  $2,09 \pm 0,81$  и  $2,53 \pm 0,81$  ( $p_{k-w} = 0,910$ ). Вектор SIA статистически значимо отличался между группами и составил  $2,57 \pm 1,32$ ;  $1,73 \pm 1,12$  и  $2,72 \pm 0,98$  ( $p_{k-w} = 0,046$ ), показатели вектора DV имели значимую разницу между группами:  $0,72 \pm 0,57$ ;  $1,11 \pm 0,48$  и  $0,75 \pm 0,66$  ( $p_{k-w} = 0,037$ ) в I, II и III группах соответственно. Проведенный попарный анализ значений векторов SIA и DV I и III групп не выявил достоверной разницы между данными методами коррекции ( $p_{m-u} = 0,526$  и  $p_{m-u} = 0,508$ ), в то время как попарное сравнение I и II, II и III групп выявило наличие статистической значимости ( $p_{m-u} = 0,031$  и  $p_{m-u} = 0,026$  соответственно), однако с поправкой Бонферрони, снизив значимость различий между группами ( $p_{m-u} > 0,017$ ). Исследование интегральных показателей определило меньшее значение АЕ в I группе, по сравнению со II и III группами ( $p_{k-w} = 0,007$ ), составившими  $1,07 \pm 22,80$ ;  $4,5 \pm 27,24$  и  $9,76 \pm 37,42$  соответственно. Попарный анализ между группами с поправкой Бонферрони определил, что АЕ был статистически значимо ниже в группе ФЛЭК с ТИОЛ, что говорит о меньшей ошибке смещения заданной оси относительно сильного меридиана роговицы ( $p_{m-u} = 0,015$ ). МЕ имело наименьшее значение в I группе –  $0,20 \pm 0,63$ , по сравнению с  $0,28 \pm 0,67$  и  $0,52 \pm 0,33$  во II и III группах, однако без статистической разницы между группами ( $p_{k-w} = 0,460$ ). Значения СИ в I и III группах составили  $1,07 \pm 0,37$  и  $1,05 \pm 0,39$ , по сравнению с  $0,85 \pm 0,53$  ( $p_{k-w} = 0,664$ ) во II группе, что свидетельствовало об имеющейся недокоррекции во II группе. IOS был ближе к нулю в I и III группах –  $0,27 \pm 0,75$  и  $0,37 \pm 0,28$  по сравнению с  $0,68 \pm 0,50$  во II группе ( $p_{k-w} = 0,313$ ). Полученные результаты говорят об эффективности коррекции

астигматизма более 2,0 дптр при имплантации ТИОЛ, а использование разработанного метода интраоперационной маркировки способствует меньшему углу ошибки по отношению к фактической оси астигматизма, что наблюдалось в группе ФЛЭК с ТИОЛ. При этом отсутствие статистически значимой разницы между показателями CI, IOS и ME может свидетельствовать о возможности использования ФЛЭК с ФЛ-АК при астигматизме более 2,0 дптр, однако без достижения максимальной рефракции цели, для снижения величины цилиндрического компонента рефракции.

Результаты векторного анализа отличаются в исследованиях разных авторов. Анализ вектора SIA показал сопоставимые результаты с данными других авторов, которые не выявили значимой разницы между SIA в группе ФЛЭК и ФЭК с ТИОЛ [90]. В исследовании Yoo A. и соавт. сравнительный анализ проводился между ФЛЭК с ФЛ-АК и ФЛЭК с ТИОЛ. Полученные результаты аналогичны полученным нами по ME, составившим  $0,26 \pm 0,57$  и  $0,55 \pm 0,50$  через 5 месяцев после операции, и AE, равным  $3,49 \pm 24,96^\circ$  и  $5,78 \pm 18,02^\circ$  через 1 месяц после операции в группах соответственно [91]. Wang J. При проведении ФЛЭК с ФЛ-АК получил сходные с нашими данные по CI –  $0,88 \pm 0,29$ , в то время как AE был значительно меньше и ближе к нулю и соответствовал  $0,85 \pm 13,69^\circ$  [84]. Различие в полученных данных может быть связано с разными подходами к коррекции угла циклоторсии и методу интраоперационной маркировки, что может оказывать влияние на конечный рефракционный результат, в связи с чем исследования, проводимые в сравнительном аспекте между группами, преобретают особую актуальность.

Полученные результаты роговичных aberrаций в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах имели статистически значимые изменения с наибольшими значениями в группе ФЛЭК с ФЛ-АК на протяжении всего периода исследования, что определялось технологией проведения операции, сопровождающейся формированием аркуатных разрезов на роговице ( $p_{k-w} < 0,05$ ). При этом анализ внутренних aberrаций в 3,0- и 6,0-миллиметровых зонах не выявил значимых различий между группами при коррекции астигматизма степенью до 2,0 и более

2,0 дптр за тот же временной интервал. Однако наиболее значимыми были изменения аберраций кома и трейфойл, которые статистически значимо отличались между группами ФЛЭК и ФЭК ( $p_{m-u}=0,015$ ), что говорит о более высоком качестве полученного зрения при использовании ФСЛ и подтверждается корреляционной связью в группе ФЭК между наклоном и комой ( $r = 0,707$ ;  $p = 0,007$ ). Наши данные совпадают с результатами авторов, исследовавших данный вопрос [104; 81].

В соответствии с поставленной задачей изучения ротационной стабильности ТИОЛ в капсульном мешке с течением времени в зависимости от технологии проведения операции, с целью проведения сравнительного анализа между группами ФЛЭК и ФЭК, был разработан метод определения угла ротации линзы, заключающийся в фоторегистрации оптической части линзы в различные сроки после операции с прицелом на цилиндрическую составляющую, с последующим совмещением полученных фотоснимков в определенной последовательности и обработкой в программе Adobe Photoshop. Данный метод позволяет проводить поэтапное исследование осевого положения торической ИОЛ и количественно оценивать отклонение от фактической оси астигматизма, проводя оценку эффективности технологии проведения операции, как в раннем послеоперационном периоде, так и отследить изменение угла ротации через определенные интервалы времени.

Исследование ротационной стабильности ТИОЛ выявило статистически значимые различия между I (ФЛЭК с ТИОЛ) и III (ФЭК с ТИОЛ) группами на 1-й день после операции, составив  $1,57 \pm 1,66^\circ$  и  $3,60 \pm 2,19^\circ$  ( $p_{m-u}=0,007$ ) и через 3 месяца –  $2,47 \pm 2,54^\circ$  и  $4,63 \pm 3,40^\circ$  ( $p_{m-u}=0,033$ ). На 1-е сутки после операции величина отклонения от фактической оси астигматизма в группе ФЛЭК была в среднем в 2,2 раза меньше, чем в группе ФЭК. По данным литературы установлено, что наибольшая ротационная нестабильность ТИОЛ наблюдается в течение первых трех месяцев после операции [74;160;171]. Полученный угол ротации ТИОЛ в группе ФЭК имел статистически значимо большую величину через 3 месяца после операции, по сравнению с ФЛЭК ( $p_{m-u}=0,033$ ). К 12 месяцу

разница между группами уменьшилась до 1,9 раз. Ротация более  $10^\circ$  наблюдалась в двух случаях в группе ФЭК с ТИОЛ и составила 13 и  $17^\circ$ , в сравнении с  $4,2^\circ$  в группе ФЛЭК. При этом, по данным разных исследований, вращение ТИОЛ в среднем составляет от 3 до  $9^\circ$  [48; 124; 136; 159; 183; 42].

ФЛЭК с разработанным методом интраоперационной маркировки сильного меридиана способствует более устойчивому положению ТИОЛ в капсульном мешке в течение наиболее значимых первых трех месяцев после операции, что определяет меньшую величину угла ротации в течение 12 месяцев после операции в группе с фемтолазерным сопровождением, а значит, делает фемтолазерные технологии более предпочтительными при имплантации ТИОЛ в сравнении с традиционной методикой проведения ФЭК с ТИОЛ. Единичные исследования в опубликованных изданиях отмечают отсутствие статистически значимой разницы в величине ротации между группами, что может быть связано с имплантацией ТИОЛ других моделей (Tecnis toric IOL), отличающихся подходом в определении угла вращения и методами проведения интраоперационной маркировки [54]. В то же время имеются исследования, подтверждающие наличие корреляционной связи между ротацией ТИОЛ и площадью капсулорексиса. Площадь капсулорексиса при диаметре более 6,0 миллиметров значительно увеличивала среднюю ротацию ТИОЛ до  $7,81 \pm 4,68^\circ$  (от 0 до  $21^\circ$ ) в период до 3 месяцев наблюдения, что косвенно подтверждает полученные результаты [77].

Учитывая схожие механизмы, влияющие на изменение положения ТИОЛ в капсульном мешке с течением времени, а именно процесс фиброзирования капсульного мешка, актуальным было исследование децентрации и наклона оптической части линзы и их влияния на индуцирование астигматизма.

В соответствии с поставленной задачей было проведено математическое численное моделирование индуцирования астигматизма в зависимости от изменения положения ТИОЛ и разработан метод определения децентрации и наклона ТИОЛ в капсульном мешке по данным ОКТ.

Результаты, полученные при применении новых технологий, затрагивающие вопросы точности достижения целевого рефракционного

результата, нуждаются в проведении фундаментальных исследований, реализуемых на базе математического анализа, смоделированного с помощью расчетных программ. Было проведено математическое численное моделирование влияния децентрации и наклона на индуцирование астигматизма на модели глаза методом трассировки лучей в программе Zemax OpticStudio (LLC, USA) и вычислением базовых параметров в программе Компас-3D LT V 12 (Аскон, Россия). Была установлена зависимость индуцирования астигматизма от степени наклона и децентрации с определением критических значений, составивших для децентрации 0,7–1,0 миллиметров и для наклона 3,0–3,5°, что определило физический наклон и децентрацию оптической части ИОЛ как источник дополнительного остаточного астигматизма. Полученные нами данные совпадают с исследованиями других авторов, подтверждающих индуцирование астигматизма наклоном ИОЛ [150].

Разработанный метод определения положения оптической части торической ИОЛ относительно горизонтальной и вертикальной плоскостей, заключался в проведении линейных и угловых замеров с помощью измерительных инструментов, доступных на ОКТ, и сопровождался математическим расчетом при измерении децентрации, позволяя проводить количественную оценку децентрации и наклона линзы в капсульном мешке в зависимости от направления смещения ИОЛ.

Показатели децентрации не выявили статистически значимой разницы между группами в течение всего периода наблюдения ( $p > 0,05$ ). Максимальные показатели децентрации не превышали 0,600 миллиметров (среднее значение –  $0,234 \pm 0,232$  миллиметров – вертикальная децентрация в группе ФЭК). По данным других авторов, средние показатели децентрации при стандартно выполненной ФЭК находятся в пределах от 0,1 до 0,3 миллиметров [31; 180; 36].

Статистически значимыми были значения вертикального наклона через 3 и 6 месяцев, составившие  $0,59 \pm 0,32$  и  $0,78 \pm 0,37$  ( $p_{m-u}=0,048$ ),  $0,60 \pm 0,31$  и  $0,86 \pm 0,3$  ( $p_{m-u}=0,045$ ) в I (ФЛЭК с ТИОЛ) и III группах (ФЭК с ТИОЛ) соответственно. Максимальное значение наклона было выявлено в вертикальной плоскости и

составило  $2,8^\circ$  в группе ФЭК с ТИОЛ. По данным других авторов, средние значения наклона составляли  $2,95 \pm 3,51^\circ$  и  $3,09 \pm 3,27^\circ$  [31]. Проведенный корреляционный анализ выявил наличие статистически значимой связи между наклоном и величиной остаточного цилиндра в группе ФЭК с ТИОЛ ( $p=0,02$ ,  $r=0,52$ ), что подтверждается проведенным математическим исследованием на модели глаза. Аналогичные результаты получены некоторыми авторами [77]. Также некоторые исследователи говорят об отсутствии клинически значимого наклона и децентрации при выполнении стандартной ФЭК [51]. Полученная разница в величине вертикального наклона, по нашему мнению, может быть напрямую связана с методикой формирования капсулорексиса и равномерным перекрытием оптической части линзы при фемтосекундном сопровождении, способствующем правильному позиционированию ИОЛ в раннем послеоперационном периоде и соразмерному сокращению капсульного мешка с течением времени. Мануальная техника отличается асимметричностью и неравномерностью, нередко сопровождаемыми отсутствием перекрытия края оптики на значительном протяжении, что вызывает наклон оптической части линзы, наиболее часто фиксируемый в вертикальном положении. При этом немаловажное значение придается отличию методик регистрации отклонения линзы, которая в нашем случае была выполнена при помощи технического устройства, обладающего визуализацией высокой точности (ОКТ Casia 2) [120].

При анализе аберраций высшего порядка более низкие значения комы и трейфойла были выявлены на 3-й день, через 3, 6 и 12 месяцев после операции в группе ФЛЭК с ТИОЛ ( $p_{k-w} < 0,05$ ) на фоне незначительных межгрупповых различий других аберраций высшего порядка. Корреляционный анализ дал основание связать полученные результаты, выявленные в группе ФЭК с ТИОЛ, с наклоном оптической части ИОЛ, ( $p < 0,05$ ). Анализ литературных источников выявил единичные исследования, посвященные данному вопросу, которые также обнаружили более высокие значения вертикального наклона и комы в группе с мануально выполненным капсулорексисом [117; 81].

Анализ полученных результатов установил, что по разработанному алгоритму коррекции астигматизма в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты возможно ориентироваться при направленности оперативного вмешательства на рефракционный результат операции. Метод имплантации торической ИОЛ является наиболее прогнозируемым при коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты, в то время как фемтолазерная аркуатная кератотомия позволяет эффективно корригировать астигматизм до 2,0 дптр. На основании полученных результатов исследований в данной работе было доказано, что при коррекции астигматизма слабой степени применение ФЛ-АК является эффективным методом коррекции, так как метод обладает сопоставимой с методами имплантации ТИОЛ прогнозируемостью и отсутствием регресса результата, связанного с ротацией. При коррекции астигматизма более 2,0 дптр целесообразно имплантировать торическую ИОЛ в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты в связи с меньшей вероятностью ротации линзы и меньшим индуцированием aberrаций высшего порядка. ФЛЭК с фемтолазерной аркуатной кератотомией применять только с целью снижения степени астигматизма.

Таким образом, разработанный алгоритм хирургической коррекции астигматизма на основе методов фемтолазерной аркуатной кератотомии и имплантации торической ИОЛ, проводимых с использованием фемтосекундного лазера и включающих разработанные методы расчета параметров и учета угла циклоторсии при проведении аркуатной кератотомии, а также метод интраоперационной маркировки при имплантации торической ИОЛ позволяют ориентировать хирурга на использование оптимального метода коррекции в зависимости от исходной степени астигматизма в ходе хирургии катаракты. Это является ключевым моментом, демонстрирующим взаимозаменяемость исследуемых методов при коррекции астигматизма до 2,0 дптр и предоставляющим оперирующему хирургу возможность выбора при слабой степени астигматизма, а также определяющим более предпочтительное использование фемтолазерного сопровождения при экстракции катаракты с имплантацией торической ИОЛ при коррекции астигматизма более 2,0 дптр.



## ВЫВОДЫ

1. Предложенный алгоритм фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией, включающий определение параметров аркуатных разрезов по номограмме в зависимости от ориентации сильного меридиана, в сочетании с коррекцией угла циклоторсии позволяет рассчитать длину дуги с учетом кривизны задней поверхности роговицы и компенсировать циклоторсию непосредственно в ходе фемтолазерного этапа операции.

2. Разработанный метод интраоперационной маркировки сильного меридиана в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы, заключающийся в формировании двух симметричных аркуатных разрезов соответственно заданным параметрам, обеспечивает прецизионное позиционирование цилиндрического компонента линзы относительно сильной оси роговицы во время операции и позволяет контролировать его отклонение в различные сроки после операции.

3. На основании сравнительной оценки клинико-функциональных результатов было установлено, что предложенный алгоритм проведения фемтолазерной аркуатной кератотомии позволяет получать результаты, сопоставимые с имплантацией торической ИОЛ при коррекции астигматизма до 2,0 дптр ( $p > 0,05$ ), при коррекции астигматизма более 2,0 дптр целесообразно проводить фемтолазер-ассистированную экстракцию катаракты с имплантацией торической ИОЛ в связи с лучшей предсказуемостью рефракционного результата по сферозэквиваленту ( $p < 0,05$ ) и меньшим индуцированием aberrаций высшего порядка, обеспечивающими лучшие показатели остроты и качества зрения.

4. На основании сравнительной оценки результатов векторного анализа по Альпинсу и графического векторного анализа групп пациентов после операции с имплантацией торической ИОЛ по технологии экстракции катаракты с

фемтолазерным сопровождением и фемтолазерной аркуатной кератотомии в сравнении с традиционной факоэмульсификацией катаракты с имплантацией торической ИОЛ было доказано, что предложенные методы коррекции имеют сопоставимую эффективность при коррекции астигматизма до 2,0 дптр. При астигматизме более 2,0 дптр имплантация торической ИОЛ с интраоперационной маркировкой в ходе фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты обеспечивает более высокую точность операции за счет меньшего угла ошибки АЕ ( $p < 0,05$ ) по сравнению с традиционной факоэмульсификацией катаракты.

5. Разработанный метод определения угла ротации установил, что выполнение основных этапов экстракции катаракты с применением фемтосекундного лазера в сочетании с разработанным методом интраоперационной маркировки обеспечивает в среднем в 2,5 раза меньшее значение угла отклонения торической линзы от фактической оси астигматизма на 1-й день после операции ( $p < 0,05$ ) и снижает отклонение от заданного меридиана в 1,9 раза в течение 3 месяцев ( $p < 0,05$ ) после операции по сравнению с традиционной методикой проведения факоэмульсификации.

6. Разработанный метод определения положения торической интраокулярной линзы в капсульном мешке (децентрации и наклона) выявил наименьшие показатели вертикального наклона в группе факоэмульсификации катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы с фемтолазерным сопровождением, в сравнении с группой со стандартной методикой проведения операции через 3 ( $p < 0,05$ ) и 6 месяцев ( $p < 0,05$ ) после операции. Методом трассировки лучей на теоретической модели глаза были установлены критические значения индуцирования астигматизма, составившие для децентрации 0,7-1,0 мм и наклона 3,0-3,5°.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При сочетании катаракты с астигматизмом до 2,0 дптр проводить одномоментную коррекцию роговичного астигматизма с использованием фемтолазер-ассистированных методов факоемульсификации катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы или в сочетании с фемтолазерной аркуатной кератотомией. При коррекции астигматизма более 2,0 дптр выполнять фемтолазер-ассистированную факоемульсификацию катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы, фемтолазерную аркуатную кератотомию применять только с целью снижения степени астигматизма.

2. Фемтолазер-ассистированную экстракцию катаракты с имплантацией торической интраокулярной линзы проводить по разработанному методу интраоперационной маркировки сильного меридиана, заключающемуся в создании анатомических ориентиров в виде двух симметричных аркуатных разрезов в 9,0-миллиметровой зоне с длиной дуги  $15^\circ$ , глубиной 80–90% толщины роговицы, сохраняющихся в послеоперационном периоде, с целью повышения точности сопоставления цилиндрической оси торической интраокулярной линзы с фактической осью астигматизма и облегчения контроля ротации ТИОЛ в различные сроки после операции.

3. Фемтолазер-ассистированную экстракцию катаракты с фемтолазерной аркуатной кератотомией проводить по разработанному алгоритму, включающему расчет параметров аркуатных роговичных разрезов по предложенной номограмме, учитывающей влияние астигматизма задней поверхности роговицы в зависимости от ориентации сильного меридиана, в сочетании с коррекцией угла циклоторсии в ходе фемтолазерного этапа операции, что позволяет получать результаты, сопоставимые с имплантацией торических интраокулярных линз при коррекции астигматизма величиной до 2,0 дптр.

4. Применять разработанный метод определения угла ротации торической интраокулярной линзы относительно меридиана с наибольшей оптической силой, основанный на совмещении двух фотоснимков, выполненных при ретроградном подсвечивании, посредством программы Adobe Photoshop с автоматическим измерением угла ротации, для повышения точности определения угла вращения в различные сроки после операции.

5. Одномоментную коррекцию астигматизма проводить методом факоэмульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением, обеспечивающим стабильное положение торической интраокулярной линзы в капсульном мешке в течение 3 месяцев после операции, что гарантирует меньшую вращательную способность и минимальные значения показателей вертикального наклона, повышая зрительные результаты в отдаленном послеоперационном периоде.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

- АК – астигматическая кератотомия
- Дптр – диоптрия
- ИОЛ – интраокулярная линза
- МКОЗ – скорригированная острота зрения
- НКОЗ – некорригированная острота зрения
- ОКТ (Optical Coherence Tomography) – оптическая когерентная томография
- ТИОЛ – торическая интраокулярная линза
- ФЭК – факоемульсификация катаракты
- ФЛЭК – фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты
- ФСЛ – фемтосекундный лазер
- ФЛ-АК – фемтолазерная аркуатная кератотомия
- ФРК – фоторефрактивная кератэктомия
- ФемтоЛАЗИК – лазерный кератомилез in situ с фемтосопровождением
- Сyl – цилиндрический компонент рефракции
- DV – вектор разницы
- Kmax – показатель кератометрии в «сильном» меридиане
- Kmin – показатель кератометрии в «слабом» меридиане
- LRI (Limbal Relaxing Incisions) – послабляющие лимбальные разрезы
- НОА (Higher Order Aberrations) – абберации высшего порядка, мкм
- RMS OPD (root mean square) – средняя квадратичная ошибка суммарного волнового фронта
- SIA – индуцированный вектор астигматизма
- Sph – сферический компонент рефракции
- ТИА – целевой вектор астигматизма

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Анисимова, С. Ю. Эффективность фемтолазерного сопровождения факоэмульсификации осложненных катаракт / С. И. Анисимов, И. В. Новак, К. М. Авсинеева [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник офтальмологии. – 2016. – Т. 132, № 1. – С. 57–62.
2. Анисимова, С. Ю. Сравнение механического и фемтосекундного капсулорексиса при факоэмульсификации катаракты / С. Ю. Анисимова, В. Н. Трубилин, А. В. Трубилин, С. И. Анисимов. – Текст : непосредственный // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. – Т. 12, № 4. – С. 16–18.
3. Бранчевская, Е. С. Топографически ориентированная ФРК на эксимерлазерной установке "Микроскан визум" в коррекции неправильного астигматизма : специальность 14.01.07 «Глазные болезни»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Бранчевская Екатерина Сергеевна; ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» – М., 2015. – 22 с. – Место защиты: ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова». – Текст : непосредственный.
4. Глазные болезни: учебник / под ред. В. Г. Копаевой. – М.: Медицина, 2012. – 560 с. – Текст : непосредственный.
5. Гусев Ю. А. Эффективность интраокулярной коррекции астигматизма у пациентов с катарактой после перенесенной ранее радиальной кератотомии / Ю. А. Гусев, Л. В. Жежелева. – Текст : непосредственный // Современные технологии в офтальмологии. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 36–38.
6. Ильинская, И. А. Клинические аспекты интраокулярной коррекции астигматизма : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Ильинская Ирина Анатольевна ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования

«Институт повышения квалификации Федерального медико-биологического агентства. – М., 2014. – 24 с. – Место защиты : ФГБОУ ДПО ИПК ФМБА. – Текст : непосредственный.

7. Колесников, А. В. Торические ИОЛ Acrysof® Torik® – эффективность одноэтапной хирургии катаракты и роговичного астигматизма / А. В. Колесников, О. В. Шевякова // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: сб. науч. статей. – М., 2012. – С. 84. – Текст : непосредственный.

8. Костенев, С. В. Фемтосекундная лазерная хирургия: Принципы и применение в офтальмологии / С. В. Костенев, К. В. Черных. – Новосибирск : Наука, 2012. – 142 с. – Текст : непосредственный.

9. Куликов, И. В. Сравнительный анализ рефракционных данных, аберраций высшего порядка и зрительных функций после стандартной факоэмульсификации и факоэмульсификации с фемтолазерным сопровождением / И. В. Куликов, Н. П. Паштаев. – Текст : непосредственный // Современные технологии в офтальмологии. – 2016. – Т. 12, № 4. – С. 125–127.

10. Куликова, И. Л. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией / И. Л. Куликова, Н. П. Паштаев. – М. : Офтальмология, 2012. – 236 с. – Текст : непосредственный.

11. Люткевич, В. Г. Биоптика в комплексе средств коррекции аномалий рефракции / В. Г. Люткевич, Л. П. Алехина. – Текст : непосредственный // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 330–331.

12. Малюгин, Б. Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии / Б. Э. Малюгин. – Текст : непосредственный // Вестник офтальмологии. – 2014. – Т. 130, № 6. – С. 80–88.

13. Паштаев, Н. П. Фемтолазерассистированная экстракция катаракты и традиционная факоэмульсификация при подвывихе хрусталика / Н. П. Паштаев, И. В. Куликов, С. Н. Пикусова. – DOI 10.17116/oftalma2018134365. – Текст : электронный // Вестник офтальмологии. – 2018. – Т. 134, № 3. – С. 65–72.

14. Пензева, К. В. Анализ толщины сетчатки после выполнения первичного заднего капсулорексиса / К. В. Пензева, Ю. В. Тахтаев. – Текст : непосредственный // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. – Т. 12, № 2. – С. 17–20.

15. Першин, К. Б. Коррекция остаточной аметропии после факоэмульсификации катаракты. Кераторефракционные подходы / К. Б. Першин, Н. Ф. Пашинова, А. Ю. Цыганков [и др.]. – Текст : непосредственный // Офтальмология. – 2017. – Т. 14, № 1. – С. 18–26.

16. Показания к хирургическому лечению у пациентов с децентрацией ИОЛ / И. Э. Иошин, М. А. Руднева, Э. Г. Алиев [и др.]. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2005. – № 2. – С. 9–14.

17. Радзиховский, Б. Л. Астигматизм человеческого глаза / Б. Л. Радзиховский. – М.: Медицина, 1969. – 196 с. – Текст : непосредственный.

18. Родионов С. А. Основы оптики: конспект лекций / С. А. Родионов. – СПб. : СПб ГИТМО (ТУ), 2000. – 167 с. – Текст : непосредственный.

19. Сеницын, М. В. Клинико-экспериментальная оценка эффективности интрастромальной имплантации колец Myoring по оптимизированной технологии в реабилитации пациентов с кератоконусом : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Сеницын Максим Владимирович ; Чебоксарский филиал ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова. – М., 2017. – 24 с. – Место защиты : ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова. – Текст : непосредственный.

20. Сеницын, М. В. Отдаленные клинико-функциональные результаты оптимизированной технологии имплантации интрастромальных колец MyoRing с применением фемтосекундного лазера у пациентов с кератоконусом / М. В. Сеницын, Н. А. Поздеева. – Текст : непосредственный // Восток-Запад. Точка зрения. – 2017. – № 1. – С. 47–50.

21. Стройко, М. С. Фемтосекундная астигматическая кератотомия в сочетании с топографически ориентированной фоторефрактивной кератэктомией



для коррекции роговичного астигматизма у пациентов с тонкой роговицей : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Стройко Милла Сергеевна ; ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова». – М., 2018. – 24 с. – Место защиты : ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова». – Текст : непосредственный.

22. Стройко, М.С. Коррекция роговичного астигматизма у пациентов с тонкой роговицей с помощью усовершенствованной сочетанной технологии / М. С. Стройко, С. В. Костенев, А. Л. Пахомова. – Текст : непосредственный // Офтальмология. – 2018. – Т. 15, № 2S. – С. 166–173.

23. Трубилин, А. В. Сравнительная клинко-морфологическая оценка капсулорексиса при проведении факэмульсификации катаракты на основе фемтолазерной и механических технологий : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Трубилин Александр Владимирович ; ФГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации Федерального медико-биологического агентства». – М., 2015. – 23 с. – Место защиты : ФГБОУ ДПО ИПК ФМБА России. – Текст : непосредственный.

24. Трубилин, В. Н. Интраокулярная коррекция роговичного астигматизма в процессе хирургического лечения катаракты. Обзор / В. Н. Трубилин, И. А. Ильинская, А. В. Трубилин.– Текст : непосредственный // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2014.–Т. 14, №3. – С. 4–10.

25. Федяшев, Г. А. Способ повышения ротационной стабильности торических интраокулярных линз / Г. А. Федяшев. – Текст : непосредственный // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2015. – Т. 61, № 3. – С. 26–28.

26. Фролычев, И. А. Послеоперационный эндофтальмит. Обзор литературы / И. А. Фролычев, Н. А. Поздеева. – Текст : непосредственный // Практическая медицина. – 2017. – Т. 110, № 110. – С. 192–195.

27. Хирургическая коррекция астигматизма в ходе факэмульсификации катаракты с применением системы VERION / А. В. Терещенко, И. Г.

Трифаненкова, М. В. Окунева [и др.]. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2018. – № 2. – С. 23–29.

28. Хирургическое лечение астигматизма после сквозной кератопластики (предварительные результаты) / З. И. Мороз, Ю. Ю. Калинин, С. Л. Легких [и др.]. – Текст : непосредственный // Новое в офтальмологии. – 2013. – № 2. – С. 28–30.

29. Хрипун, К. В. Лимбальные послабляющие разрезы как способ докоррекции остаточного астигматизма при имплантации мультифокальной торической ИОЛ Acrysof IQ Restor Toric при высоких степенях астигматизма / К. В. Хрипун, С. Ю. Астахов, Я. С. Коненкова. – Текст : непосредственный // Офтальмологические ведомости. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 66–70.

30. Хрипун, К. В. хирургическая коррекция астигматизма во время и после экстракции катаракты : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Хрипун Кирилл Владимирович ; ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова». – М., 2016. – 22 с. – Место защиты : Моск. науч.-исслед. ин-т глаз. болезней им. Гельмгольца. – Текст : непосредственный.

31. A clinical comparison of single-piece and three-piece truncated hydrophobic acrylic intraocular lenses / T. R. Wallin, M. Hinckley, C. Nilson, R. J. COlson. – DOI 10.1016/s0002-9394(03)00418-5. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 2003. – Vol. 136, № 4. – P. 614–619.

32. Abell, R. G. Toward zero effective phacoemulsification time using femtosecond laser pretreatment/ R. G. Abell, N. M. Kerr, B. J. Vote. – DOI 10.1016/j.optha.2012.11.045. – Text : electronic // Ophthalmology. 2013. – Vol. 120, № 5. – P. 942–948.

33. Abraham, A. G. The new epidemiology of cataract / A. G. Abraham, N. G. Condon, E. W. Gower. – DOI 10.1016/j.ohc.2006.07.008. – Text : electronic // Ophthalmol. Clin. North. Am. – 2006. – Vol. 19, № 4. – P. 415-425.

34. Adhesion of fibronectin, vitronectin, laminin, and collagen type IV to intraocular lens materials in pseudophakic human autopsy eyes. Part 2: explanted intraocular lenses / R. J. Linnola, L. Werner, S. K. Pandey. – DOI 10.1016/s0886-3350(00)00747-1. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2000. – Vol. 26, № 12. – P. 1807–1818.
35. Aggregation of refractive error and 5-year changes in refractive error among families in the Beaver Dam eye study / K. E. Lee, B. E. Klein, R. Klein, J. P. Fine. – DOI 10.1001/archophth.119.11.1679. – Text : electronic // *Arch. Ophthalmol.* – 2001. – Vol. 119, № 11. – P. 1679–1685.
36. Ale, J. B. Intraocular lens tilt and decentration: a concern for contemporary IOL designs / J. B. Ale. – DOI 10.3126/nepjoph.v3i1.4281. – Text : electronic // *Nepal. J. Ophthalmol.* – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 68–77.
37. Alpíns, N. Astigmatism analysis by the alpíns method / N. Alpíns. – DOI 10.1016/s0886-3350(00)00798-7. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2001. – Vol. 27, № 1. – P. 31–49.
38. Analysis of astigmatic keratotomy / P. J. Agapitos, R. L. Lindstrom, P. A. Williams, D. R. Sanders. – DOI 10.1016/s0886-3350(89)80134-8. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1989. – Vol. 15, № 1. – P. 13– 18.
39. Analysis of intraocular lens surface adhesiveness by atomic force microscopy. / M. Lombardo, G. Carbone, G. Lombardo [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2009.02.029. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2009. – Vol. 35, №7. – P. 1266–1272.
40. Arcuate keratotomy infiltration following uneventful femtosecond laser assisted cataract surgery / P. Biswas, S. Chatterjee, S. Batra [et al.]. – DOI 10.4103/ijo.IJO\_72\_19. – Text : electronic // *Indian. J. Ophthalmol.* – 2019. – Vol. 67, № 10. – P. 1742–1744.
41. Arcuate transverse keratotomy remains a useful adjunct to correct astigmatism in conjunction with photorefractive keratectomy/ M. S. Kapadia, R. Krishna, S. Shah, S. E. Wilson. – Text : immediate // *J. Refract. Surg.* – 2000. – Vol. 16, № 1. – P. 60–68.

42. Astigmatism correction with toric intraocular lenses: wavefront aberrometry and quality of life / R. Mencucci, C. Giordano, E. Favuzza [et al.]. – DOI 10.1136/bjophthalmol-2013-303094. – Text : electronic // Br. J. Ophthalmol. – 2013. – Vol. 97, № 5. – P. 578–582.

43. Astigmatism reduction clinical trial: a multicenter prospective evaluation of the predictability of arcuate keratotomy. Evaluation of surgical nomogram predictability. ARC-T Study Group / F. W. Price, R. B. Grene, R. G. Marks, J. S. Gonzales. – DOI 10.1001/archophth.1995.01100030031017. – Text : electronic // Arch. Ophthalmol. – 1995. – Vol. 113, № 3. – P. 277–282.

44. Baumeister, M. Tilt and decentration of spherical and aspheric intraocular lenses: effect on higher-order aberrations / M. Baumeister, J. Bühren, T. Kohlen. – DOI 10.1016/j.jcrs.2009.01.023. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35, № 6. – P. 1006–1012.

45. Beveled femtosecond laser astigmatic keratotomy for the treatment of high astigmatism post-penetrating keratoplasty / C. Cleary, M. Tang, H. Ahmed [et al.]. – DOI 10.1097/ICO.0b013e31825ea2e6. – Text : electronic // Cornea. – 2013. – Vol. 32, № 1. – P. 54–62.

46. Buzard, K. A. Clinical results of arcuate incisions to correct astigmatism / K. A. Buzard, E. Laranjeira, B. R. Fundingsland. – DOI 10.1016/s0886-3350(96)80119-2. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1996. – Vol. 22, № 8. – P. 1062–1069.

47. Cekic, O. The relationship between capsulorhexis size and anterior chamber depth relation / O. Cekic, C. Batman. – Text : immediate // Ophthalmic. Surg. Lasers. – 1999. – Vol. 30, № 9. – P. 185–190.

48. Chang, D. F. Comparative rotational stability of single-piece open-loop acrylic and plate-haptic silicone toric intraocular lenses / D. F. Chang. – DOI 10.1016/j.jcrs.2008.07.012. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2008. – Vol. 34, № 11. – P. 1842–1847.

49. Chang, J. S. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy: a review / J. S. Chang. – DOI 10.1186/s40662-018-0099-9. – Text : electronic // Eye Vis (Lond). – 2018. – № 5. – P. 6.
50. Changes in corneal astigmatism among patients with visually significant cataract / D. A. M. Lyall, S. Srinivasan, J. Ng, E. Kerr. – DOI 10.1016/j.jcjo.2014.02.001. – Text : electronic // Can. J. Ophthalmol. – 2014. – Vol. 49, № 3. – P. 297–303.
51. Characteristics and factors associated with intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery / X. Chen, X. Gu, W. Wang [et al.]. – DOI 10.1097/j.jcrs.0000000000000219. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg.– 2020. – Vol. 46, № 8. – P. 1126–1131.
52. Clinical importance of the lens opacities classification system III (LOCS III) in phacoemulsification / G. Bencić, M. Zorić-Geber, D. Sarić [et al.]. – Text : immediate // Coll. Antropol. – 2005. – Vol. 29, Suppl. 1. – P. 91–94.
53. Clinical outcomes of TECNIS toric intraocular lens implantation after cataract removal in patients with corneal astigmatism / K. L. Waltz, K. Featherstone, L. Tsai, D. Trentacost. – DOI 10.1016/j.optha.2014.06.027. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2015. – Vol. 122, № 1. – P. 39–47.
54. Comparative clinical outcomes of tecnis toric IOL implantation in femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification surgery / K.-R. Lai, X.-B. Zhang, Y.-H. Yu, K. Yao. – DOI 10.18240/ijo.2020.01.07. – Text : electronic // Int. J. Ophthalmol. – 2020. – Vol. 13, № 1. – P. 49–53.
55. Comparative cohort study of visual outcomes in femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery / S. Y. Ewe, R. G. Abell, C. L. Oakley [et al.]. – DOI 10.1016/j.optha.2015.09.026. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2016. – Vol. 123, № 1. – P. 178–182.
56. Comparative corneal topography and refractive variables in monozygotic and dizygotic twins / S. Valluri, J. B. Minkovitz, K. Budak [et al.]. – DOI 10.1016/s0002-9394(98)00319-5. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 1999. – Vol. 127, № 2. – P. 158–163.

57. Comparison of cumulative dispersed energy (CDE) in femtosecond laser-assisted cataract surgery (FLACS) and conventional phacoemulsification / O. J. Saedi, L. Y. Chang, S. R. Ong [et al.]. – DOI 10.1007/s10792-018-0996-x. – Text : electronic // *Int. Ophthalmol.* – 2019. – Vol. 39, № 8. – P. 1761–1766.

58. Comparison of IOL power calculation and refractive outcome after laser refractive cataract surgery with a femtosecond laser versus conventional phacoemulsification / T. Filkorn, I. Kovács, A. Takács [et al.]. – DOI 10.3928/1081597X-20120703-04. – Text : electronic // *J. Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 28, № 8. – P. 540–544.

59. Comparison of Methods to Predict Residual Astigmatism After Intraocular Lens Implantation / A. Abulafia, W. E. Hill, M. Franchina, G. D. Barrett. – DOI 10.3928/1081597X-20150928-03. – Text : electronic // *J. Refract. Surg.* – 2015. – Vol. 31, № 10. – P. 699–707.

60. Comparison of two toric iols with different haptic design: optical quality after 1 year / K. Miháلتz, M. Lasta, M. Burgmüller [et al.]. – DOI 10.1155/2018/4064369. – Text : electronic // *J. Ophthalmol.* – Article ID 4064369. – 7 p.

61. Comparison of visual recovery and refractive stability between femtosecond laser-assisted cataract surgery and standard phacoemulsification: six-month follow-up / I. Conrad-Hengerer, M. A. Sheikh, F. H. Hengerer [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2014.10.044. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2015. – Vol. 41, № 7. – P. 1356–1364.

62. Comparison of Toric Intraocular Lenses and Arcuate Corneal Relaxing Incisions to Correct Moderate to High Astigmatism in Cataract Surgery / T. V. Roberts, P. Sharwood, C. Hodge [et al.]. – DOI 10.1097/APO.0b013e3182a0af21. – Text : electronic // *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology (Phila.)*. – 2014. – Vol. 3, № 1. – P. 9-16.

63. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism / D. D. Koch, S. F. Ali, M. P. Weikert [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2012.08.036. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 38, № 12. – P. 2080–2087.

64. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism / D. D. Koch, R. B. Jenkins, M. P. Weikert [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2013.06.027. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 39, № 12. – P. 1803–1809.

65. Correction of astigmatism with SMILE with axis alignment: 6-month results from 622 eyes. / P. Chen, Y. Ye, N. Yu [et al.]. – DOI 10.3928/1081597X-20190124-02. – Text : electronic // J. Refract. Surg. – 2019. – Vol. 35, № 3. – P. 138–145.

66. Correction of low corneal astigmatism in cataract surgery / P. Leon, M. R. Pastore, A. Zanei [et al.]. – DOI 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.04.14. – Text : electronic // Int. J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 8, № 4. – P. 719–724.

67. Correction of postkeratoplasty astigmatism by femtosecond laser compared with mechanized astigmatic keratotomy / L. Hoffart, H. Proust, F. Matonti [et al.]. – DOI 10.1016/j.ajo.2008.12.017. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 2009. – Vol. 147, № 5. – P. 779–787.

68. Correlation between pupillary size and intraocular lens decentration and visual acuity of a zonal progressive multifocal lens and a monofocal lens1 / K. Hayashi, H. Hayashi, F. Nakao, F. Hayashi. – DOI 10.1016/s0161-6420(01)00756-4. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108, № 11. – P. 2011–2017.

69. Cyclorotation during femtosecond laser- assisted cataract surgery measured using iris registration / C. D. Hummel, V. F. Diakonis, N. R. Desai [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2017.04.034. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2017. – Vol. 43, № 7. – P. 952–955.

70. David, M. Epidemiology of Refractive Errors / M. David, A. S. Difford // M. David, A. S. Clifford editors. A Text Book of Ophthalmology. – Philadelphia : Elsevier, 2004. – 2nd ed – P. 68–70. – Text : immediate.

71. Davison, J. A. Capsule contraction syndrome/ J. A. Davison. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80004-1. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1993. – Vol. 19, № 5. – P. 582–589.

72. Day, A. C. Nonpenetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in eyes having cataract surgery / A. C. Day, N. M. Lau, J. D. Stevens. – DOI 10.1016/j.jcrs.2015.07.045. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2016. – Vol. 42, № 1. – P. 102–109.

73. Day, A. C. Stability of keratometric astigmatism after non-penetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy performed during laser cataract surgery / A. C. Day, J. D. Stevens. – DOI 10.3928/1081597X-20160204-01. – Text : electronic // J. Refract. Surg. – 2016. – Vol. 32, № 3. – P. 152–155.

74. Determination of post-operative toric IOL alignment - Analyzed by two different methods: Slit-lamp versus Adobe Photoshop // J. H. Farooqui, A. Koul, R. Dutta, N. M. Shroff. – DOI 10.4103/1858-540x.150996. – Text : electronic // Sudanese Journal of Ophthalmology. – 2014. – Vol. 6, № 2. – P. 57–61.

75. Development of a nomogram for femtosecond laser astigmatic keratotomy for astigmatism after keratoplasty / R. M. St Clair, A. Sharma, D. Huang [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2015.12.053. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2016. – Vol. 42, № 4. – P. 556–562.

76. Duffey, R. J. U.S. Trends in refractive surgery : 2015 ISRS survey / R. J. Duffey, D. Leaming // International society of refractive surgery. – 2015. – Режим доступа: <https://isrs.aao.org/resources/2015-isrs-u-s-trends-survey>. Accessed 3 Aug 2017.

77. Early Postoperative Rotational stability and its related factors of a single-piece acrylic toric intraocular lens // S. Li, X. Li, H. Suhong [et al.]. – DOI 10.1038/s41433-019-0521-0. – Text : electronic // Eye (Lond). – 2020. – Vol. 34, № 3. – P. 474–479.

78. Effect of decentration and tilt on the image quality of aspheric intraocular lens designs in a model eye / T. Eppig, K. Scholz, A. Löffler [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2009.01.034. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35, № 6. – P. 1091–1100.



79. Elkington, A. R. Refraction of Light. Clinical optics / A. R. Elkington, H. J. Frank, J. G. Michael. – London: Blackwell Science Ltd, 1999. – 3rd ed. – P. 34–124. – Text : immediate.

80. Ernest, P. Влияние предоперационного положения оси астигматизма на результаты операций с имплантацией торической ИОЛ с низким компонентом цилиндрической коррекции / P. Ernest, R. Potvin. – Текст : непосредственный // Новое в офтальмологии. – 2015. – № 1.

81. Espaillet, A. Clinical outcomes using standard phacoemulsification and femtosecond laser-assisted surgery with toric intraocular lenses / A. Espaillet, O. Pérez, R. Potvin. – DOI 10.2147/OPTH.S102083. – Text : electronic // Clin. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 10. – P. – 555–563.

82. Estimation accuracy of surgically induced astigmatism on the cornea when neglecting the posterior corneal surface measurement. / L-S. Cheng, C-Y. Tsai, R. J.-F. Tsai [et al.]. – DOI 10.1111/j.1755-3768.2009.01732.x. – Text : electronic // Acta. Ophthalmol. – 2011. – Vol. 89, № 5. – P. 417–422.

83. Evaluation of femtosecond laser intrastromal incision location using optical coherence tomography / L. Wang, L. Jiang, K. Hallahan. – DOI 10.1016/j.optha.2017.03.022. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2017. – Vol. 124, № 8. – P. 1120–1125.

84. Evaluation of the effectiveness of combined Femtosecond cataract surgery and femtosecond laser astigmatic keratotomy improving post-operative visual outcome/ J. Wang, J. Zhao, J. Xu, J. Zhang. – DOI 10.1186/s12886-018-0823-1. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2018. – Vol. 18, № 1. – P. 161.

85. Evaluation of toric intraocular lenses in patients with low degrees of astigmatism / L. Levitz, J. Reich, K. Roberts, C. Hodge. – DOI 10.1097/APO.000000000000112. – Text : electronic // Asia. Pac. J. Ophthalmol. (Phila). – 2015. – Vol. 4, № 5. – P. 245–249.

86. Femtosecond astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism/ N. Al Sabaani, S. Al Malki, M. Al Jindan [et al.]. – DOI 10.1016/j.sjopt.2016.04.003. – Text : electronic // Saudi. J. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 30, № 3. – P. 163–168.

87. Femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of high astigmatism after keratoplasty / M. Nubile, P. Carpineto, M. Lanzini. – DOI 10.1016/j.optha.2009.01.013. – Text : electronic // *Ophthalmology*. – 2009. – Vol. 116, № 6. – P. 1083–1092.

88. Femtosecond laser arcuate keratotomy for the correction of postkeratoplasty high astigmatism in keratoconus / M. N. Hashemian, H. Ojaghi, M. Mohammadpour [et al.]. – DOI 10.4103/1735-1995.200267. – Text : electronic // *J. Res. Med. Sci*. – 2017. – Vol. 22. – P. 17.

89. Femtosecond laser capsulotomy versus manual capsulotomy: Meta-analysis / D. W. Qian, H. K. Guo, S. L. Jin [et al.]. – DOI 10.18240/ijo.2016.03.23. – Text : electronic // *Int. J. Ophthalmol*. – 2016. – Vol. 9, № 3. – P. 453–458.

90. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery / L. Mastropasqua, L. Toto, A. Mastropasqua [et al.]. – DOI 10.3928/1081597x-20131217-03. – Text : electronic // *J. Refract. Surg*. – 2014. – Vol. 30, № 1. – P. 27–33.

91. Femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy versus toric IOL implantation for correcting astigmatism / A. Yoo, S. Yun, J. Y. Kim [et al.]. – DOI 10.3928 / 1081597X-20150820-01. – Text : electronic // *J. Refract. Surg*. – 2015. – Vol. 31, № 9. – P. 574–578.

92. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy in naturally occurring high astigmatism / A. Abbey, T. Ide, G. D. Kymionis, S. H. Yoo. – DOI 10.1136/bjo.2008.149971. – Text : electronic // *Br. J. Ophthalmol*. – 2009. – Vol. 93, № 12. – P. 1566–1569.

93. Femtosecond laser-assisted cataract surgery / K. E. Donaldson, R. Bragamele, F. Cabot. – [et al.]. – DOI. 10.3928/1081597X-20091117-04. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg*. – 2013. – Vol. 39, № 11. – P. 1753–1763.

94. Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism / T. Rückl, A. K. Dexl, A. Bachernegg [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2012.10.043. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg*. – 2013. – Vol. 39, № 4. – P. 528–538.

95. Ferrer-Blasco, T. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery / T. Ferrer-Blasco, R. Montés-Micó, S. C. Peixoto-de-Matos [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2008.09.027. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35, № 1. – P. 70–75.
96. Genes and environment in refractive error: the twin eye study / G. J. Hammond, H. Sneider, C. E. Gilbert, T. D. Spector. – Text : immediate // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2001. – Vol. 42, № 6. – P. 1232–1236.
97. Genetic and environmental effects on oculometric traits / J. Teikari, J. J. O'Donnell, J. Kaprio, M. Koskenvuo. – DOI 10.1097/00006324-198909000-00005. – Text : electronic // Optom. Vis. Sci. – Vol. 66, № 9. – P. 594–599.
98. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis / H. Hashemi, A. Fotouhi, A. Yekta [et al.]. – DOI 10.1016/j.joco.2017.08.009. – Text : electronic // J. Curr. Ophthalmol. – 2018. – Vol. 30, № 1. – P. 3–22.
99. Global data on visual impairment in the year 2002 / S. Resnikoff, D. Pascolini, D. Etya'ale [et al.]. – Text : immediate // Bull. World. Health. Organ. – 2004. – Vol. 82, № 11. – P. 844–851.
100. Guyton, D. L. Rapid determination of intraocular lens tilt and decentration through the undilated pupil / D. L. Guyton, H. Uozato, H. J. Wisnicki. – DOI 10.1016/s0161-6420(90)32422-3. – Text : electronic // Ophthalmology. – 1990. – Vol. 97, № 10. – P. 1259–1264.
101. Haigis, W. Linsen berechnungsformeln / W. Haigis, H. G. Trier // Ophthalmologische Ultraschalldiagnostik. – Berlin : Springer-Verlag, 1989. – P. 75–80. – Text : immediate.
102. Hardten, D. R. Surgical correction of refractive errors after penetrating keratoplasty / D. R. Hardten, R. L. Lindstrom. – DOI 10.1097/00004397-199703710-00003. – Text : electronic // Int. Ophthalmol. Clin. – 1997. – Vol. 37, № 1. – P. 1–35.
103. Harissi-Dagher, M. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism / M. Harissi-Dagher, D. T. Azar. – DOI 10.3129/i08-043. – Text : electronic // Can. J. Ophthalmol. – 2008. – Vol. 43, № 3. – P. 367–369.

104. Higher order aberrations in femtosecond laser-assisted versus manual cataract surgery: a retrospective cohort study / P. H. Ernest, M. Popovic, B. Matthew [et al.]. – DOI 10.3928/1081597X-20190107-02. – Text : electronic // J. Refract. Surg. – 2019. – Vol. 35, № 2. – P. 102–108.

105. Ho, J. D. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement / J. D. Ho, C. Y. Tsai, S. W. Liou. – DOI 10.1016/j.ajo.2008.12.020. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 2009. Vol. 147, № 5. – P. 788–795.

106. Holladay, J. T. Negative dysphotopsia: the enigmatic penumbra / J. T. Holladay, H. Zhao, C. R. Reisin. – DOI 10.1016/j.jcrs.2012.01.032. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 38, № 7. – P. 1251–1265.

107. Hurmeric, V. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy enabling precise and predictable corneal incisions / V. Hurmeric, S. H. Yoo. – Text : immediate // Cataract. Refract. Surg. Today Europe . – 2010. – № 10. – P. 30–33.

108. Hussain, M. Limbal Relaxing Incision during Phacoemulsification for the Correction of Astigmatism / M. Hussain, M. M. Quraishy. – Text : immediate // Pak. J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 31, № 2. – P. 77–82.

109. Hyperopic shift in refraction associated with implantation of the single-piece Collamer intraocular lens / D. R. Sanders, R. W. Higginbotham, I. E. Opatowsky, J. Confino. – DOI 10.1016/j.jcrs.2006.07.030. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2006. – Vol. 32, № 12. – P. 2110–2112.

110. Impact of corneal aberrations on through-focus image quality of presbyopia-correcting intraocular lenses using an adaptive optics bench system/ L. Zheleznyak, M. J. Kim, S. MacRae, G. Yoon. – DOI 10.1016/j.jcrs.2012.05.032. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 38, № 10. – P. 1724–1733.

111. Incidence and outcomes of repositioning surgery to correct misalignment of toric intraocular lenses / T. Oshika, M. Inamura, Y. Inoue Y [et al.]. – DOI 10.1016/j.optha.2017.07.004. – Text : electronic // Ophthalmology. – 2018. – Vol. 125, № 1. – P. 31–35.

112. Infectious keratitis 355 after astigmatic keratotomy in penetrating keratoplasty; review of 356 three cases / S. D. Adrean, R. Cochrane, C. D. Reilly, M. J. Mannis. – DOI 10.1097/01.ico.0000151552.70982.6e. – Text : electronic // *Cornea*. – 2005. – Vol. 24, № 5. – P. 626–628.

113. Influence of tilt and decentration of scleral-sutured intraocular lens on ocular higher-order wavefront aberration / T. Oshika, G. Sugita, K. Miyata [et al.]. – DOI 10.1136/bjo.2006.099945. – Text : electronic // *Br. J. Ophthalmol.* – 2007. – Vol. 91, № 2. – P. 185–188.

114. Inheritance of astigmatism: evidence for a major autosomal dominant locus / M. Clementi, M. Angi, P. Forabosco [et al.]. – DOI 10.1086/302014. – Text : electronic // *Am. J. Hum. Genet.* – 1998. – Vol. 63, № 3. – P. 825–830.

115. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery / Z. Nagy, A. Tacacs, T. Filkorn [et al.]. – DOI. 10.3928/1081597X-20091117-04. – Text : electronic // *J. Refract. Surg.* – 2009. – Vol. 25, № 12. – P. 1053–1060.

116. Inoue, Y. Axis misalignment of toric intraocular lens: placement error and postoperative rotation / Y. Inoue, H. Takehara, T. Oshika. – DOI 10.1016/j.optha.2017.05.025. – Text : electronic // *Ophthalmology*. – 2017. – Vol. 124, № 6. – P. 1424–1425.

117. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery / K. Miháltz, M. C. Knorz, J. L. Alió [et al.]. – DOI 10.3928/1081597X-20110913-01. – Text : electronic // *J. Refract. Surg.* – 2011. – Vol. 27, № 10. – P. 711–716.

118. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on-axis vector analysis/ N. L. Kumar, I. Kaiserman, R. Shehadeh-Mashor [et al.]. – DOI 10.1016/j.optha.2009.10.041. – Text : electronic // *Ophthalmology*. – 2010. – Vol. 117, № 6. – P. 1228–1235.

119. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism / I. Bahar, E. Levinger, I. Kaiserman [et al.]. – DOI 10.1016/j.ajo.2008.07.004. – Text : electronic // *Am. J. Ophthalmol.* – 2008. – Vol. 146, № 6. – P. 897–904.

120. Intraocular lens alignment from purkinje and Scheimpflug imaging / P. Rosales, A. De Castro, I. Jiménez-Alfaro, S. Marcos. – DOI 10.1111/j.1444-0938.2010.00514.x. – Text : electronic // Clin. Exp. Optom. – 2010. – Vol. 93, № 6. – P. 400–408.

121. Intraocular lens tilt and decentration after implantation in eyes with glaucoma. / K. Hayashi, H. Hayashi, F. Nakao, F. Hayashi. – DOI 10.1016/s0886-3350(99)00242-4. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1999. – Vol. 25, № 11. – P. 1515–1520.

122. Jaffe, N. S. The pathophysiology of corneal astigmatism after cataract extraction / N. S. Jaffe, H. M. Clayman. – Text : immediate // Trans. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol. – 1975. – Vol. 79. – P. 615–630.

123. Jung, C. K. Decentration and tilt: silicone multifocal versus acrylic soft intraocular lenses / C. K. Jung, S. K. Chung, N. H. Baek. – DOI 10.1016/s0886-3350(99)00401-0. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2000. – Vol. 26, № 4. – P. 582–585.

124. Kim, M. H. Long-term efficacy and rotational stability of AcrySof toric intraocular lens implantation in cataract surgery / M. H. Kim, T. Y. Chung, E. S. Chung. – DOI 10.3341/kjo.2010.24.4.207. – Text : electronic // Korean. J. Ophthalmol. – 2010. – Vol. 24, № 4. – P. 207–212.

125. Kohnen, T. Correction of Astigmatism during Cataract Surgery / T. Kohnen, O. K. Klaproth. – DOI 10.1055/s-0028-1109687. – Text : electronic // Klin. Monatsbl. Augenheilkd. – 2009. – Vol. 226, № 8. – P. 596–604.

126. Kose, B. Cyclotorsion Compensation / B. Kose, Y. Sakarya. – DOI 10.3928/1081597X-20190731-01. – Text : electronic // J. Refract. Surg. – 2019. – Vol. 35, № 8. – P. 544.

127. Limbal relaxing incision to correct corneal astigmatism during phacoemulsification / M. J. Carvelho, S. H. Suzuki, L. L. Freitas [et al.]. – Text : immediate // J. Refract. Surg. – 2007. – Vol. 23, № 5. – P. 499–504.

128. Lin, M. Y. Comparison of toric intraocular lenses and femtosecond laserassisted arcuate keratotomy to correct moderate to high astigmatism in cataract

surgery / M. Y. Lin // The 5<sup>th</sup> congress on Controversies in ophthalmology: Asia-Australia, February 22–23. - Shanghai China, 2019. – P. 136. – Text : immediate.

129. Lindstrom, R. L. Cataract surgery and astigmatic keratotomy / R. L. Lindstrom, P. J. Agapitos, D. D. Koch. – DOI 10.1097/00004397-199403420-00011. – Text : electronic // *Int. Ophthalmol. Clin.* – 1994 Spring. – Vol. 34, № 2. – P. 145–164.

130. Liu, T. Compensation of corneal oblique astigmatism by internal optics: a theoretical analysis / T. Liu, L. N. Thibos. – DOI 10.1111/opo.12364. – Text : electronic // *Ophthalmic. Physiol. Opt.* – 2017. – Vol. 37, № 3. – P. 305–316.

131. Maloney, W. F. Astigmatic keratotomy to correct preexisting astigmatism in cataract patients / W. F. Maloney, D. R. Sanders, D. E. Pearcy. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80698-0. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1990. – Vol. 16, № 3. – P. 297–304.

132. Mamalis, N. Noninfectious Inflammation in cataract surgery / N. Mamalis, S. R. Fuller // Pleyer, U. Immune modulation and anti-inflammatory therapy in ocular disorders / U. Pleyer, J. Alió, T. Barisani-Asenbauer [et al.] (eds). – Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. – DOI 10.1007/978-3-642-54350-0\_4. – Text : electronic.

133. Management of postkeratoplasty astigmatism by paired arcuate incisions with compression sutures / U. Fares, A. A. Mokashi, M. A. Al-Aqaba [et al.]. – DOI 10.1136/bjophthalmol-2012-302128. – Text : electronic // *Br. J. Ophthalmol.* – 2013. – Vol. 97, № 4. – P. 438–443.

134. Mechanized astigmatic 352 arcuate keratotomy with the Hanna arcitome for astigmatism after 353 keratoplasty / L. Hoffart, O. Touzeau, V. Borderie, L. Laroche. – DOI 10.1016/j.jcrs.2007.01.031. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2007. – Vol. 33, № 5. – P. 862–868.

135. Megbelayin, E. O. Refractive errors: current thinking / E. O. Megbelayin. – DOI 10.1016/j.jcrs.2006.07.030. – Text : immediate // *Wudpecker J. Med. Scien.* – 2013. – Vol. 2, № 3. – P. 21 – 25.

136. Mendicute, J. Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery / J. Mendicute, C. Irigoyen, M.

Ruiz [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2008.11.043. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35, № 3. – P. 451–458.

137. Milivojević, M. Toric intraocular lenses for the correction of astigmatism / M. Milivojević, M. Vukosavljević, M. Resan. – Belgrade, Serbia, 2014. – DOI 10.5772/24587. – Text : electronic.

138. Miller, A. D. Effect of small focal errors on vision / A. D. Miller, M. J. Kris, A. C. Griffiths. – DOI 10.1097/00006324-199707000-00020. – Text : electronic // Optom. Vis. Sci. – 1997. – Vol. 74, № 7. – P. 521–526.

139. Mohammadi, S. F. Posterior corneal astigmatism: a review article / S. F. Mohammadi, M. Khorrami-Nejad, M. Hamidirad. – DOI 10.2147/OPTO.S210721. – Text : electronic // Clin. Optom. (Auckl). – 2019. – Vol. 11. – P. 85–96.

140. Mostafa, Y. M. Managing hard cataracts using bimanual “hole drilling” phacoemulsification / Y. M. Mostafa, H. M. Mostafa, M. M. Salaheldin. – Text : immediate // Aust. J. Basic. Appl. Sci. – 2008. – Vol. 2, № 10. – P. 1104–1109.

141. Muller-Jensen, K. Limbal relaxing incisions to correct astigmatism in clear corneal cataract surgery / K. Muller-Jensen, P. Fischer, U. Siepe [et al.]. – DOI – Text : immediate // J. Refract. Surg. – 1999. – Vol. 15, № 5. – P. 586–589.

142. Nagy, Z. Z. 1-year clinical experience with a new femtosecond laser for refractive cataract surgery / Z. Z. Nagy. – Text : immediate // Annual Meeting of the American Academy of Ophthalmology. – San Francisco, CA, USA, 2009.

143. Naylor, E. J. Astigmatic difference in refractive errors / E. J. Naylor. – DOI 10.1136/bjo.52.5.422. – Text : electronic // Br. J. Ophthalmol. – 1968. – Vol. 52, № 5. – P. 422–425.

144. Ocular higher-order wavefront aberration caused by major tilting of intraocular lens / T. Oshika, K. Kawana, T. Hiraoka [et al.]. – DOI 10.1016/j.ajo.2005.04.026. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 2005. – Vol. 140, № 4. – P. 744–746.

145. Outcomes study between femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification surgery using an active fluidics system / W. T. Hida,



P. F. Tzelikis, C. Vilar [et al.]. – DOI 10.2147/OPHTH.S136136. – Text : electronic // Clin. Ophthalmol. – 2017. – Vol. 11. – P. 1735–1739.

146. Paired actuate keratotomy: a surgical approach to mixed and myopic astigmatism / R. J. Duffy, V. N. Jain, H. Than [et al.]. – DOI 10.1001/archophth.1988.01060140286043. – Text : electronic // Arch. Ophthalmol. – 1988. – Vol. 106, № 8. – P. 1130–1135.

147. Pascolini, D. Global estimates of visual impairment: 2010 / D. Pascolini, S. P. Mariotti. – DOI 10.1136/bjophthalmol-2011-300539. – Text : electronic // Br. J. Ophthalmol. – 2012. – Vol. 96, № 5. – P. 614–618.

148. Pineda, R. Arcuate keratotomy: an option for astigmatism correction after laser in situ keratomileusis / R. Pineda, V. Jain. – DOI 10.1097/ICO.0b013e31819db422. – Text : electronic // Cornea. – 2009. – Vol. 28, № 10. – P. 1178–1180.

149. Power vector analysis of refractive, corneal, and internal astigmatism in an elderly Chinese population: the Shihpai Eye Study / Y. C. Liu, P. Chou, R. Wojciechowski [et al.]. – DOI 10.1167/iovs.11-7641. – Text : electronic // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2011. – Vol. 52, № 13. – P. 9651–9657.

150. Predictability of different calculators in the minimization of postoperative astigmatism after implantation of a toric intraocular lens / F. J. Ribeiro, T. B. Ferreira, C. Relha [et al.]. – DOI 10.2147/OPHTH.S213132. – Text : electronic // Clin. Ophthalmol. – 2019. – Vol. 13. – P. 1649–1656.

151. Prediction of postoperative intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography / N. Hirschall, T. Buehren, F. Bajramovic [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2017.01.026. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2017. – Vol. 43, № 6. – P. 732–736.

152. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: IV. Rethinking astigmatism analysis for intraocular lens-based surgery: Suggested terminology, analysis, and standards for outcome reports / A. Abulafia, D. D. Koch, J. T. Holladay [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2018.07.027. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2018. – Vol. 44, № 10. – P. 1169–1174.

153. 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 / M. Emesz, A. K. Dexl, E. M. Krall [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2015.07.036. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015. – Vol. 41, № 12. – P. 2683–2694.

154. Reduction of astigmatism by arcuate incisions using the femtosecond laser after corneal transplantation / L. Kiraly, C. Herrmann, M. Amm, G. Duncker. – DOI 10.1055/s-2008-1027126. – Text : electronic // Klin. Monatsbl. Augenheilkd. – 2008. – Vol. 225, № 1. – P. 70–74.

155. Refractive outcomes after limbal relaxing incisions or femtosecond laser arcuate keratotomy to manage corneal astigmatism at the time of cataract surgery/ H. W. Roberts, V. K. Wagh, D. L. Sullivan [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2018.05.027. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2018. – Vol. 44, № 8. – P. 955–963.

156. Refractive outcomes after limbal relaxing incisions or femtosecond laser arcuate keratotomy to manage corneal astigmatism at the time of cataract surgery / H. W. Roberts, V. K. Wagh, D. L. Sullivan [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2018.05.027. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2018. – Vol. 44, № 8. – P. 955–963.  
ПЛОТТОР № 51

157. Reproducibility of intraocular lens decentration and tilt measurement using a clinical Purkinje meter / Y. Nishi, N. Hirschall, A. Crnej [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2010.03.043. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36, № 9. – P. 1529–1535.

158. Rotational performance and corneal astigmatism correction during cataract surgery: aspheric toric intraocular lens versus aspheric nontoric intraocular lens with opposite clear corneal incision / S. Maedel, N. Hirschall, Y. A. Chen, O. Findl. – DOI 10.1016/j.jcrs.2013.11.039. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2014. – Vol. 40, № 8. – P. 1355–1362.

159. Rotational stability of a single-piece toric acrylic intraocular lens / J. J. Koshy, Y. Nishi, N. Hirschall [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2010.05.018. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36, № 10. – P. 1665–1670.

160. Rotational stability of the AcrySof SA60TT toric intraocular lenses: a cohort study / B. Zuberbuhler, T. Signer, R. Gale, E. Haefliger. – DOI 10.1186/1471-2415-8-8. – Text : electronic // BMC Ophthalmol. – 2008. – Vol. 8. – P. 8.

161. Safety and efficacy of femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy to treat irregular astigmatism after penetrating keratoplasty / A. Fadlallah, C. Mehanna, J. J. Saragoussi [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2014.08.046. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015. – Vol. 41, № 6. – P. 1168–1175.

162. Sato, T. Posterior incision of cornea; surgical treatment for conical cornea and astigmatism / T. Sato. – DOI 10.1016/0002-9394(50)91613-8. – Text : electronic // Am. J. Ophthalmol. – 1950. – Vol. 33, № 6. – P. 943–948.

163. Sauer, T. Tilt and decentration of an intraocular lens implanted in the ciliary sulcus after capsular bag defect during cataract surgery / T. Sauer, U. Mester. – DOI 10.1007/s00417-012-2141-2. – Text : electronic // Graefes. Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2013. – Vol. 251, № 1. – P. 89–93.

164. Shimizu, K. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift / K. Shimizu, A. Misawa, Y. Suzuki. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80232-5. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20, № 5. P. 523–526.

165. Shimizu, K. Toric intraocular lenses: Correcting astigmatism while controlling axis shift / K. Shimizu, A. Misawa, Y. Suzuki. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80232-5. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20, № 5. – P. 523–526.

166. Shimizu, K. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift / K. Shimizu, A. Misawa, Y. Suzuki. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80232-5. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20, № 5. – P. 523–526.

167. Silva, D. Posterior corneal astigmatism modifications after cataract surgery and its role on total corneal astigmatism / D. Silva, M. Mota, C. Pedrosa [et al.]. – DOI 10.21037/aes.2018.07.01. – Text : electronic // Ann. Eye Sci. – 2018. – Vol. 3, № 7. – P. 40.

168. Standard for Reporting Refractive Outcomes of Intraocular Lens–Based Refractive Surgery / D. Z. Reinstein, J. A. Timothy, S. Srinivasan [et al.]. – DOI 10.3928/1081597X-20170302-01. – Text : electronic // *J. Refract. Surg.* – 2017. – Vol. 33, № 4. – P. 218–222.

169. Statham, M. Comparison of the AcrySof SA60 spherical intraocular lens and the AcrySofToric SN60T3 intraocular lens outcomes in patients with low amounts of corneal astigmatism / M. Statham, A. Apel, D. Stephensen. – DOI 10.1111/j.1442-9071.2009.02154.x. – Text : electronic // *Clin. Exp. Ophthalmol.* – 2009. – Vol. 37, № 8. – P. 775–779.

170. Stokes, G. G. 19<sup>th</sup> Meeting of the British Association for the Advancement of Science / G. G. Stokes. – London : Trans Sect, 1850. – Text : immediate.

171. Strenn, K. Capsular bag shrinkage after implantation of an open-loop silicone lens and a poly (methyl methacrylate) capsule tension ring / K. Strenn, R. Menapace, C. Vass. – DOI 10.1016/s0886-3350(97)80027-2. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1997. – Vol. 23, № 10. – P. 1543–1547.

172. Surgical management of astigmatism with toric intraocular lenses / B. V. Ventura, L. Wang, M. P. Weikert [et al.]. – DOI 10.5935/0004-2749.20140032. – Text : electronic // *Arq. Bras. Oftalmol.* – 2014. – Vol. 77, № 2. – P. 125–131.

173. The effects of different shapes of capsulorrhexis on postoperative refractive outcomes and the effective position of the intraocular lens in cataract surgery / S. Li, Y. Hu, R. Guo [et al.]. – DOI 10.1186/s12886-019-1068-3. – Text : electronic // *BMC Ophthalmol.* – 2019. – Vol. 19, № 1. – P. 59.

174. The prevalence of astigmatism and its determinants in a rural population of Iran: the “Nooravaran Salamat” mobile eye clinic experience / H. Hashemi, F. Rezvan, A. A. Yekta [et al.]. – DOI 10.4103/0974-9233.129772. – Text : electronic // *Middle. East. Afr. J. Ophthalmol.* – 2014. – Vol. 21, № 2. – P. 175–181.

175. Thornton, S. P. Astigmatic keratotomy: a review of basic concepts with case reports / S. P. Thornton. – DOI 10.1016/s0886-3350(13)80795-x. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1990. – Vol. 16, № 4. – P. 430–435.

176. Toric intraocular lenses in the correction of astigmatism during cataract surgery: a systematic review and meta-analysis / L. Kessel, J. Andresen, B. Tendal [et al.]. – DOI 10.1016/j.ophtha.2015.10.002. – Text : electronic // *Ophthalmology*. – 2016. – Vol. 123, № 2. – P. 275–286.

177. Toric intraocular lenses versus peripheral corneal relaxing incisions for astigmatism between 0.75 and 2.5 diopters during cataract surgery / M. A. Nanavaty, K. K. Bedi, S. Ali [et al.]. – DOI 10.1016/j.ajo.2017.06.007. – Text : electronic // *Am. J. Ophthalmol.* – 2017. – Vol. 180. – P. 165–177.

178. Total corneal power estimation: Ray tracing method versus Gaussian optics formula / L. Wang, A. M. Mahmoud, B. L. Anderson [et al.]. – DOI 10.1167/iovs.09-4982. – Text : electronic // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2011. – Vol. 52, № 3. – P. 1716–1722.

179. Tseng, S. S. Calculation the optimal rotation of a misaligned toric intraocular lens / S. S. Tseng, J. K. Ma. – DOI 10.1016/j.jcrs.2008.05.057. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2008. – Vol. 34, № 10. – P. 1767–1772.

180. Update on fixation of rigid and foldable posterior chamber intraocular lenses. Part I: Elimination of fixation-induced decentration to achieve precise optical correction and visual rehabilitation / J. Ram, D. J. Apple, Q. Peng [et al.]. – DOI 10.1016/S0161-6420(99)00505-9. – Text : electronic // *Ophthalmology*. – 1999. – Vol. 106, № 5. – P. 883–890.

181. Validity of the keratometric index: evaluation by the Pentacam rotating Scheimpflug camera / J-D. Ho, C-Y. Tsai, R. J-F. Tsai [et al.]. – DOI 10.1016/j.jcrs.2007.09.033. – Text : electronic // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2008. – Vol. 34, № 1. – P. 137–145.

182. Varssano, D. Etiology and clinical presentation of astigmatism. DOI 10.5772/18338. – Text : electronic // Goggin, M. *Astigmatism. Optics, Physiology and Management* / M. Goggin. – London: IntechOpen, 2012. – P. 15–32.

183. Vector analysis of astigmatic changes after cataract surgery with toric intraocular lens implantation / J. L. Alio, D. P. Pinero, J. Tomas, A. Aleson. – DOI

10.1016/j.jcrs.2010.12.064. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37, № 7. – P. 1038–1049.

184. Vickers, L. A. Femtosecond laser-assisted keratotomy / L. A. Vickers, P. K. Gupta. – DOI 10.1097/ICU.0000000000000267. – Text : electronic // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 27, № 4. – P. 277–284.

185. Visco, D. M. Femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy at the time of cataract surgery for the management of preexisting astigmatism / D. M. Visco, R. Bedi, M. Packer. – DOI 10.1016/j.jcrs.2019.08.002. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2019. – Vol. 45, № 12. – P. 1762.

186. Visser, N. Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications / N. Visser, N. J. Bauer, R. M. Nuijts. – DOI 10.1016/j.jcrs.2013.02.020. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 39, № 4. – P. 624–637.

187. Visual acuity as a function of Zernike mode and level of root mean square error / R. A. Applegate, C. Ballentine, H. Gross [et al.]. – DOI 10.1097/00006324-200302000-00005. – Text : electronic // Optom. Vis. Sci. – 2003. – Vol. 80, № 2. – P. 97–105.

188. Waddell, K. Spherical Refraction for General Eye workers / K. Waddell. – Text : immediate // Community. Eye. Health. – 2000. – Vol. 13 № 33. – P. 6–7.

189. Wang, L. Effect of decentration of wavefront-corrected intraocular lenses on the higher-order aberrations of the eye / L. Wang, D. D. Koch. – DOI 10.1001/archophth.123.9.1226. – Text : electronic // Arch. Ophthalmol. – 2005. – Vol. 123, № 9. – P. 1226–1230.

190. Weikert, M. P. Astigmatism induced by intraocular lenstiltevaluatedviaraytracing / M. P. Weikert, A. Golla, L. Wang. – DOI 10.1016/j.jcrs.2018.04.035. – Text : electronic // J. Cataract. Refract. Surg. – 2018. – Vol. 44, № 6. – P. 745–749.

191. Wu, E. Femtosecond-assisted astigmatic keratotomy / E. Wu. – DOI 10.1097/HIO.0b013e31820f26cd. – Text : electronic // Int. Ophthalmol. Clin. – 2011. – Vol. 51, № 2. – P. 77–85.

192. Wu, M. Determination of intraocular lens tilt and decentration using simple and rapid method / M. Wu, H. Li, W. Cheng. – Text : immediate // Yan. Ke. Xue. Bao. – 1998. – Vol. 14, № 1. – P. 13–16, 26.

193. Xiang, W. Ocular Cyclorotation and Corneal Axial Misalignment in Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery / W. Xiang, W. Chen, R. Liu [et al.]. – DOI 10.1080/02713683.2019.1638943. – Text : electronic // Curr. Eye Res. – 2019. – Vol. 44, № 12. – P. 1313–1318.

194. Yae, Y. A. New Method for Calculating Residual Astigmatism Produced by Toric Intraocular Lens Rotation / Y. Yae, T. Kubota. – Text : immediate // Ophthalmology Research: An International Journal. – 2014. – Vol. 2, № 6. – P. 368–377.