

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Алексеева Ангелина Геннадьевна

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: Влияние роговичного астигматизма на рефракционные исходы
факоэмульсификации

Уровень образования: специалитет

Направление «Медицина»

Основная образовательная программа 31.05.01 «Лечебное дело»

Научный руководитель:

ассистент, выполняющий лечебную работу кафедры
оториноларингологии и офтальмологии ФГБОУ ВО СПбГУ
к.м.н., Белов Дмитрий Федорович

Рецензент:

врач-офтальмолог
медицинского центра «Адмиралтейские верфи»,
к.м.н., Пирогов Юрий Иванович

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Оглавление	2
Список сокращений и условных обозначений	4
Введение	5
Цель исследования	6
Задачи исследования:	6
Практическая значимость работы.....	7
Научная новизна	7
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
1.1 Катаракта.....	8
1.2 Факоэмульсификация.....	9
1.3 Астигматизм.....	11
1.4 Сочетание астигматизма с катарактой	13
1.5 Торические интраокулярные линзы	15
1.6 Астигматизм задней поверхности роговицы	16
1.7 Расчет интраокулярных линз	17
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	18
2.1 Материалы исследования	18
2.2. Методы исследования	19
2.3 Статистическая обработка.....	20
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	21
3.1 Общие данные об исследуемой группе	21
3.2 Распределение прямого, обратного и косого типов астигматизма в исследуемой группе.....	26
3.3 Роговичный астигматизм	28
3.4 Торический компонент при расчете калькуляторами Kane и ВТС	29

3.5 Влияние остаточного астигматизма на НКОЗ	36
3.6 Векторный анализ.....	41
3.7 Формула расчета остаточного послеоперационного астигматизма	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
ВЫВОДЫ	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	52

Список сокращений и условных обозначений

- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ГПК – глубина передней камеры
- ИОЛ – интраокулярная линза
- ЛАСИК – лазерный кератомилез in situ
- МКОЗ – максимально скорригированная острота зрения
- НКОЗ – некорригированная острота зрения
- ПЗО – переднезадняя ось
- ТИОЛ – торическая интраокулярная линза
- УЗФ – ультразвуковая факоэмульсификация
- ФемтоЛАСИК – лазерный кератомилез с in situ формированием лоскута роговицы с помощью фемтосекундного лазера
- ФРК – фоторефракционная кератэктомия
- ФЭ – факоэмульсификация
- ВUП – Barrett Universal II Formula
- ВТС – Barrett toric calculator
- LRI – limbal relaxing incisions, лимбальные послабляющие разрезы

Введение

По данным обращаемости распространенность катаракты в Российской Федерации составляет 1201,5 на 100 тыс. населения [1]. Более того, увеличение доли пожилого населения планеты и средней продолжительности жизни приведут к тому, что эти цифры в будущем возрастут [2]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) причисляют катаракту к социально-значимым заболеваниям, так как она существенно влияет на качество жизни и трудоспособность человека [3].

Сочетание астигматизма и катаракты довольно часто встречаемое явление – по данным зарубежной литературы, от 15 до 29 % пациентов с помутнение хрусталика имеют роговичный астигматизм более 1,5 дптр, а от 3 до 15 % – более 2,0 дптр [4]. Исследования российских офтальмологов показали, что у 37% наблюдаемых, направленных на плановую операцию по удалению катаракты, имелся роговичный астигматизм более 1,0 дптр [5]. Такие пациенты обращаются по поводу хирургического лечения помутнения хрусталика на 10 лет раньше, в трудоспособном возрасте, в связи с невозможностью заниматься профессиональной деятельностью [6].

Наиболее эффективным методом лечения сочетанной катаракты с роговичным астигматизмом является факэмульсификация (ФЭ) с имплантацией торической интраокулярной линзой (ТИОЛ). Количество хирургических вмешательств при этом сводится к одному, так как коррекция катаракты и астигматизма происходит одновременно. При этом имплантация искусственного хрусталика обеспечивает лучшую некорригированную остроту зрения (НКОЗ) и максимально корригированную остроту зрения (МКОЗ). В целом, через 3-6 месяцев после имплантации ТИОЛ остаточный астигматизм в среднем на 0,75 дптр меньше, чем при установке неторической интраокулярной линзы (ИОЛ) [8].

Область применения ТИОЛ с каждым годом расширяется и включает случаи с высоким астигматизмом и неправильным астигматизмом [9], а также кератоконусом, рубцовыми изменениями и дистрофиями роговицы [10].

Главными условиями качественного результата имплантации ТИОЛ являются стабильный послеоперационный роговичный астигматизм наряду с ротационной стабильностью ИОЛ [9]. Для этого необходима тщательная предоперационная подготовка: проведение точного расчета ИОЛ с использованием бесконтактной биометрии, кератотопографии с измерением передней и задней поверхности роговицы [2], а также оценка остаточного астигматизма.

Кроме того, согласно литературным данным о влиянии астигматизма обратной поверхности роговицы на рефракционные исходы ФЭ, пациенты с обратным роговичным астигматизмом, как правило, имеют более низкую НКОЗ по сравнению с индивидами, имеющими прямой астигматизм [8, 9, 12, 13]. Таким образом, важно учитывать астигматизм задней поверхности роговицы при выборе ТИОЛ и расчете остаточного астигматизма.

Цель исследования

Оценить влияния роговичного астигматизма на рефракционные исходы факоэмульсификации.

Задачи исследования:

1. Оценить частоту встречаемости, тип и степень роговичного астигматизма у пациентов исследуемой группы;
2. Сравнить некорригированную остроту зрения пациентов после факоэмульсификации, имеющих различную степень роговичного астигматизма;
3. Проанализировать данные, полученные с помощью формул расчета торических ИОЛ о частоте необходимости имплантации искусственных хрусталиков, корригирующих роговичный астигматизм;
4. Разработать формулу, прогнозирующую остаточный астигматизм при выполнении ФЭ с имплантацией монофокальной неторической ИОЛ

Практическая значимость работы

Полученные данные свидетельствуют о негативном влиянии остаточного астигматизма на НКОЗ. Данные исследования продемонстрировали, что у 25,1% обследуемых пациентов наблюдался астигматизм более 1,0 дптр, который требовал торической коррекции. Кроме того, почти 40% изученной выборки имели астигматизм обратного типа, который отрицательно повлиял на остаточный послеоперационный астигматизм.

Научная новизна

На основании исходных данных о роговичном астигматизме и положении оси крутого меридиана было выведено уравнение, позволяющее спрогнозировать астигматизм рефракции при выполнении ФЭ с имплантацией монофокальной неторической ИОЛ. Таким образом, на дооперационном этапе возможен расчет остаточного астигматизма на основе минимальных диагностических данных, который позволяет принять решение о целесообразности имплантации ТИОЛ.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Катаракта

Катаракта – заболевание, связанное с частичным или полным помутнением хрусталика, которое развивается, как правило, у пожилых пациентов и проявляется различными степенями снижения остроты зрения – вплоть до полной утраты предметного зрения [14].

Катаракта является одной из основных причин слабовидения и обратимой слепоты в мире, поражая каждого шестого человека в возрасте старше 40 лет и подавляющую часть населения – к возрасту 80-и лет. В связи с широкой распространенностью патологии среди населения, катаракту причисляют к социально значимым заболеваниям глаза [3,15]. Возрастающая доля пожилого населения приведет к увеличению числа жителей планеты с полной или частичной потерей зрения из-за катаракты, что влечет за собой как неудобство в повседневном быту и потерю трудоспособности для пациента, так и значительные расходы на лечение и обеспечение приемлемого качества жизни людей со стороны системы здравоохранения [15, 16].

К факторам риска развития катаракты относят, в первую очередь, женский пол, что может быть обусловлено большей продолжительностью жизни и более внимательным отношением к своему здоровью. Кроме того, такие крупные эпидемиологические исследования, как POLA, Blue Mountains Eye Study отнесли к наиболее распространенным индивидуальным факторам риска развития катаракты возраст старше 65 лет, бронхиальную астму, хронический бронхит, гипопаратиреоз, атопический дерматит, курение [17, 18]. Сахарный диабет также относят к факторам риска развития и прогрессирования катаракты [17, 28]. Исследование G. L. Kanthan, P. Mitchell et al. (2011) показало, что при содержании глюкозы в крови более 6,0 ммоль/л, риск развития катаракты увеличивается [17].

1.2 Факоэмульсификация

Методом выбора лечения катаракты на данный момент является факоэмульсификация – хирургическая экстракция помутневшего хрусталика с заменой на прозрачную ИОЛ. Данное вмешательство является одним из самых распространенных среди офтальмологических операций не только в России, но и в мире [3, 19].

Вплоть до 1960-х годов основным хирургическим методом лечения катаракты было удаление хрусталика без имплантации ИОЛ. Несмотря на то, что прозрачность оптических сред восстанавливалась возникала значительная гиперметропия, которая требовала высокодиоптрийных положительных линз, неудобных в ношении [20]. Первая операция по имплантации ИОЛ была проведена английским офтальмологом Г. Ригли. Офтальмолог обнаружил, что органическое стекло (полиметилакрилат), осколки которого попали летчику в переднюю камеру глаза, не вызывали воспаления и отторжения. 29 ноября 1949 года Ригли провел операцию по удалению хрусталика с заменой его на ИОЛ с восстановлением зрения пациентки до 1,0 с коррекцией [21].

На сегодняшний день активно применяется ультразвуковая факоэмульсификация (УЗФ) с имплантацией ИОЛ. Операция относится к малоинвазивной методике и основана на фрагментации хрусталика ультразвуком с последующей аспирацией. Преимуществами УЗФ являются высокая эффективность, краткие сроки реабилитации пациента, уменьшение степени операционной травмы, отсутствие необходимости наложения швов, снижение риска возникновения индуцированного астигматизма [22].

В зависимости от рефракционных и анатомических особенностей оперируемого глаза, а также от целей хирурга выбирается определенный тип ИОЛ. Псевдофакичные линзы устанавливаются на место удаленного хрусталика и имеет следующие виды: монофокальная, мультифокальная и торическая.

По локализации различают переднекамерные, иридофиксационные и заднекамерные ИОЛ. Переднекамерные располагаются в одноименной камере, редко используются из-за высокого риска возникновения осложнений – развития эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы и хронического увеита [22]. Иридофиксационные, например, ирис-клипс линзы крепятся к радужке и на данный момент используются в осложненных отсуствием капсульной поддержки случаях. Заднекамерные линзы наиболее распространены и имплантируются в капсулярный мешок после удаления ядра и кортикальных масс хрусталика. Данный тип ИОЛ уменьшает риск послеоперационных осложнений (увеит, гифема, элевация внутриглазного давления), а также позволяет получать наиболее предсказуемые рефракционные результаты [22].

По материалу линзы делятся на жесткие и мягкие. Жесткие ИОЛ изготовлены из полиметилметакрилата, что требует протяженного разреза роговицы (5-7 мм) для их имплантации и последующего наложения швов для герметизации глазного яблока. Мягкие линзы изготавливают из гидрофобного или гидрофильного акрила, что позволяет компактно расположить их в картридже, с помощью которого ИОЛ имплантируется в глаз через малый роговичный разрез длиной всего 1,8 – 3 мм, не требующего наложения швов [4, 22, 23].

Традиционные монофокальные ИОЛ позволяют видеть на одном определенном расстоянии (вдаль или вблизи), которое пациент вместе с врачом обговаривают до операции. В отличие от монофокальных интраокулярных линз, которые обладают только одним фокусным расстоянием и зачастую требуют дополнительных средств коррекции для обеспечения хорошей видимости на других расстояниях, мультифокальные линзы содержат несколько оптических зон, что позволяет фокусировать световые лучи, проходящие через них, на разных уровнях сетчатки, обеспечивая хорошую видимость на ближнем, среднем и дальнем расстояниях.

1.3 Астигматизм

Астигматизм – это сочетание в одном глазу двух или более значений рефракции [4].

По регулярности рефракции в пределах меридиана астигматизм делится на правильный и неправильный (рисунок 1). Правильный – это астигматизм, при котором преломляющая сила оптической системы глаза различна в целом, но неизменна в двух перпендикулярных меридианах. Неправильный астигматизм — это астигматизм, при котором преломляющая сила меняется в пределах одного меридиана. Неправильный астигматизм формируется вследствие заболеваний глаз, деформирующих поверхность роговицы: кератоконус, кератоглобус, рубцы роговицы различного генеза и др. В данной работе будут рассмотрены только случаи правильного астигматизма.

По этиологии астигматизм чаще является врожденным состоянием и в основном обусловлен неидеальной сферичностью роговицы. Стоит отметить, что астигматизм передней поверхности роговицы с возрастом имеет тенденцию к изменению с прямого на обратный, при этом астигматизм задней поверхности остается стабильным и, как правило, является прямым [13, 24]. По взаимному расположению главных меридианов астигматизм классифицируют на прямой, где меридиан с более сильным преломлением расположен вертикально и в секторе $\pm 30^\circ$ от вертикали, и обратный, где меридиан с более сильным преломлением расположен горизонтально и в секторе $\pm 30^\circ$ от горизонтали и с косыми осями, где оба меридиана лежат в пределах $31^\circ - 59^\circ$ и $121^\circ - 149^\circ$ соответственно.

Хирургическое лечение роговичного астигматизма включает в себя методику лимбальных послабляющих разрезов (limbal relaxing incisions, LRI) при слабой и средней его степенях (от 0,5 до 2,5 дптр) [14]. Для коррекции правильного астигматизма у пациентов без катаракты также показаны операции лазерный кератомилез *in situ* (ЛАСИК), лазерный кератомилез с *in situ* формированием лоскута роговицы с помощью фемтосекундного лазера

(ФемтоЛАСИК), фоторефракционная кератэктомия (ФРК) и СМАЙЛ [4]. При высоких степенях астигматизма более 6,0 дптр, необходимо использовать либо высокوديоптрийные ТИОЛ, либо комбинированные методики, включающих имплантацию добавочных торических интраокулярных линз с лимбальными послабляющими надрезами [12, 23].

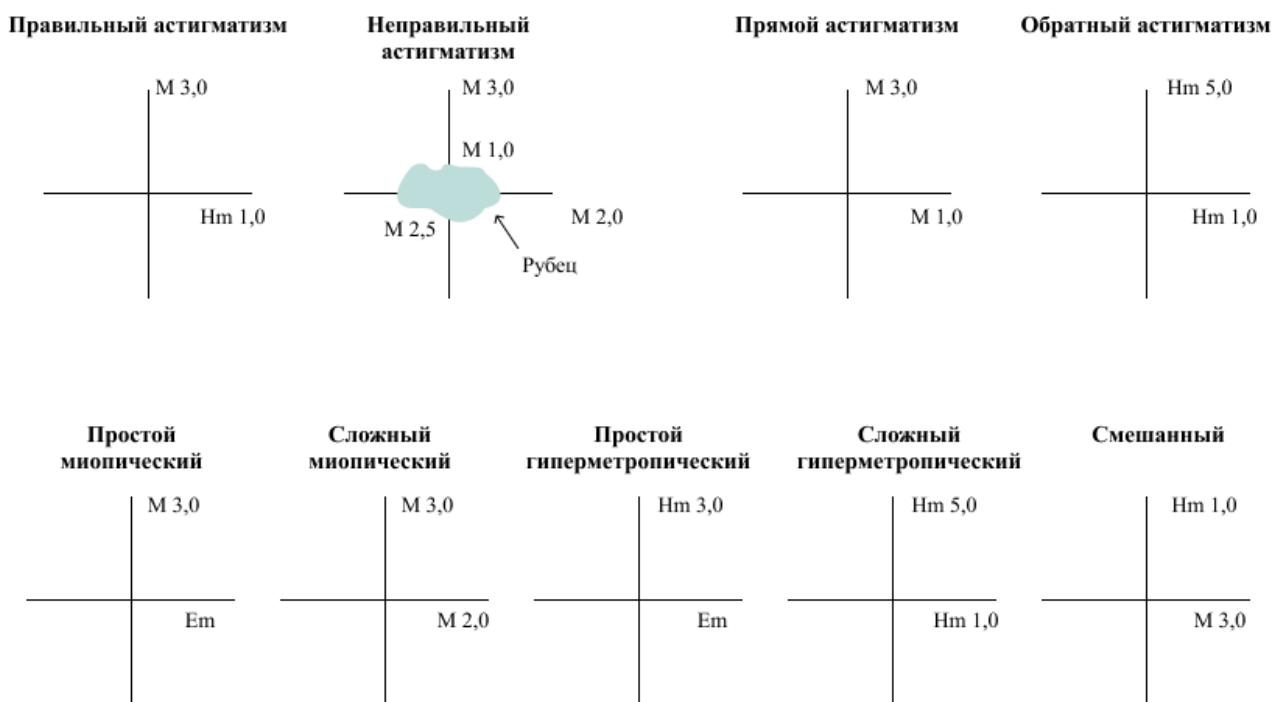


Рисунок 1 – Классификация астигматизма (М – миопия, Hm – гиперметропия, Em – эмметропия)

1.4 Сочетание астигматизма с катарактой

По данным зарубежной литературы 20% глаз, оперированных по поводу катаракты, имеют предоперационный роговичный астигматизм 1,5 дптр и более [21]. При сочетании астигматизма и помутнения хрусталика эффективно проведение либо LRI, либо ФЭ с имплантацией ТИОЛ. Послабляющие разрезы могут корректировать астигматизм до 3 дптр, тогда как ТИОЛ – до 8 дптр [16]. У пациентов с пресбиопией и начальной катарактой может быть выполнена ФЭ с имплантацией мультифокально-торической ИОЛ [35], так как данный тип линзы позволяет достичь хорошего зрения не только вдали, но и вблизи и на средних расстояниях, а также отказаться от очковой коррекции [28]. Но при этом, применение мультифокальных ИОЛ сопровождается такими оптическими побочными эффектами как засветы, гало-эффект, повышенная слепимость. Поэтому важно проводить качественный отбор пациентов без профессиональных (например, водители) или медицинских (глаукома, патология роговицы, сахарный диабет и др.) противопоказаний [14].

Как у ТИОЛ, так и у послабляющих разрезов есть свои преимущества и недостатки. Недостатком ТИОЛ является возможность ее ротации [29, 30]. Поворот ИОЛ более чем 30 градусов нивелирует ее корригирующий эффект и приводит к усилению имеющегося астигматизма. Осложнением LRI может быть вторичная инфекция, которая приводит к развитию кератита, а при формировании зрелого рубца роговицы рефракция может вернуться к исходным значениям. Рефракционный результат после послабляющих разрезов может сильно меняться в первые 10 недель, со стабилизацией от 10 недель до 3 лет после операции. В то время как ТИОЛ демонстрируют наибольший риск ротации в раннем послеоперационном периоде и его отсутствие через 1 неделю [30].

Послеоперационный остаточный астигматизм менее 0,5 дптр чаще достигается при имплантации ТИОЛ, чем при коррекции с помощью послабляющих разрезов [23].

Кроме того, ТИОЛ имеет такие преимущества, как лучшая прогнозируемость и большая длительность эффекта. Средние показатели НКОЗ составляют 0,8 и более в 50% случаев [29]. Люди после факоэмульсификации с имплантацией ТИОЛ с меньшей вероятностью будут использовать очки в послеоперационном периоде, чем люди с LRI [23].

Наличие у пациента исходного прямого роговичного астигматизма более 1,0 дптр и обратного роговичного астигматизма более 0,25 дптр является основанием для рассмотрения возможности имплантации ТИОЛ [24].

Для расчета ИОЛ необходимо точно оценить биометрические параметры глаза, в том числе измерить линейные параметры глаза, такие как переднезадняя ось (ПЗО), глубина передней камеры (ГПК), толщина хрусталика и роговицы, а также горизонтальный диаметр роговицы с помощью оптической биометрии. Кроме того, необходимо измерить преломляющую силу роговицы, используя кератометрию. [31, 32].

У пациентов, нуждающихся в имплантации ТИОЛ, помимо всего, проводят кератотопографию для оценки регулярности астигматизма и исследования задней поверхности роговицы [24].

1.5 Торические интраокулярные линзы

ТИОЛ – это линзы, применяемые для коррекции астигматизма в афакичном глазу. Они градуируются по торическому компоненту, начиная с минимальной доступной силы в 1 дптр. Такие линзы способны корректировать астигматизм роговицы в 0,5–0,6 дптр. Максимально возможная сила ТИОЛ варьирует от 6 до 9 дптр в зависимости от производителя [33]. Такой диапазон обеспечивает коррекцию большинства степеней астигматизма [9].

Установка ТИОЛ целесообразна в том случае, когда прогнозируемый остаточный астигматизм будет меньше прогнозируемого послеоперационного астигматизма роговицы, а пациент получит при этом улучшение остроты зрения [9]. Послеоперационный остаточный астигматизм менее 0,5 дптр является допустимым, но при его больших значениях, как правило, происходит снижение НКОЗ и ухудшение качества жизни пациента [31].

Наличие остаточного астигматизма определяется несколькими причинами, в том числе ротацией ИОЛ и неправильным выбором силы торического компонента ИОЛ. Если был произведен точный расчет необходимой силы цилиндра и была проведена правильная разметка, то возможность возникновения послеоперационных осложнений будет сведена к минимуму [9].

1.6 Астигматизм задней поверхности роговицы

Роговица имеет две преломляющие поверхности: переднюю и заднюю. Так как разница между показателями преломления роговицы и водянистой влаги меньше, чем между роговицей и воздухом, преломляющий эффект задней поверхности роговицы значительно меньше, чем передней. Задняя поверхность является вогнутой с отрицательной преломляющей силой в 5-6 дптр, и, как правило, содержит астигматический компонент со средней величиной равной 0,24 дптр [9, 36].

Влияние астигматизма задней поверхности роговицы на общий астигматизм зависит от расположения осей сильного и слабого меридианов передней поверхности роговой оболочки. Если ось сильного меридиана астигматизма задней поверхности близка к оси сильного меридиана передней поверхности роговицы (прямой астигматизм), то это приведет к частичной компенсации и уменьшению общего астигматизма. Так, например, у пациентов с астигматизмом прямого типа наблюдалось уменьшение магнитуды общего астигматизма на 0,2-0,4 дптр после проведенной ФЭ [8, 12].

Учет измерений только передней поверхности роговицы приводит к избыточной коррекции астигматизма в 1,38 раза в глазах с прямым астигматизмом и недостаточной коррекцией в 0,65 раза для глаз с обратным астигматизмом при выполнении ФЭ с имплантацией ТИОЛ [33, 37], а поскольку кривизна задней поверхности роговицы практически у всех пациентов является более крутой в вертикальном меридиане, то это и приводит к усилению астигматизма обратного типа в 96,1% случаев. [8, 12].

1.7 Расчет интраокулярных линз

Данные, полученные в ходе биометрии глаза (ПЗО, ГПК, горизонтальный диаметр роговицы, толщина хрусталика и центральной зоны роговицы), и преломляющая сила роговицы используются при расчете ИОЛ с помощью различных формул [1, 9].

По данным литературы, на сегодняшний день калькуляторы ВУП и Kane демонстрируют наиболее высокие рефракционные результаты, а также позволяют производить расчет торических ИОЛ [47]. Торический калькулятор Kane рассчитывает общий послеоперационный астигматизм с применением адаптивного обучения нейросети [11]. Формула Барретта (Barrett toric calculator, ВТС) позволяет учитывать в расчете либо предварительно измеренный астигматизм задней поверхности роговицы, либо произвести автоматический расчет задней поверхности на основе заложенных в формулу номограмм [34]. ВТС является одним из наиболее точных калькуляторов для расчета послеоперационного астигматизма, а Kane formula несколько уступает ему, хотя большинство исследований показывают отсутствие статистически значимой разницы между ними [11, 35].

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы исследования

Данное исследование проведено на базе офтальмологического центра Санкт-Петербургского городского бюджетного учреждения здравоохранения «Городская многопрофильная больница №2».

Для оценки биометрических изменений после имплантации ИОЛ было обследовано 366 пациентов (427 глаз). Средний возраст составил $75,37 \pm 8,43$ лет, среди них 138 мужчины (32,3%) и 289 женщины (67,7%).

Критерии включения: возраст старше 18 лет, наличие возрастной катаракты в сочетании с роговичным астигматизмом различной степени, готовность пациента соблюдать протокол исследования.

Критерии исключения: отсутствие фиксации взора вследствие низкой остроты зрения, изменения переднего отрезка (предшествующие рефракционные операции, помутнения роговицы), витреальные вмешательства в анамнезе, интраоперационные (разрыв задней капсулы хрусталика, выпадение стекловидного тела, потребовавшее витрэктомии), а также послеоперационные (увеит, суб-/люксия ИОЛ) осложнения, наличие острого соматического заболевания и обострения хронического заболевания, невозможность выполнения бесконтактной биометрии.

Пациенты были разделены на 9 подгрупп в соответствии с расположением оси крутого меридиана роговицы. В таблице 1 приведены сведения о количестве пациентов, их распределении по возрасту и полу.

Таблица 1 – Сводные данные о пациентах исследуемых групп

№ группы	Ось крутого меридиана, град	n	Мужчины	Женщины	Возраст, лет
1	0-20	61	21	40	78,8±5,8
2	21-40	31	11	20	75,8±8,3
3	41-60	20	9	11	75,1±6,0
4	61-80	49	13	36	72,2±9,9
5	81-100	100	25	75	73,5±8,6
6	101-120	52	20	32	72,9±10,6
7	121-140	18	9	9	77,3±5,1
8	141-160	25	9	16	76,5±8,6
9	161-180	71	21	50	78,0±6,6

2.2. Методы исследования

Всем пациентам до операции, а также через 30 дней после вмешательства выполнялись стандартное офтальмологическое обследование, кератотопография (Tomey TMS-4, Япония), а также измерение длины ПЗО, ГПК, силы крутого и плоского меридианов роговицы, а также расположение их осей (IOL-Master 500, Carl Zeiss, Германия), с последующим сравнением до- и послеоперационных результатов.

Для проведения расчетов остаточного послеоперационного астигматизма было применено два калькулятора: Kane formula и Barrett toric calculator, при этом в данном анализе не учитывался астигматизм задней поверхности роговицы.

Ось основного разреза закладывалась по меридиану 150°, хирургически индуцированный астигматизм принимался равным 0,2 дптр, выбирался максимальный торический компонент ИОЛ с учетом сохранения сильной оси послеоперационного астигматизма, без ее ротации на 90°.

Через месяц после выполненной ФЭ производилась объективная рефрактометрия на аппарате Topcon-8800 (Япония). При оценке остаточного

астигматизма использовалось его значение по модулю. В качестве критерия точности расчета сферэквивалента ИОЛ, а также правильности оптимизации А-константы использовавшейся модели ИОЛ бралась средняя ошибка ее расчета (разница между полученным через месяц после ФЭ сферэквивалентом рефракции и ее расчетной величиной).

2.3 Статистическая обработка

Была создана база данных в программе Microsoft Excel с пред- и послеоперационными биометрическими и морфофункциональными данными пациентов. Статистическая обработка производилась в программе Jamovi (The jamovi project (2022). jamovi (Version 2.3) [Computer Software]). Данные представлены в виде среднего значения (M) и его стандартного отклонения (SD). Критерий Шапиро-Уилка использовался для определения нормальности распределения выборок. Парный критерий Стьюдента применялся для оценки расчетного цилиндра для калькуляторов Kane и ВТС. Непараметрический критерий U Манна-Уитни применялся для средних значений роговичного астигматизма на правом и левом глазу. Непараметрический критерий Краскела-Уоллиса и метод попарного сравнения Двасс-Стил-Кричлоу-Флигнер применялись для сравнения средних значений остаточного астигматизма в группах. При анализе линейной регрессии использовался скорректированный коэффициент детерминации R^2 . Различия при $p < 0,05$ расценивались как статистически значимые.

Для оценки магнитуды центроида и его оси применялся калькулятор ASCRS2 astigmatism double angle plot tool v. 132

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общие данные об исследуемой группе

В таблице 2 представлены данные о возрасте, половой принадлежности, данные о роговичном астигматизме и биометрические параметры исследуемых пациентов.

Таблица 2 – Возраст, половая принадлежность и биометрические параметры исследуемых пациентов

Параметр	Значение	Проценты, %
Количество пациентов, n	366	–
Количество глаз, n	427	–
Женщины, n	289	67,7
Мужчины, n	138	32,2
Возраст, лет	75,4±8,4	–
Левый глаз, n	215	50,4
Правый глаз, n	212	49,6
Прямой астигматизм, n	204	47,8
Обратный астигматизм, n	169	39,6
Косой астигматизм, n	54	12,6
Сила плоского меридиана роговицы, дптр	43,8±1,4	–
Сила крутого меридиана роговицы, дптр	44,6±1,5	–
Переднезадняя ось, мм	23,6±1,2	–
Глубина передней камеры, мм	2,96±0,39	–

На рисунке 2 представлено процентное соотношение мужчин и женщин среди исследуемой группы.



Рисунок 2 – Половой состав пациентов исследуемой группы

На рисунке 3 отображено количественное соотношение правых и левых глаз, на которых была проведена операция. В таблице 3 показано распределение роговичного астигматизма для правых и левых глаз, а на рисунке 4 представлены те же данные в виде диаграммы.

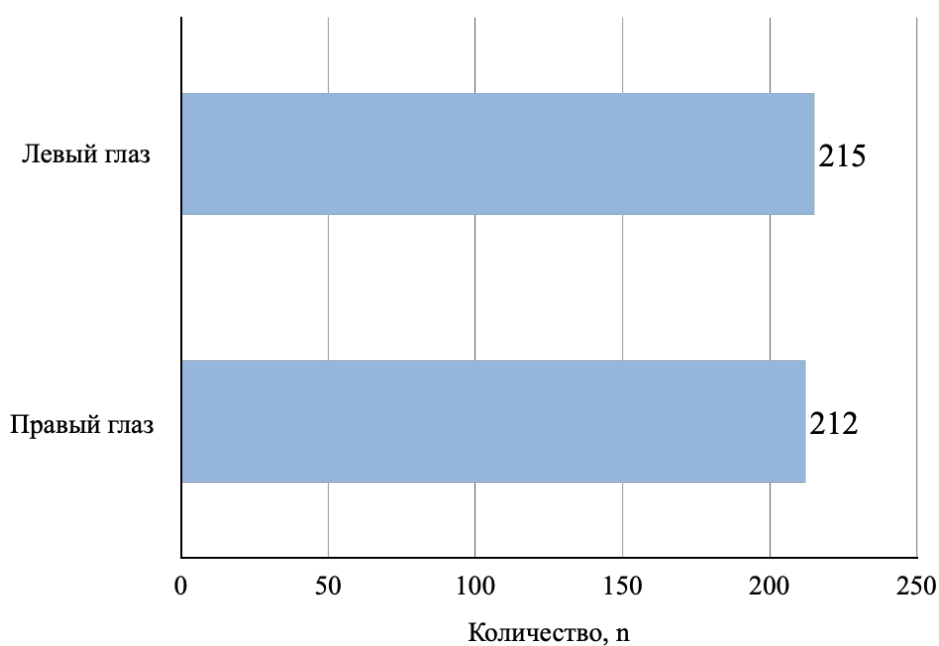


Рисунок 3 – Количественное соотношение правых и левых глаз в исследуемой группе

Таблица 3 – Распределение роговичного астигматизма для правого и левого глаза

Роговичный астигматизм, дптр	Глаз	Количество, n	Проценты, %
<0,50	Правый	71	16,6
	Левый	66	15,5
0,51-1,00	Правый	90	21,1
	Левый	93	21,8
1,01-1,50	Правый	38	8,9
	Левый	37	8,7
1,51-2,00	Правый	7	1,6
	Левый	11	2,6
2,01-2,50	Правый	2	0,5
	Левый	4	0,9
2,51-3,00	Правый	1	0,2
	Левый	2	0,5
3,01-3,50	Правый	0	0,0
	Левый	1	0,2
3,51-4,00	Правый	1	0,2
	Левый	1	0,2
>4,00	Правый	2	0,5
	Левый	0	0,0

В исследовании принимало участие почти равное количество левых и правых глаз (215 и 212 соответственно). При этом на правом глазу чаще встречается астигматизм менее 0,5 дптр, в то время как левый глаз оперируется чаще при значениях 1,51 дптр и более (рисунок 4).

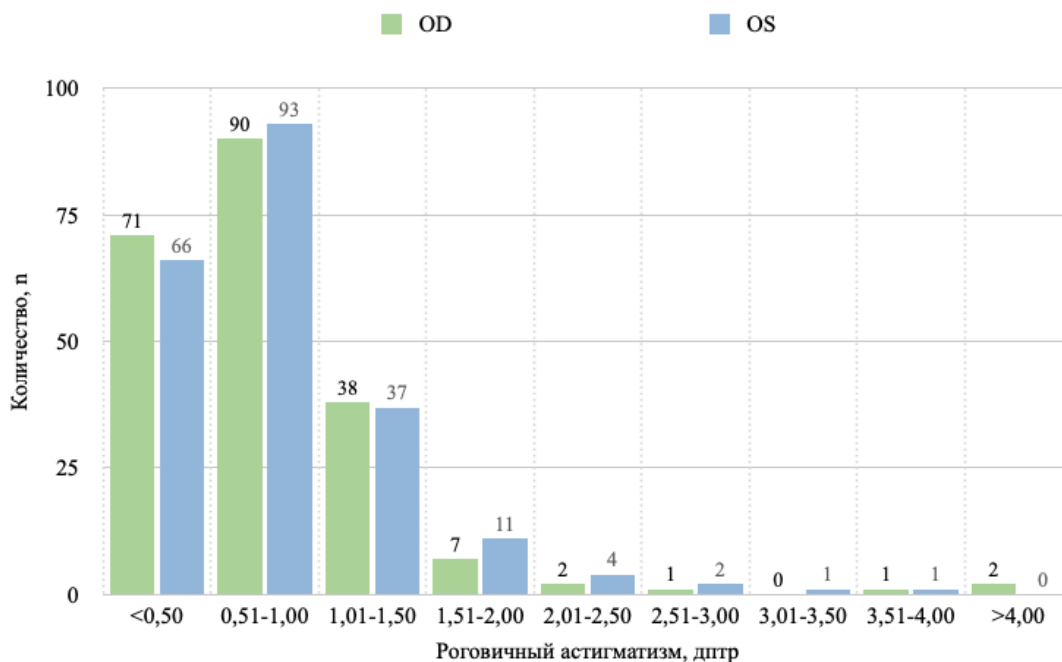


Рисунок 4 – Распределение роговичного астигматизма для правых и левых глаз

В среднем преломляющая сила плоского роговицы составила $43,81 \pm 1,44$ дптр, а крутого – $44,60 \pm 1,51$ дптр. На рисунке 5 представлено распределение значений силы плоского и сильного меридианов роговицы.

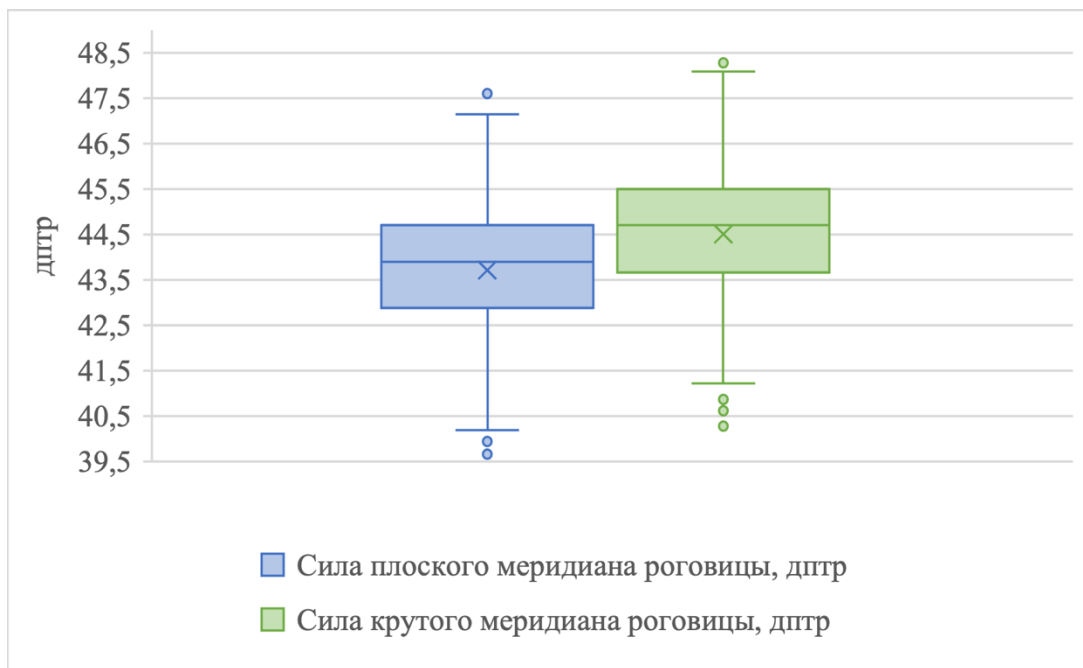


Рисунок 5 – Распределение силы плоского и крутого меридианов роговицы

На рисунке 6 показаны варианты значений переднезадней оси глаза исследуемой группы, их медиана, а также максимальное и минимальное значения.

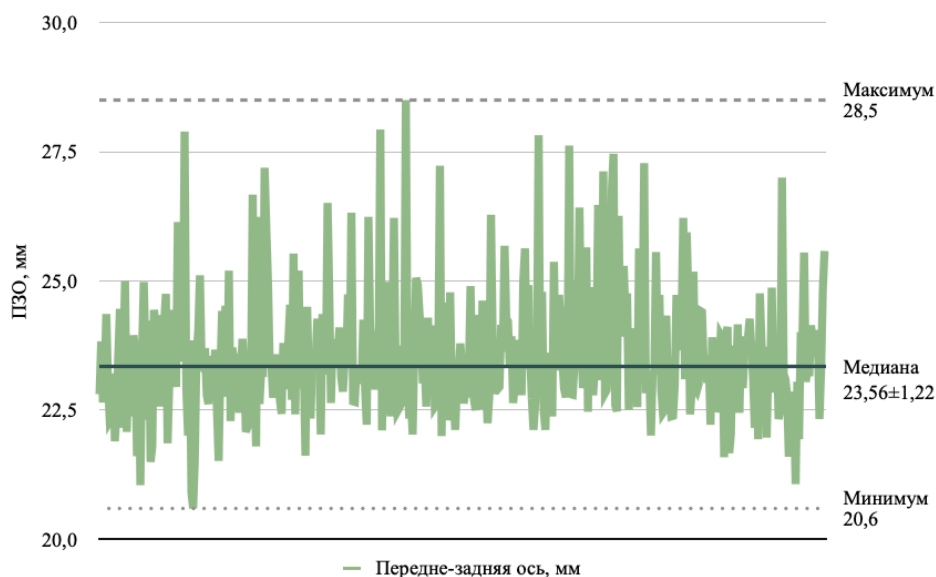


Рисунок 6 – Распределение значений ПЗО глаза в исследуемой группе

На рисунке 7 представлено распределение глубины передней камеры глаза у пациентов, максимальные и минимальные значения, а также их медиана.

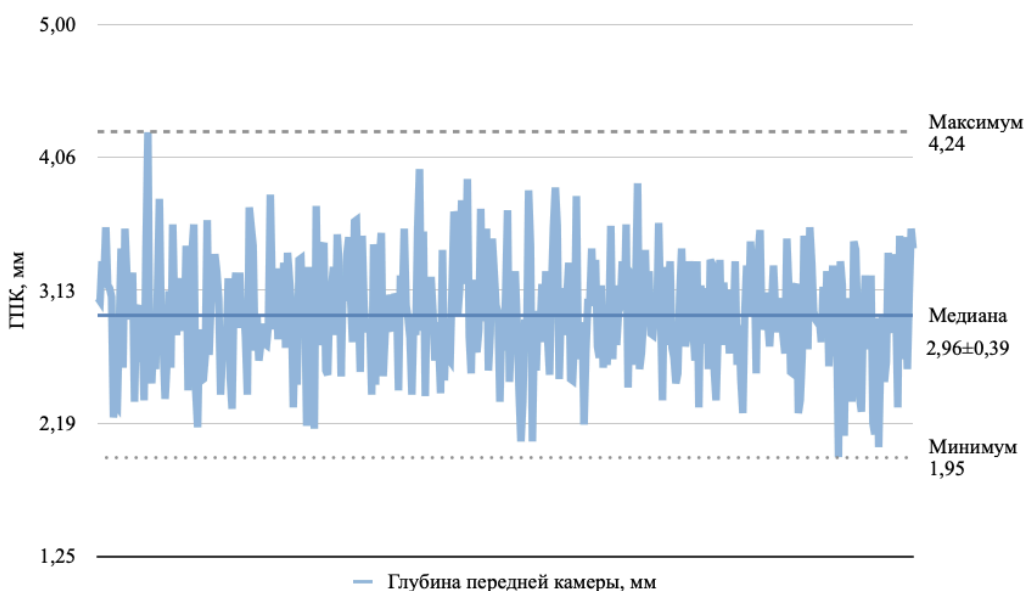


Рисунок 7 – Распределение глубины передней камеры глаза в исследуемой группе.

3.2 Распределение прямого, обратного и косого типов астигматизма в исследуемой группе

Тип астигматизма напрямую влияет на рефракционные результаты ФЭ [8,12], поэтому процентное соотношение прямого, обратного и косого типов астигматизма у пациентов, отображенное на рисунке 8, представляет особый интерес для исследования.

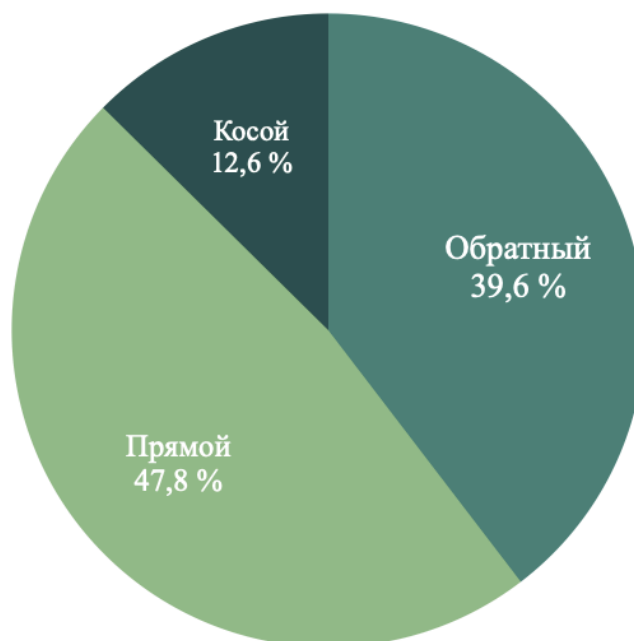


Рисунок 8 – Процентное соотношение прямого, обратного и косого типов астигматизма в исследуемой группе

Из 427 глаз (366 пациентов) наиболее часто встречался прямой астигматизм 47,8% (n=204), обратный наблюдался у 39,6% (n=169) пациентов, все остальные случаи приходились на астигматизм с косыми осями – 12,6% (n=54), что несколько разнится с другими литературными данными. Так, например, в исследовании, проведенном среди 140 000 пациентов, почти в половине случаев встречался обратный астигматизм (49%), доля прямого же составила 33-34 [39].

Средний возраст пациентов в нашем исследовании с обратным роговичным астигматизмом составил $77,9 \pm 6,8$ лет, с прямым – $73,0 \pm 9,3$, с косыми осями – $76,4 \pm 6,9$. Рисунок 9 описывает диапазон возраста в группах пациентов с прямым, обратным и косым типами астигматизма.

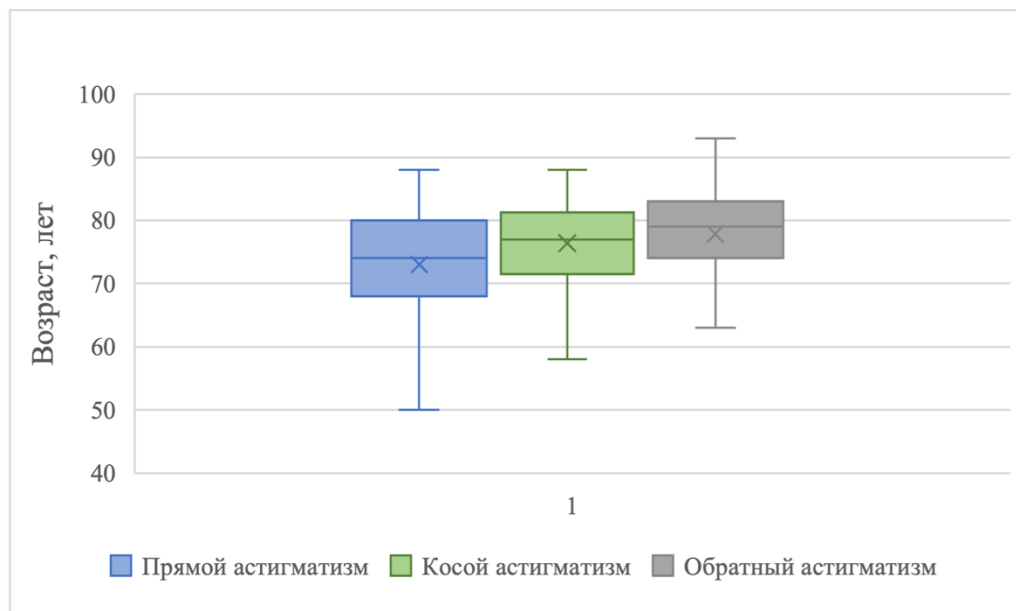


Рисунок 9 – Диапазон возраста у пациентов с разным типом астигматизма

При анализе зависимости типа астигматизма от возраста было выявлено, что средний возраст в группе исследуемых с обратным астигматизмом выше ($77,9 \pm 6,8$ лет), чем у групп с прямым ($73,0 \pm 9,3$ лет) и косым ($76,4 \pm 6,9$ лет) астигматизмом. Считается, что астигматизм передней поверхности после 65 лет меняется с прямого на обратный, в то время как астигматизм задней поверхности остается стабильным [4, 34]. Li H.E. et al. (2021) показали, что по мере увеличения возраста меняется соотношение обратного и прямого астигматизма, при этом процент косого астигматизма остается почти неизменным. Так, доля прямого астигматизма с возрастом уменьшалась с 77% до 12%, а доля обратного, наоборот, увеличивалась до 68% [39].

3.3 Роговичный астигматизм

На рисунке 10 представлено распределение роговичного астигматизма у пациентов, включенных в исследование.

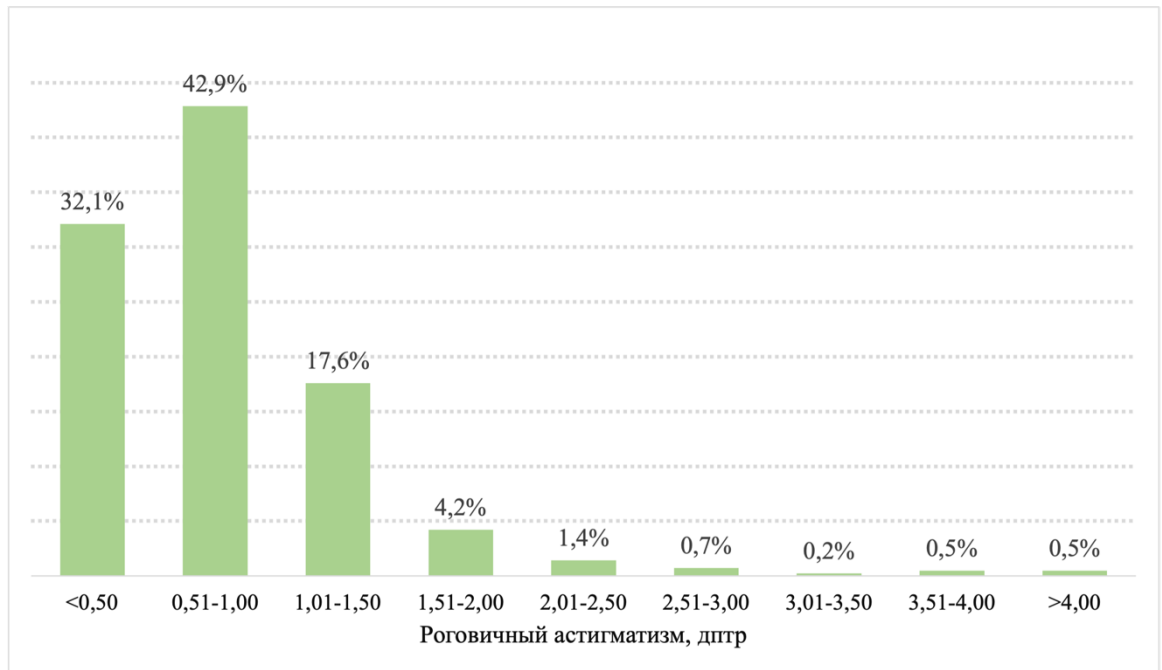


Рисунок 10 – Распределение роговичного астигматизма у пациентов исследуемой группы

Среди группы пациентов, включенных в исследование, роговичный астигматизм менее 0,5 дптр наблюдался всего у 32,1%, наиболее часто астигматизм принимал значения от 0,51 до 1 дптр – почти у половины исследуемых (42,9%). Астигматизм более 1,0 дптр встречался у каждого четвертого (25,1%). Данные, полученные нами, соответствуют другим исследованиям [4]. Исследование, проведенное Копаевым С.Ю. и соавторами в 2021 году, показало, что роговичный астигматизм, превышающий 1,0 дптр, был обнаружен у 25% исследуемых пациентов, в то время как более половины испытуемых имели астигматизм менее 0,74 дптр [4].

3.4 Торический компонент при расчете калькуляторами Kane и ВТС

В таблице 4 отображено суммарное количество расчетного торического компонента по формулам Kane и Barrett toric calculator.

Таблица 4 – Расчетный торический компонент по формулам Kane и ВТС

Торический компонент	Kane, n (%)	Barrett, n (%)
T0	240 (56,2)	199 (46,6)
T2	113 (26,5)	111 (26,0)
T3	53 (12,4)	81 (19,0)
T4	11 (2,6)	22 (5,2)
T5	5 (1,2)	6 (1,4)
T6	4 (0,9)	5 (1,2)
T7	1 (0,2)	2 (0,5)
T8	0	0
T9	0	1 (0,2)
Всего	427 (100,0)	

Таблица 5 – Сравнение средних значений силы цилиндра, рассчитанного по формулам Kane и ВТС

Формула	Цилиндрический компонент линзы M±SD, дптр	<i>p</i>
Kane	0,59±0,78	<i>p</i> <0,001
ВТС	0,72±0,90	

В таблице 5 и указаны средние значения цилиндрического компонента двух формул. Средние значения расчетного цилиндра были значимо больше для формулы ВТС (0,72±0,90 дптр) по сравнению с Kane (0,59±0,78 дптр). На рисунке 11 наглядно отображена разница между значениями цилиндрического компонента Kane и ВТС.

В таблице 6 представлен расчетный торический компонент по формулам ВТС и Kane в зависимости от силы роговичного астигматизма, а в таблице 7 – от исходного расположения оси сильного меридиана роговицы.

Таблица 6 – Расчетный торический компонент по формулам Barrett toric calculator(B) и Kane (K)в зависимости от силы роговичного астигматизма

Торический компонент BTC (B) и Kane (K), n, (%)	Роговичный астигматизм, дптр																	
	<0,50		0,51-1,00		1,01-1,50		1,51-2,00		2,01-2,50		2,51-3,00		3,01-3,50		3,51-4,00		>4,00	
	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)
T0	132 (30,9)	102 (23,9)	104 (24,2)	90 (21,1)	4 (0,9)	7 (1,6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	5 (1,2)	35 (8,2)	72 (16,9)	50 (11,7)	35 (8,2)	26 (6,1)	1 (0,2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	7 (1,6)	43 (10,1)	36 (8,4)	32 (7,5)	8 (1,9)	4 (0,9)	2 (0,5)	2 (0,5)	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	10 (2,3)	9 (2,1)	12 (2,8)	2 (0,5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0	0	2 (0,5)	2 (0,5)	2 (0,5)	3 (0,7)	2 (0,5)	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (0,5)	0	1 (0,2)	1 (0,2)	0	2 (0,5)	2 (0,5)	1 (0,2)	0
T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0,2)	0	0	1 (0,2)	1 (0,2)
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0,2)
Всего:	137 (32,1)		183 (42,9)		75 (17,6)		18 (4,2)		6 (1,4)		3 (0,7)		1 (0,2)		2 (0,5)		2 (0,5)	

Таблица 7 – Расчетный торический компонент по формулам Kane (K) и Barrett toric calculator(B) и в зависимости от расположения оси сильного меридиана роговицы

Торический компонент ВТС (B) и Kane (K), n, (%)	Ось крутого меридиана, град																	
	Группа 1 (0-20)		Группа 2 (21-40)		Группа 3 (41-60)		Группа 4 (61-80)		Группа 5 (81-100)		Группа 6 (101-120)		Группа 7 (121-140)		Группа 8 (141-160)		Группа 9 (161-180)	
	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)	K, n (%)	B, n (%)
T0	16 (3,7)	6 (1,4)	10 (2,3)	5 (1,2)	14 (3,3)	10 (2,3)	28 (6,6)	28 (6,6)	74 (17,3)	75 (17,6)	44 (10,3)	43 (10,1)	18 (4,2)	18 (4,2)	15 (3,5)	9 (2,1)	21 (4,9)	5 (1,2)
T2	25 (5,9)	21 (4,9)	14 (3,3)	13 (3,0)	4 (0,9)	7 (1,6)	16 (3,7)	15 (3,5)	18 (4,2)	17 (4,0)	6 (1,4)	6 (1,4)	0	0	9 (2,1)	9 (2,1)	21 (4,9)	23 (5,4)
T3	16 (3,7)	26 (6,1)	6 (1,4)	11 (2,6)	1 (0,2)	2 (0,5)	5 (1,2)	4 (0,9)	4 (0,9)	4 (0,9)	0	1 (0,2)	0	0	1 (0,2)	6 (1,4)	20 (4,7)	27 (6,3)
T4	2 (0,5)	5 (1,2)	0	1 (0,2)	1 (0,2)	0	0	2 (0,5)	1 (0,2)	1 (0,2)	0	0	0	0	0	1 (0,2)	7 (1,6)	12 (2,8)
T5	2 (0,5)	1 (0,2)	0	0	0	1 (0,2)	0	0	1 (0,2)	1 (0,2)	1 (0,2)	1 (0,2)	0	0	0	0	1 (0,2)	2 (0,5)
T6	0	2 (0,5)	0	0	0	0	0	0	2 (0,5)	2 (0,5)	1 (0,2)	0	0	0	0	0	1 (0,2)	1 (0,2)
T7	0	0	1 (0,2)	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0,2)	0	0	0	0	0 (0,2)	1 (0,2)
T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T9	0	0	0	1 (0,2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего:	61 (14,3)		31 (7,3)		20 (4,7)		49 (11,5)		100 (23,4)		52 (12,2)		18 (4,2)		25 (5,9)		71 (16,6)	

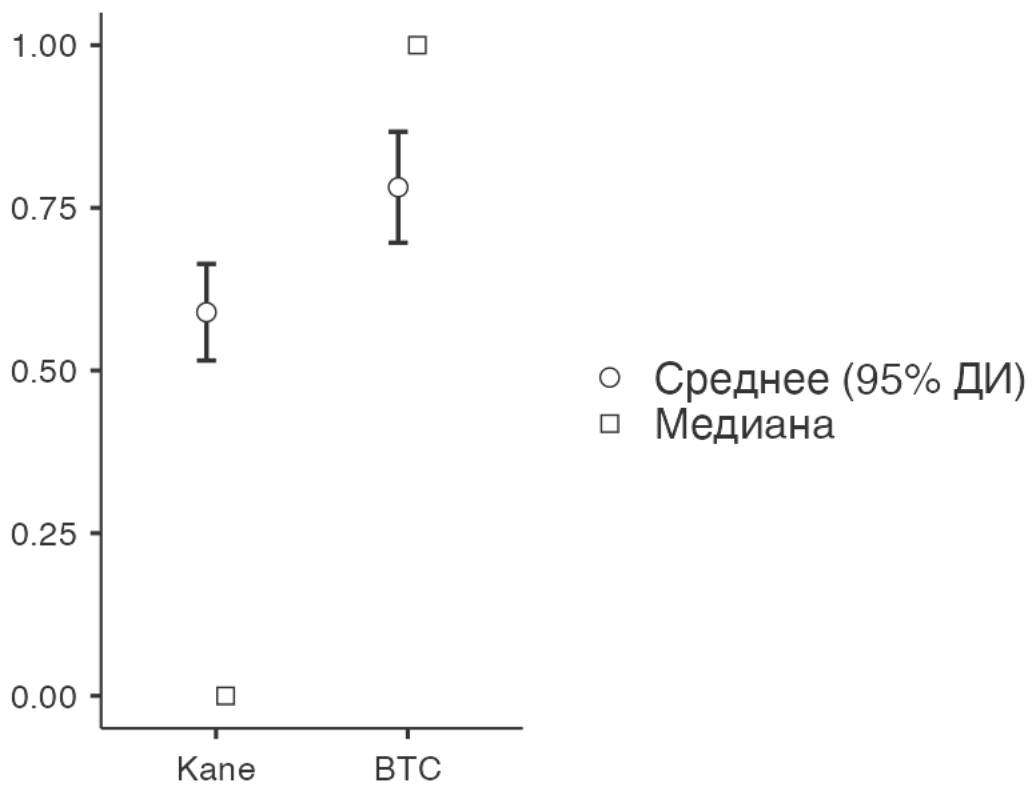


Рисунок 11 – Сравнение средних значений цилиндрического компонента калькуляторов Kane и BTC

На Рисунке 12 представлено соотношение частоты встречаемости монофокальных ИОЛ (Т0) и торических ИОЛ (Т2-Т9), рекомендуемых калькуляторами Kane (А) и Barrett toric calculator (Б). Распределение торического компонента, рекомендуемого формулой Kane показано на Рисунке 13, а Barrett toric calculator – на Рисунке 14.

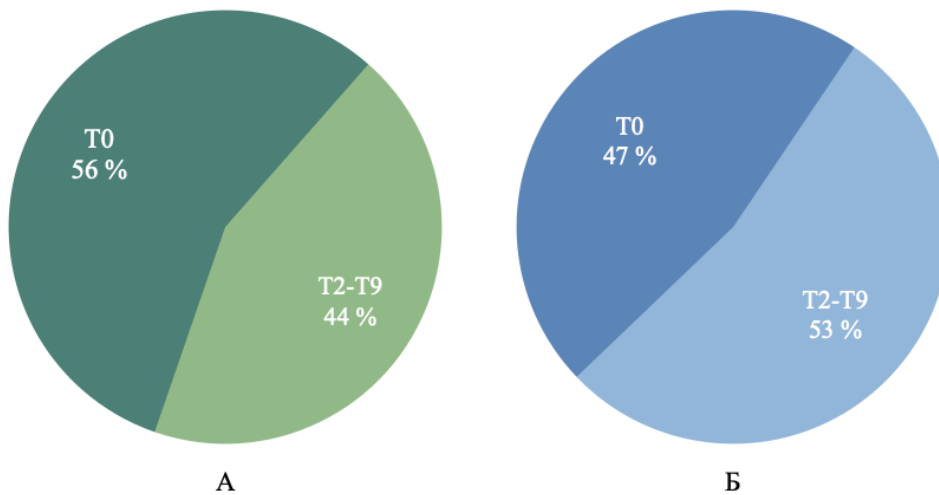


Рисунок 12 – Частота рекомендаций по имплантации монофокальных (T0) и торических ИОЛ (T2-9) калькуляторами Kane (А) и VTC (Б)

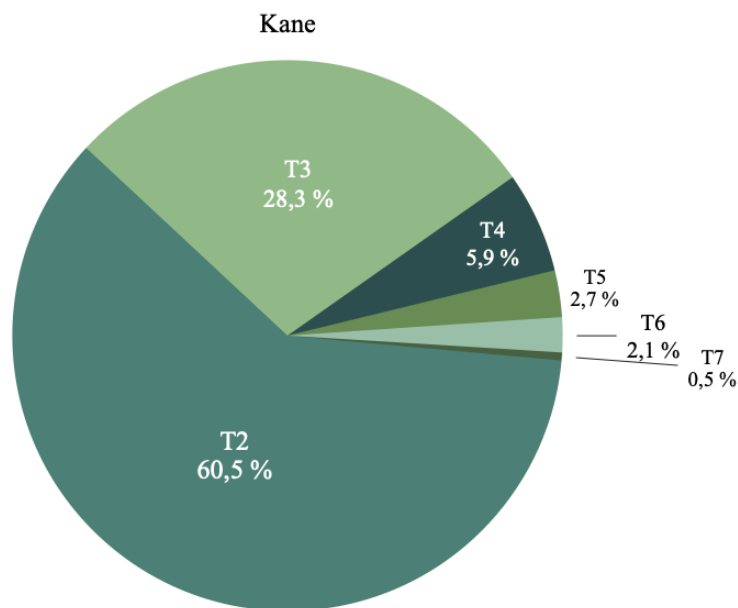


Рисунок 13 – Частота рекомендаций по имплантации торических ИОЛ (T2-9) калькулятором Kane

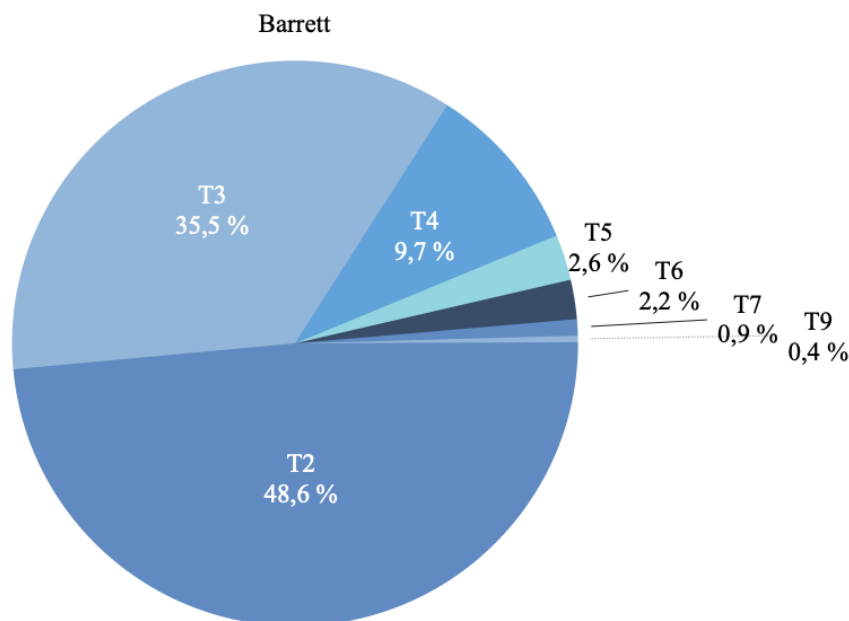


Рисунок 14 – Частота рекомендаций по имплантации торических ИОЛ (T2-9) калькулятором Barrett Universal II Formula

Анализ частоты рекомендаций торического компонента калькуляторами Kane и Barrett toric calculator (таблица 6) показал, что ВТС рекомендует имплантировать торическую ИОЛ на почти на 10% чаще, чем формула Kane. Неторическая ИОЛ предлагалась для имплантации в 240 (56,2%) и 199 (46,6%) по Kane и ВТС соответственно. Увеличение торичности при работе с калькулятором ВТС возможно из-за того, что в формуле может учитываться астигматизм задней поверхности роговицы, что приводит к более точным результатам. Во многих работах отмечается, что разница между калькуляторами Kane и ВТС статистически не значима, тем не менее, при учете реальных параметров задней поверхности, ВТС демонстрирует более высокую точность расчетов. [11, 35].

В таблице 7 наглядно видно, как с увеличением роговичного астигматизма увеличивается торический компонент ИОЛ, что являлось закономерным как для калькулятора Kane, так и ВТС. Так, например, при астигматизме менее 0,5 в подавляющем большинстве случаев калькуляторы подбирали неторические ИОЛ. Начиная с величины астигматизма более 1,51

дптр неторические линзы не рекомендуются формулами вообще. Разница между двумя калькуляторами видна при сравнении частоты имплантации Т2 у пациентов с астигматизмом меньше 0,5 дптр: ВТС рекомендовал Т2 в 7 раз чаще, чем Kane (35 и 5 соответственно), что обусловлено наличием у данных пациентов обратного роговичного астигматизма.

При оценке частоты рекомендаций торического компонента формулами в зависимости от расположения оси сильного меридиана роговицы было выявлено, что пациентам с прямым роговичным астигматизмом чаще рекомендовались неторические линзы (таблица 7). Например, в группе 5 (ось 81-100) неторические линзы рекомендовались к имплантации в 74 случаях (17,3%) по Kane и в 75 случаях (17,6%) по ВТС. С другой стороны, в группах 1 (ось 0-20°) и 9 (ось 161-180°), которые соответствуют обратному астигматизму, неторические линзы предлагались только в 16 случаях (3,7%) по Kane и в 6 случаях (1,4%) по ВТС в группе 1, аналогично в 21 (4,9%) и 5 (1,2%) в группе 9. Такой феномен возникает из-за влияния астигматизма задней поверхности роговицы, который в большинстве случаев является прямым – 82,4% [45], что приводит к уменьшению общего астигматизма при прямом и усилению его при обратном роговичном астигматизме.

3.5 Влияние остаточного астигматизма на НКОЗ

Учитывая негативное влияние остаточного астигматизма на НКОЗ, был проведен анализ влияния данного параметра на остроту зрения без коррекции, результаты представлены на рисунке 15.

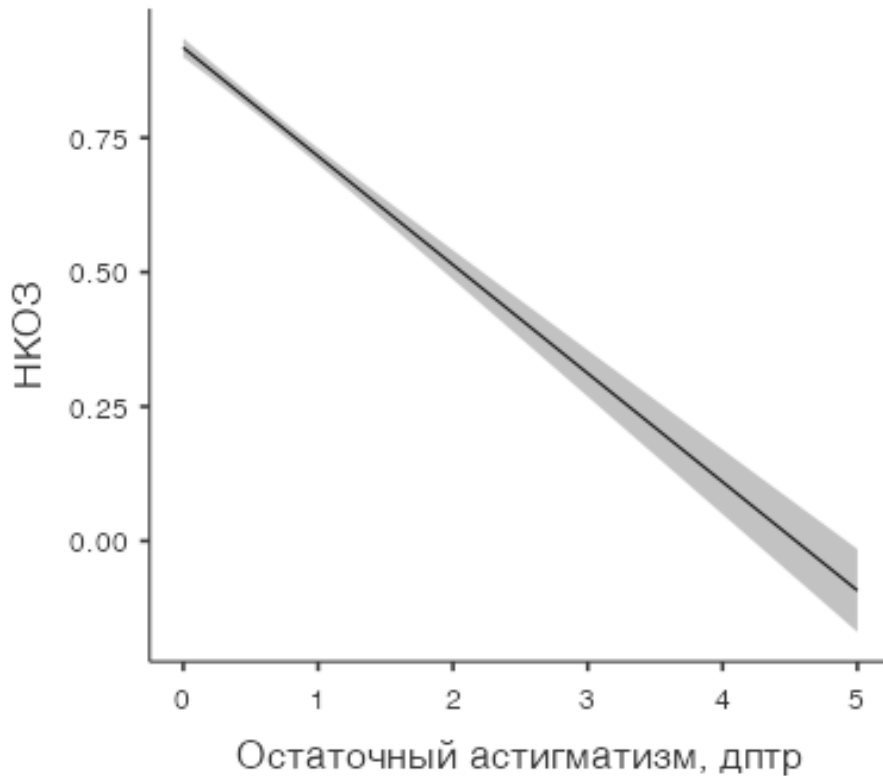


Рисунок 15 – Зависимость некорригированной остроты зрения от остаточного астигматизма ($R^2=0,354$, $p<0,001$)

В ходе регрессионного анализа зависимости НКОЗ от остаточного астигматизма (рисунок 15) была выявлена ожидаемая закономерность: чем больше остаточный астигматизм, тем ниже значения некорригированной остроты зрения, а это, в свою очередь, является причиной снижения качества жизни пациентов [38].

В таблице 8 указаны средние значения остаточного астигматизма у групп пациентов в зависимости от оси крутого меридиана.

Таблица 8 – Зависимость остаточного астигматизма от исходного положения оси сильного меридиана роговицы.

Положение меридиана сильной оси (град)	Остаточный астигматизм, дптр M±SD	<i>p</i>
Группа 1 (0-20)	0,80±0,78	<i><0,001</i>
Группа 2 (21-40)	0,93±1,03	
Группа 3 (41-60)	0,85±0,83	
Группа 4 (61-80)	0,44±0,56	
Группа 5 (81-100)	0,36±0,58	
Группа 6 (101-120)	0,48±0,77	
Группа 7 (121-140)	0,49±0,55	
Группа 8 (141-160)	0,86±0,82	
Группа 9 (161-180)	1,09±0,86	

На Рисунке 16 представлена зависимость остаточного астигматизма от исходного положения оси сильного меридиана роговицы.

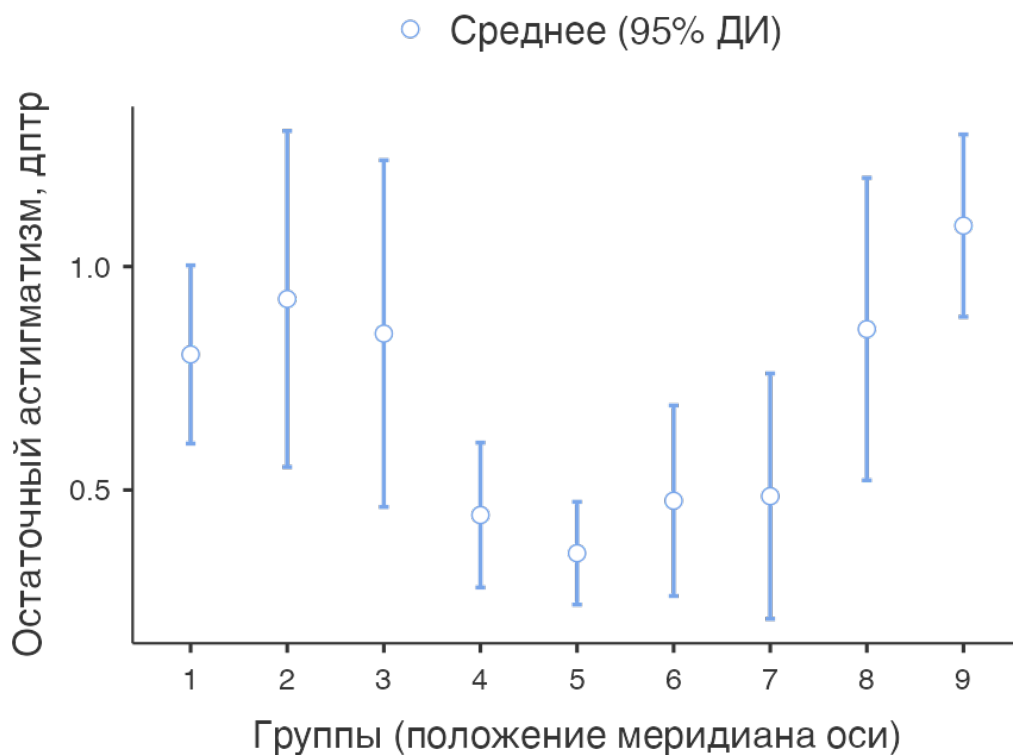


Рисунок 16 – Зависимость остаточного астигматизма от исходного положения оси сильного меридиана роговицы в группах пациентов

Результаты однофакторного дисперсионного анализа и попарного сравнения Двасс-Стил-Кричлоу-Флигнер остаточного астигматизма среди групп пациентов, разделенных по оси сильного меридиана, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Попарные сравнения Двасс-Стил-Кричлоу-Флигнер

Сравниваемые группы		W	<i>p</i> , «*» отмечены значения <0,05
1	2	0,2894	1,000
1	3	0,0401	1,000
1	4	-3,4730	0,254
1	5	-5,4431	0,004*
1	6	-3,5966	0,211
1	7	-2,0566	0,876
1	8	0,4749	1,000
1	9	2,6659	0,624
2	3	-0,2936	1,000
2	4	-3,6079	0,208
2	5	-5,2252	0,007*
2	6	-3,7309	0,171
2	7	-2,2768	0,800
2	8	0,2513	1,000
2	9	2,0341	0,883
3	4	-2,9854	0,466
3	5	-4,1800	0,076
3	6	-3,0115	0,453
3	7	-1,7726	0,944
3	8	0,3499	1,000
3	9	2,0391	0,882
4	5	-1,6614	0,962
4	6	-0,5777	1,000
4	7	0,5851	1,000
4	8	2,9877	0,465
4	9	6,2597	< 0,001*
5	6	0,9013	0,999
5	7	1,7280	0,952
5	8	4,3519	0,054*
5	9	8,6996	< 0,001*
6	7	0,9048	0,999
6	8	3,1300	0,397
6	9	6,1664	< 0,001*
7	8	2,1537	0,845
7	9	4,0442	0,099
8	9	1,3517	0,990

В ходе анализа зависимости остаточного астигматизма от исходного положения оси сильного меридиана роговицы (таблица 8) была выявлена статистически значимая разница между группами 1, 2, 8 и 9 (обратный астигматизм) и группам 4, 5, 6 (прямой астигматизм). Наиболее значимые различия обнаруживались в группах 1 и 5, 2 и 5, 4 и 9, 5 и 9, 6 и 9 (таблица 9). В группах с прямым астигматизмом значения послеоперационного астигматизма, в целом, были меньше, чем значения в группах с обратным. Разница между показателями в среднем составляла 0,3-0,4 дптр, что соотносится со средней величиной астигматизма задней поверхности – 0,24 дптр [36].

3.6 Векторный анализ роговичного астигматизма

В ходе работы был проведен векторный анализ роговичного астигматизма для оценки хирургически индуцированного астигматизма с помощью калькулятора ASCRS2 astigmatism double angle plot tool v. 132. Данные представлены для всего множества пациентов на рисунке 16. Кроме этого, центроид был рассчитан для прямого роговичного астигматизма (рисунок 17), обратного (рисунок 18) и астигматизма с косыми осями (рисунок 19).

Таблица 10 – Изменение центроида и его оси до и после операции во всей группе и в зависимости от типа астигматизма

Исследуемая группа		Параметр	До операции	30 дней
		Центроид, дптр	0,03±0,98	0,39±1,03
		Ось центроида, град	89	8
Тип астигматизма	Прямой	Центроид, дптр	0,68±0,72	0,15±0,84
		Ось центроида, град	90	70
	Обратный	Центроид, дптр	0,73±0,64	0,99±0,88
		Ось центроида, град	179	2
	С косыми осями	Центроид, дптр	0,16±0,93	0,37±1,08
		Ось центроида, град	41	22

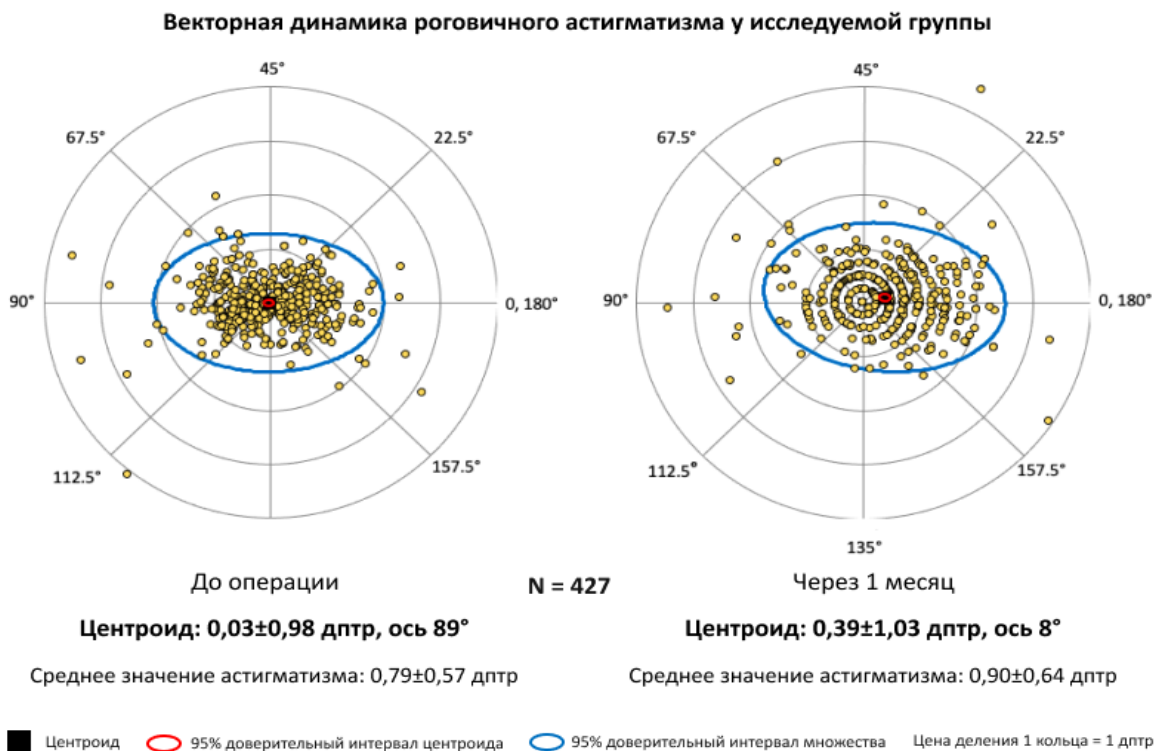


Рисунок 17 – Векторный анализ роговичного астигматизма для пациентов исследуемой группы

При анализе хирургически индуцированного астигматизма выявлены следующие особенности: через 1 месяц после операции обнаруживалось увеличение магнитуды центроида (с $0,03 \pm 0,98$ до $0,39 \pm 1,03$ дптр) с изменением его оси с 89° до 8° .

Для более точной оценки был проведен векторный анализ для групп пациентов с прямым астигматизмом, обратным и астигматизмом с косыми осями (рисунок 19).

Векторная динамика прямого роговичного астигматизма

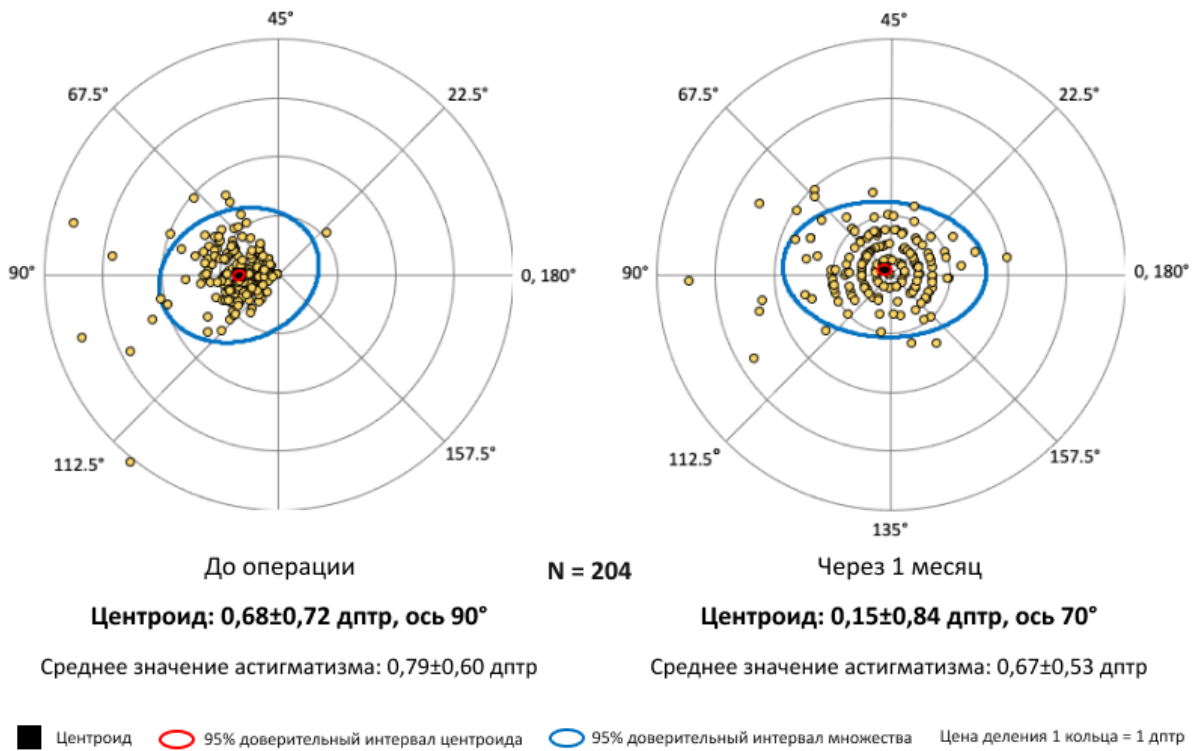


Рисунок 18 – Векторная динамика прямого роговичного астигматизма

В группе с прямым астигматизмом (рисунок 18) спустя 30 дней наблюдалось значительное уменьшение магнитуды центроида (с $0,68 \pm 0,72$ до $0,15 \pm 0,84$ дптр). Ось при этом сместилась с 90° до 70° , но, в целом, соответствовала прямому астигматизму. Среднее значение астигматизма в группе уменьшилось с $0,79 \pm 0,60$ до $0,67 \pm 0,53$ дптр.

Векторная динамика обратного роговичного астигматизма

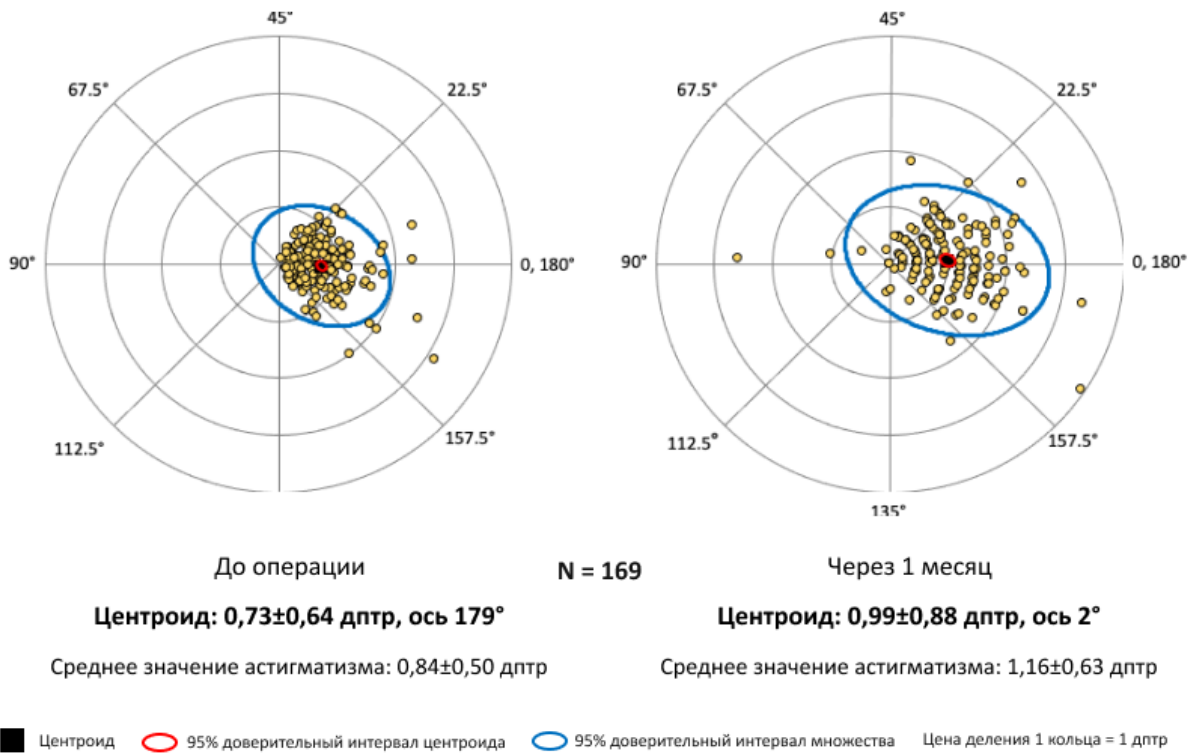


Рисунок 19 – Векторная динамика обратного роговичного астигматизма

При векторном анализе группы с обратным астигматизмом (рисунок 19) обнаружилось увеличение магнитуды центроида (с $0,84 \pm 0,50$ до $0,99 \pm 0,88$ дптр). Изменения оси практически не наблюдались (с 179° до 2°) и соответствовали астигматизму обратного типа. При этом среднее значение астигматизма увеличилось на $0,32$ дптр (с $0,84 \pm 0,50$ до $1,16 \pm 0,63$ дптр).

Векторная динамика косого роговичного астигматизма

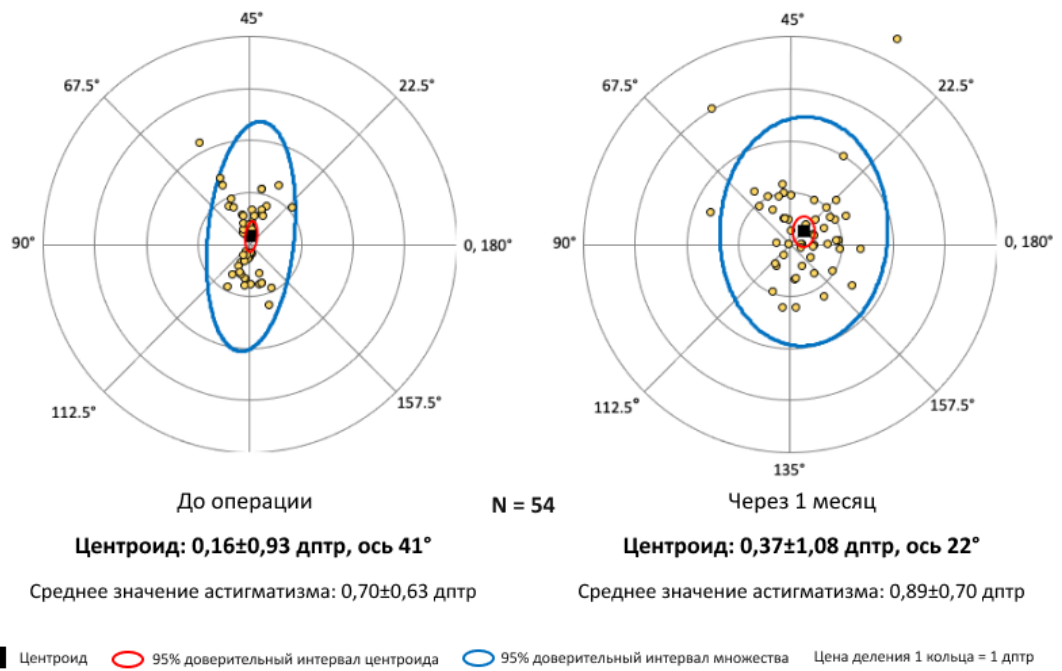


Рисунок 20 – Векторная динамика астигматизма с косыми осями

У пациентов с астигматизмом с косыми осями (рисунок 20) было выявлено значительное увеличение магнитуды центроида и увеличение его стандартного отклонения (с $0,16 \pm 0,93$ до $0,37 \pm 1,08$ дптр). Кроме того, наблюдалось изменение оси центроида с 41° , что соответствует астигматизму с косыми осями, до 22° , относящейся к астигматизму обратного типа.

3.7 Формула расчета остаточного послеоперационного астигматизма

Основной целью работы явилось создание формулы расчета остаточного астигматизма при имплантации монофокальной неторической ИОЛ. Для этого был проведен регрессионный анализ, где зависимой переменной был остаточный астигматизм, а ковариатами – его исходная величина и синус угла оси сильного меридиана роговицы (рисунок 21).

В результате было выведено уравнение расчета остаточного цилиндра (формула 1) при выполнении факэмульсификации с имплантацией монофокальной неторической ИОЛ:

$$Ast = K_{ast} \times 0,71 - 0,62 \times \sin K_{ax} + 0,73 \quad (1)$$

где Ast – остаточный послеоперационный астигматизм, дптр;

K_{ast} – дооперационный роговичный астигматизм, дптр

K_{ax} – дооперационная ось сильного меридиана роговицы, град

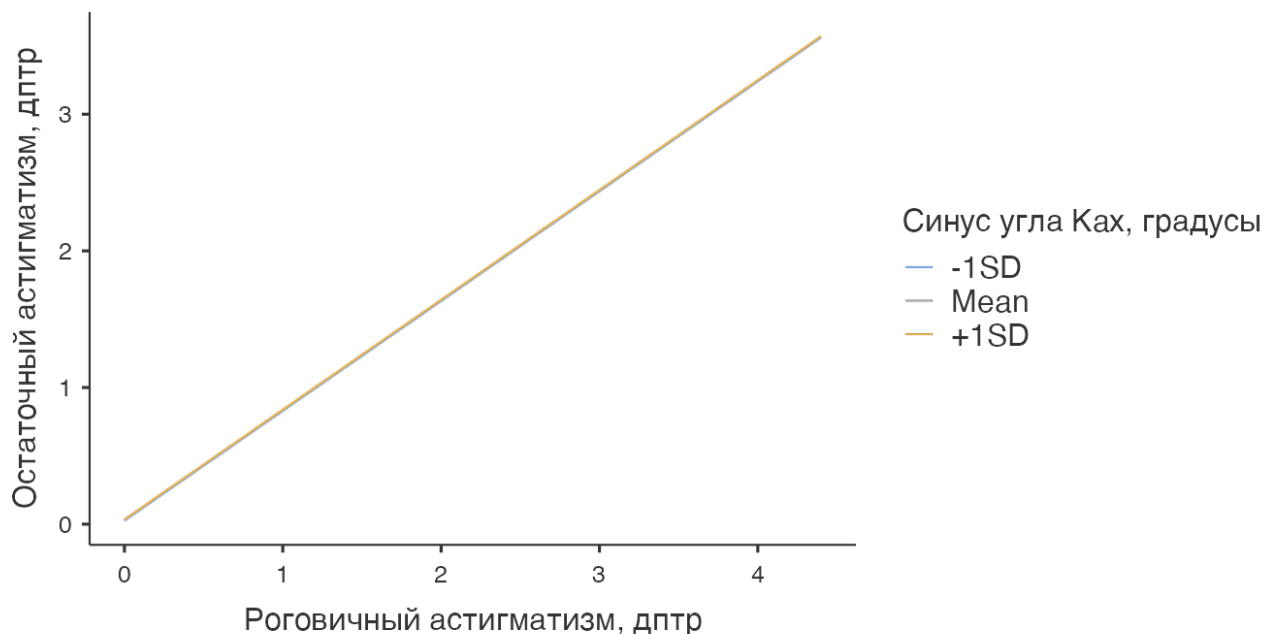


Рисунок 21 – Влияние силы роговичного астигматизма и исходного положения оси сильного меридиана на остаточный астигматизм ($R^2=0,337$, $p<0,001$)

Преимущества данной формулы в том, что она подходит для всех типов кератометров и требует минимальных диагностических средств (данные дооперационных роговичного астигматизма и оси сильного меридиана роговицы), при этом, оценка заднего роговичного астигматизма не требуется. Уравнение позволяет расширить показания для имплантации торической ИОЛ, что позволит избежать больших значений остаточного цилиндра у пациентов и улучшить их НКОЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растущие требования к рефракционным исходам хирургии катаракты должны соблюдаться и в осложненных астигматизмом случаях.

Основной целью данной работы было оценить влияние астигматизма на рефракционные исходы факоэмульсификации при катаракте. Сочетание этих двух нозологий встречается более, чем у трети пациентов, направленных на плановую операцию по удалению помутневшего хрусталика [5].

Для оценки биометрических изменений после имплантации ИОЛ было обследовано 366 пациентов (427 глаз). Средний возраст составил $75,37 \pm 8,43$ лет, среди них 138 мужчины (32,3%) и 289 женщины (67,7%). Далее пациенты были разделены на 9 групп согласно оси крутого меридиана роговицы с интервалом 20 градусов. В первую группу вошел 61 пациент ($0^\circ - 20^\circ$), во вторую – 31 ($21^\circ - 40^\circ$), в третью – 20 ($41^\circ - 60^\circ$), в четвертую – 49 ($61^\circ - 80^\circ$), в пятую – 100 ($81^\circ - 100^\circ$), в шестую – 52 ($101^\circ - 120^\circ$), в седьмую – 18 ($121^\circ - 140^\circ$), в восьмую – 25 ($141^\circ - 160^\circ$) и в девятую – 71 пациентов ($161^\circ - 180^\circ$).

Всем пациентам до операции, а также через 30 дней после вмешательства выполнялись стандартное офтальмологическое обследование, кератотопография (Tomey TMS-4, Япония), а также измерение длины ПЗО, ГПК, силы крутого и плоского меридианов роговицы, а также расположение их осей (IOL-Master 500, Carl Zeiss, Германия), с последующим сравнением до- и послеоперационных результатов.

В ходе исследования было выявлено, что роговичный астигматизм менее 0,5 дптр наблюдался всего у 32,1%, наиболее часто астигматизм принимал значения от 0,51 до 1 дптр – почти у половины исследуемых (42,9%). Астигматизм свыше 1,0 дптр встречался у каждого четвертого (25,1%).

Было проанализировано процентное соотношение астигматизма прямого, обратного и косого типов. Обнаружено, что наиболее часто встречался астигматизм прямого типа – 47,8% (n=204), обратный наблюдался у 39,6% (n=169) пациентов, все остальные случаи приходились на астигматизм с косыми осями – 12,6% (n=54). Важно отметить, что средний возраст группы

с обратным астигматизмом был выше ($77,9 \pm 6,8$ лет), чем у групп с другими типами (группа с прямым астигматизмом – $73,0 \pm 9,3$ года, с косыми осями – $76,4 \pm 6,9$ лет).

Для определения остаточного астигматизма после операции и рекомендуемой торической ИОЛ применялись Kane formula и Barrett toric calculator. Было обнаружено, что ВТС рекомендует имплантировать торическую ИОЛ почти на 10% чаще, чем Kane. Кроме того, по мере увеличения значения роговичного астигматизма, увеличивался торический компонент ТИОЛ как для калькулятора Kane, так и для ВТС.

При оценке частоты рекомендаций торического компонента формулами в зависимости от расположения оси сильного меридиана роговицы было выявлено, что пациентам с прямым роговичным астигматизмом чаще рекомендовались неторические линзы. Например, в группе 5 (соответствует прямому астигматизму) неторические линзы рекомендовались к имплантации в 17,3% по Kane и 17,6% по ВТС. С другой стороны, в группах 1 и 9 (соответствует обратному астигматизму) неторические линзы предлагались только в 3,7% по Kane и в 1,4% по ВТС в группе 1, аналогично в 4,9% и 1,2% в группе 9. Такой результат можно объяснить влиянием астигматизма задней поверхности роговицы, который в большинстве случаев является прямым, что приводит к уменьшению общего астигматизма при прямом и усилению его при обратном роговичном астигматизме.

Установка ТИОЛ целесообразна в том случае, когда прогнозируемый остаточный астигматизм будет меньше прогнозируемого послеоперационного астигматизма роговицы, а пациент получит при этом улучшение остроты зрения. В ходе регрессионного анализа зависимости НКОЗ от остаточного астигматизма было определено, что больший остаточный астигматизм ведет к меньшим значениям некорригированной остроты зрения.

Помимо этого, в группах с прямым астигматизмом значения послеоперационного астигматизма, в целом, были меньше, чем значения в группах с обратным. Разница между показателями в среднем составляла 0,3-

0,4 дптр, что соотносится со средней величиной астигматизма задней поверхности – 0,24 дптр.

Итогом работы стала разработка формулы, прогнозирующей остаточный астигматизм при выполнении фактоэмульсификации с имплантацией монофокальной неторической ИОЛ. Данное уравнение позволяет оценить остаточный цилиндр и более точно определить наиболее эффективный метод лечения.

$$Ast = K_{ast} \times 0,71 - 0,62 \times \sin K_{ax} + 0,73 \quad (1)$$

где Ast – остаточный послеоперационный астигматизм, дптр;

K_{ast} – дооперационный роговичный астигматизм, дптр

K_{ax} – дооперационная ось сильного меридиана роговицы, град

Таким образом, на дооперационном этапе возможен расчет остаточного астигматизма на основе минимальных диагностических данных, который позволяет принять решение о целесообразности имплантации ТИОЛ. Более точное выявление и учет всех факторов, связанных с астигматизмом, может привести к большему успеху в лечении этого заболевания и улучшению качества жизни пациентов.

ВЫВОДЫ

1. Роговичный астигматизм менее 0,5 дптр наблюдался всего у 32,1%, наиболее часто астигматизм принимал значения от 0,51 до 1 дптр – почти у половины исследуемых (42,9%). Астигматизм свыше 1,0 дптр встречался у каждого четвертого (25,1%). Самым распространенным типом астигматизма был прямой – 47,8%, обратный наблюдался у 39,6% пациентов, все остальные случаи приходились на астигматизм с косыми осями – 12,6%. Средний возраст в группе исследуемых с обратным астигматизмом был выше ($77,9 \pm 6,8$ лет), чем у групп с прямым ($73,0 \pm 9,3$ лет) и косым ($76,4 \pm 6,9$ лет) роговичным астигматизмом.
2. Была выявлена закономерность: чем больше остаточный астигматизм, тем ниже значения некорригированной остроты зрения. В группах с прямым астигматизмом значения послеоперационного астигматизма были меньше, чем значения в группах с обратным. Разница между показателями в среднем составляла 0,3-0,4 дптр, что соотносится со средней величиной астигматизма задней поверхности – 0,24 дптр.
3. ВТС рекомендует имплантировать торическую ИОЛ на 10% чаще, чем формула Kane. ВТС рекомендовал к имплантации ТИОЛ с минимальным торическим компонентом (Т2) в 7 раз чаще, чем Kane у лиц с исходным роговичным астигматизмом в пределах 0,5 дптр, что было обусловлено наличием обратного роговичного астигматизма.
4. Была разработана формула, прогнозирующая остаточный астигматизм после выполнении ФЭ с имплантацией монофокальной неторической ИОЛ, которая позволяет оценить послеоперационный цилиндрический компонент рефракции и принять решение о необходимости имплантации торической ИОЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой. Экспертный совет по проблеме хирургического лечения катаракты / ООО «Межрегиональная ассоциация врачей-офтальмологов». – М.: Изд-во «Офтальмология», 2015. – 32 с.
2. Петров С.Ю. Катаракта: современный взгляд на консервативные подходы к лечению // РМЖ. Клиническая офтальмология. 2019. Т.19, №4. С.206-210. DOI: <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2019-19-4-206-210>.
3. Всемирный доклад о проблемах зрения [World report on vision]. Женева: Всемирная организация здравоохранения. – 2020.
4. Копаев С.Ю., Ильинская И.А., Бессарабов А.Н. Роговичный астигматизм при различной офтальмопатологии // Вестник офтальмологии. 2021. Т.137, №2. С.59–65. DOI: <https://doi.org/10.17116/oftalma202113702159>
5. Альноелати Альмасри М.А., Стебнев В.С. Анализ различных торических интраокулярных линз с точки зрения их эффективности в коррекции астигматизма в процессе операции факоэмульсификации // Саратовский научно-медицинский журнал. 2021. Т.17 №3. С.605-610.
6. Оренбуркина О.И. Торические интраокулярные линзы для коррекции астигматизма в нестандартных и осложненных случаях хирургии катаракты // Современные технологии в офтальмологии. 2020. Т.35 №4. С.387-388. DOI: <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2020-4-387-388>.
7. Попова Н.В. Качество жизни пожилых больных катарактой после ультразвуковой факоэмульсификации // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2020. №3. С.415-427.

8. Тимофеева Н.С. Фемтолазер-ассистированные методы коррекции астигматизма в ходе хирургии катаракты: дис. канд. Мед. наук: 14.01.07. – М., 2020. 183 с.
9. Goggin M. Toric intraocular lenses: Evidence-based use. *Clin Exp Ophthalmol.* 2022 Jul;50(5):481-489. DOI: <https://doi.org/10.1111/ceo.14106>.
10. Рахманов В.В., Хрипун К.В., Астахов С.Ю. и др. Тактика хирургического лечения катаракты у больных с неправильным астигматизмом на фоне выраженной патологии роговой оболочки // *Офтальмологические ведомости.* 2014. Т.7 №4. С.5-9. DOI: <https://doi.org/10.17816/OV201445-9>
11. Бойко Э.В., Шухаев С.В., Кудлахмедов Ш.Ш. и др. Сравнительная оценка хирургической коррекции роговичного астигматизма торическими ИОЛ с использованием различных кератометрических данных и методов расчета // *Офтальмохирургия.* 2022. №4. С.36–44. DOI: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-4-36-44>
12. Хрипун К.В. Хирургическая коррекция астигматизма во время и после экстракции катаракты: специальность 14.01.07 "Глазные болезни": диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских. – Санкт-Петербург. 2016. 131 с.
13. Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP et al. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2013 Dec;39(12):1803-1809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.06.027>.
14. Амиров А.Н., Астахов С.Ю., Беликова Е.И. и др. Клинические рекомендации "Катаракта старческая" // *Офтальмология.* – М. 2020. 51 с.
15. Коняев Д.А., Попова Е.В., Титов А.А. Распространенность заболеваний глаз у пожилых — глобальная проблема современности. // *Здравоохранение Российской Федерации.* 2021. Т.65 №1. С.62–68.

16. Киселева Т.Н., Зайцев М.С. Инновационные технологии в мониторинге возрастной катаракты // Офтальмология. 2022. Т.19. №4. С.740-745.
17. Kanthan GL, Mitchell P, Burlutsky G et al. Fasting blood glucose levels and the long-term incidence and progression of cataract — the Blue Mountains Eye Study. *Acta Ophthalmol.* 2011;89(5):434–438. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2011.02149>.
18. Delcourt C, Cristol JP, Tessier F et al. Risk factors for cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts: the POLA study. *Pathologies Oculaires Liées à l'Age. Am J Epidemiol.* 2000 Mar;151(5):497-504. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a010235>.
19. Cataract surgical rates // *Community Eye Health.* 2017;30(100):88-89.
20. Thompson J, Lakhani N. Cataracts. *Prim Care.* 2015;42(3):409-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.05.012>.
21. Apple DJ, Sims J. Harold Ridley and the invention of the intraocular lens. *Surv Ophthalmol.* 1996;40(4):279-92. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0039-6257\(96\)82003-0](https://doi.org/10.1016/s0039-6257(96)82003-0).
22. Похилько Н.И., Хабибуллаев Ш.Ш., Сафина Р.Р. и др. Интраокулярные линзы. Разновидности, характеристика, применение // *Оренбургский медицинский вестник.* 2020. Т.2. №30. С.9-13.
23. Lake JC, Victor G, Clare G et al. Toric intraocular lens versus limbal relaxing incisions for corneal astigmatism after phacoemulsification. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;112(12):CD012801. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012801.pub2>.
24. Мягков А.В., Першин К.Б., Проскурина О.В. и др. Клинические рекомендации "Астигматизм" // *Офтальмология.* – М. 2020. 53 с.
25. Ostri C, Falck L, Boberg-Ans G et al. The need for toric intraocular lens implantation in public ophthalmology departments. *Acta Ophthalmol.* 2015;93(2):396–397.

26. Kessel L, Andresen J, Tendal B et al. Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016;123(2):275-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophttha.2015.10.002>.
27. Бикбов М.М., Оренбуркина О.И., Абсалямов М.Ш. и др. Результаты имплантации мультифокальных ИОЛ при факоемульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением // *Современные технологии в офтальмологии*. 2017. №6. С.25-28.
28. de Silva SR, Evans JR, Kirthi V et al. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016;12:58 DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003169.pub4>
29. Куликова И.Л. Положение торической интраокулярной линзы и ротационная стабильность при проведении факоемульсификации катаракты у пациентов с астигматизмом // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2019. Т.15 №2. С.506-510.
30. Kessel L, Andresen J, Tendal B et al. Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016;123(2):275-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophttha.2015.10.002>.
31. Kawahara A. Predicting Residual Astigmatism in Cataract Surgery. *Vision (Basel)*. 2022;6(4):64-70. DOI: <https://doi.org/10.3390/vision6040070>.
32. Киселева Т.Н., Оганесян О.Г., Романова Л.И. и др. Оптическая биометрия глаза: принцип и диагностические возможности метода // *Российская педиатрическая офтальмология*. 2017. Т.12 №1. С.35-42. DOI <https://doi.org/10.18821/1993-1859-2017-12-1-35-42>
33. Kaur M, Shaikh F, Falera R et al. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol*. 2017;65(12):1301-1313. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_810_17.

34. Shamma HJ, Yu F, Shamma MC et al. Predicted vs measured posterior corneal astigmatism for toric intraocular lens calculations. *J Cataract Refract Surg.* 2022;48(6):690-696. DOI: <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000819>.
35. Ryu S, Jun I, Kim T. et al. Accuracy of the Kane formula for Intraocular Lens Power Calculation in Comparison with Existing Formulas: A Retrospective Review. *Yonsei Med J.* 2021;62(12):1117-1124. DOI: <https://doi.org/10.3349/ymj.2021.62.12.1117>.
36. Motamed-Gorji N, Jafari A, Mohammadi S. et al. Associated factors and distribution of posterior corneal astigmatism in a middle-aged population. *Clin Exp Optom.* 2022;105(8):806-812. DOI: <https://doi.org/10.1080/08164622.2021.1992249>.
37. Goggin M, Zamora-Alejo K, Esterman A et al. Adjustment of anterior corneal astigmatism values to incorporate the likely effect of posterior corneal curvature for toric intraocular lens calculation. *J Refract Surg.* 2015;31(2):98-102. DOI: <https://doi.org/10.3928/1081597X-20150122-04>.
38. Wolffsohn JS, Bhogal G, Shah S. Effect of uncorrected astigmatism on vision. *J. Cataract Refract. Surg.* 2011;37(3):454-460.
39. Li HE, Wang Y, Chen MS et al. Distribution of the anterior corneal astigmatism in over 140 000 patients with age-related cataract. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi.* 2021;57(1):56-62. DOI: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112142-20200107-00010>.
40. Ильяхин О.Е. Острота зрения и индуцированный астигматизм при различных методиках фактоэмульсификации // *Офтальмохирургия.* 2009. №6. С.20-23.
41. Park JH, Kang SY, Kim HM et al. Differences in corneal astigmatism between partial coherence interferometry biometry and automated keratometry and relation to topographic pattern. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(9):1694-1698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.03.047>.

42. Розукулов В.У. Об осложнениях при факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ // Современные технологии в офтальмологии. 2019. №5. С.132-135. DOI <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2019-5-132-135>.
43. Michelitsch M, Ardjomand N, Vidic B et al. Prävalenz und Altersabhängigkeit von kornealem Astigmatismus bei Patienten vor Kataraktchirurgie. *Ophthalmologe*. 2017;114(3):247-251. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00347-016-0323-8>.
44. Стебнев В.С., Стебнев С.Д., Малов И.В. и др. Об операционных осложнениях высокотехнологичной факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ // Современные технологии в офтальмологии. 2021. Т.5 №40. С.86-89.
45. Chylack LT Jr., Leske MC, McCarthy D et al. Lens opacities classification system II (LOCS II). *Arch Ophthalmol*. 1989;107(7):991-997.
46. Ботбаев А.А. Современные методы факофрагментации при ультразвуковой факоэмульсификации катаракты // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. №1. С.55-58. DOI <https://doi.org/10.26104/NNTIK.2019.45.557>.
47. Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of Intraocular Lens Calculation Formulas. *Ophthalmology*. 2018 Feb;125(2):169-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optha.2017.08.027>.