

**АКАДЕМИЯ ПОСТДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-КЛИНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВИДОВ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ И
МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИКО-
БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА»**

На правах рукописи

ЛИХ ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАСЧЕТ ИОЛ ПРИ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ У
ПАЦИЕНТОВ С АКСИАЛЬНОЙ ДЛИНОЙ ГЛАЗА МЕНЕЕ 22.00 ММ.**

3.1.5. Офтальмология

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата
медицинских наук**

Научный руководитель
доктор медицинских наук, доцент **Пашинова Надежда Федоровна**

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА I ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1. Эпидемиология, классификация глаз с «короткой» аксиальной длиной....	9
1.2. Биометрическое и ультразвуковое исследование при расчете оптической силы ИОЛ.....	11
1.3. Формулы для расчета ИОЛ	13
1.4. Исследования по сравнению формул расчета оптической силы ИОЛ при гиперметропии высокой степени	19
1.5. Оптимизация констант ИОЛ	26
1.6. Особенности хирургии хрусталика в глазах с аксиальной длиной менее 22,00 мм.....	30
ГЛАВА II МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	34
2.1. Общая характеристика пациентов и методика проведения исследования	34
2.2. Статистическая обработка результатов исследования.....	48
ГЛАВА III РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	49
3.1. Анализ точности формул расчета ИОЛ на глазах с аксиальной длиной менее 20,0 мм.	49
3.2. Анализ точности формул расчета ИОЛ на глазах с аксиальной длиной от 20,0 до 22,0 мм.	60
3.3. Влияние глубины передней камеры глаза на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с короткой передней-задней осью.....	69
3.4. Влияние кривизны роговицы на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с короткой передней-задней осью	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
ВЫВОДЫ	92
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	94
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности темы

Несмотря на достижения современной офтальмологии в хирургии хрусталика глаза, позволяющей достигать запланированную рефракцию в диапазоне $\pm 0,5$ дптр в 80-90% случаев [131,154], остаются сложности в достижении высокого зрительно-функционального результата у пациентов с «коротким» глазом после экстракции хрусталика [12,105,167].

«Короткий» глаз (аксиальная длина менее 22,0 мм), всегда ассоциируется с высоким риском ошибки выбора силы интраокулярной линзы (ИОЛ), большим разбросом результирующих значений силы ИОЛ и невысоким процентом достижения рефракции цели вследствие того, что уменьшение передне-заднего размера глаза вызывает значительные погрешности в существующих на сегодняшний день алгоритмах расчета ИОЛ [5,183].

Кроме того, применительно к «коротким» глазам в целях минимизации отклонения от рефракции «цели» необходим (в сравнении со «стандартными» глазами) всесторонний анализ различных анатомических показателей [77,167]. Наряду с этим, сложность составляет и анализ массива данных расчета ИОЛ в «коротких» глазах, т.к. распространенность глаз с аксиальной длиной менее 22,00 мм в популяции невелика [73].

Существующие методы оптимизации определения силы интраокулярных линз не в полной мере увеличивают качество и точность расчета ИОЛ при уменьшении передне-заднего размера глаза [63,106]. Тем не менее, появление новых алгоритмов расчета интраокулярных линз требует проведение постоянного сравнительного анализа для определения точности отдельных формул [65,67].

Необходимо учитывать и анатомо-топографические особенности строения «коротких» глаз, что также вызывает сложность при выполнении экстракции хрусталика и, несмотря на широкое внедрение в практику офтальмохирурга метода факоэмульсификации, позволившего снизить уровень осложнений

хирургии «коротких» глаз (пролапс радужной оболочки, экспульсивное кровотечение, кистозный макулярный отек, дефект связок хрусталика, хориоидальная эффузия, отслойка сетчатки, увеит и ряда других), стандартные методики оперативного вмешательства не в полном объеме обеспечивают требуемый уровень безопасного выполнения операции [11,106,114]

Таким образом, представленные в литературе данные не позволяют в полной мере сформировать клинические рекомендации для методики определения силы ИОЛ при факоэмульсификации хрусталика (или рефракционной лenseктомии) на «коротких» глазах в зависимости от различных анатомических показателей глаза и определить наиболее безопасную методику факоэмульсификации с учетом анатомо-морфологических особенностей «короткого» глаза [106,116].

Цель работы

Оптимизация методики расчета оптической силы ИОЛ и хирургической техники факоэмульсификации у пациентов с аксиальной длиной глаза менее 22,0 мм.

Основные задачи работы

1. Провести сравнительный анализ точности расчета ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной от 20,0 мм до 22,0 мм глазом и средней длиной глаза (22,0-24,0 мм) после факоэмульсификации катаракты и рефракционной лenseктомии с имплантацией ИОЛ с использованием формул: SRK/T, Hoffer-Q, Holladay II, Olsen, Haigis, Barrett Universal II, Kane.
2. Определить точности расчета ИОЛ у пациентов с «коротким» (менее 20,0 мм) после факоэмульсификации катаракты и рефракционной лenseктомии с имплантацией ИОЛ с использованием формул: SRK/T, Hoffer-Q, Holladay II, Olsen, Haigis, Barrett Universal II, Kane.
3. Провести анализ зависимости особенностей расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с «короткой» передне-задней осью глаза в зависимости от толщины хрусталика и диаметра роговицы.
4. Оценить влияние глубины передней камеры глаза на точность расчета

оптической силы ИОЛ у пациентов с «короткой» передне-задней осью глаза в зависимости от используемой формулы.

5. Провести анализ влияния показателей кератометрии на эффективность расчета ИОЛ у пациентов с «короткой» передне-задней осью глаза в зависимости от используемой формулы.

6. Определить эффективность хирургической техники «Бури и Ломай» при факоэмульсификации хрусталика у пациентов с «коротким» глазом.

Основные положения, выносимые на защиту диссертационной работы

1. Достижение требуемой рефракции «цели» ($\pm 0,5$ дптр) после факоэмульсификации катаракты (или рефракционной лenseктомии) с имплантацией ИОЛ при аксиальной длине глаза в диапазонах 20,0-22,0 мм и менее 20,0 мм (при глубине передней камеры глаза более 2,9 мм и кривизне роговицы 44,0-46,0 дптр) обеспечивается применением формул Haigis, Kane и Hoffer Q, Kane, Barrett Universal II соответственно, что подтверждается (в отличие от формул SRK/T, Holladay II, Olsen) наименьшей величиной средней абсолютной погрешности (разница между фактическим и прогнозируемым послеоперационным (6 месяцев) значением сферического эквивалента), а также высокой вероятностью достижения запланированной рефракции.

2. Ведущими факторами, оказывающими существенное влияние на точность расчета ИОЛ с аксиальной длиной глаза менее 22,0 мм, являются глубина передней камеры глаза (2,5-2,9 мм), что подтверждается статистически значимой корреляцией между данным показателем и снижением вероятности достижения рефракции «цели» применительно ко всем оцениваемым формулам расчета ИОЛ, а также величина кривизна роговицы (менее 44,0 дптр и более 46,0 дптр), при которой наиболее эффективно использование формул Barrett Universal II и Kane.

3. Факоэмульсификация хрусталика (или рефракционная лenseктомия) по методике «Бури и Ломай» на глазах с аксиальной длиной глаза менее 22,0 мм, обеспечивает (приводит) значительное снижение интраоперационных и

послеоперационных осложнений в соответствии с полученными результатами хирургии у данной группы пациентов.

Научная новизна работы

Впервые в офтальмологической практике определена клиническая эффективность применения формул Barrett Universal II и Kane для расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза менее 20,0 мм.

Определено, что у пациентов с аксиальной длиной глаза менее 20,0 мм использование формулы Kane, Hoffer Q и Barrett Universal II обеспечивают в 71,2%, 65,4% и 61,5%, соответственно, уровень достижения рефракции цели в пределах $\pm 0,5$ дптр.

Установлено, что у пациентов с аксиальной длиной менее 22,0 мм в комбинации с глубиной передней камеры глаза 2,5-2,9 мм, использование формул Haigis и Kane позволило достигать рефракции $\pm 0,5$ дптр в 67,3% и 65,3% случаев, соответственно.

Выявлена сходная клиническая эффективность применения для расчета оптической силы ИОЛ формул SRK/T, Kane, Hoffer-Q, Holladay II, Haigis, Olsen и Barrett Universal II у пациентов с аксиальной длиной глаза 22,0 – 24,0 мм.

Впервые проведен сравнительный анализ эффективности формул для расчета ИОЛ на «коротких» глазах в зависимости от данных кератометрии. Показано, что значения показателей менее 44,00 дптр и более 46,00 дптр ассоциированы с меньшей частотой попадания в целевую рефракцию на «коротких» глазах, при этом лучшие результаты определены при использовании формул Barrett Universal II и Kane.

Установлено отсутствие значимой связи эффективности расчета ИОЛ на «коротких» глазах с использованием формул SRK/T, Kane, Hoffer-Q, Holladay II, Haigis, Olsen и Barrett Universal II при различных показателях толщины хрусталика и диаметра роговицы.

Определена эффективность методики факоэмульсификации хрусталика «Бури и Ломай» на глаза с аксиальной длиной менее 22,0 мм.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании возможности применения формул Barrett Universal II, Kane и Hoffer Q для расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с «коротким» глазом, возможности применения техники факоэмульсификации хрусталика по методу «Бури и Ломай» на глазах с аксиальной длиной глаза менее 22,0 мм.

Практическая значимость работы заключается в определении расчета оптической силы ИОЛ в зависимости от аксиальной длины глаза (22,0 - 24,0 мм, 20,0 – 22,0 мм, и менее 20,0 мм), глубины передней камеры и кератометрии глаза по формулам SRK/T, Hoffer-Q, Holladay II, Haigis, Olsen, Barrett Universal II и Kane. Обоснована эффективность техники факоэмульсификации хрусталика по методу «Бури и Ломай» на глазах с аксиальной длиной менее 22,0 мм.

Методология и методы исследования

В работе использовался комплексный подход к оценке результатов применения разработанных подходов к расчетам оптической силы ИОЛ, основанный на применении комплекса клинических и биометрических показателей зрительной системы.

Степень достоверности результатов

Степень достоверности результатов исследования основывается на адекватных и апробированных методах сбора клинического материала, всего обследовано 134 пациента (199 глаз), а также применении современных методов статистической обработки с использованием параметрической статистики.

Внедрение работы

Результаты диссертационной работы включены в материалы сертификационного цикла и цикла профессиональной переподготовки кафедры офтальмологии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации и в клиническую практику сети офтальмологических клиник «Экимер».

Апробация и публикация материалов исследования

Основные положения работы доложены и обсуждены на всероссийской офтальмологической научно-практической конференции (Оренбург, 2020), ежегодном конгрессе европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов ESCRS (Virtual meeting, Амстердам, 2020), научно-практической конференции «Инновационные технологии в офтальмологии», посвящённой 130-летию кафедры офтальмологии ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (Томск, 2021).

Диссертация апробирована на кафедре офтальмологии Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России (15.06.2022г.).

Материалы диссертации представлены в 11-и научных работах, в том числе в 6-ти статьях, опубликованных в определенных ВАК РФ ведущих рецензируемых научных журналах.

Структура диссертации

Материал диссертации изложен на 118 страницах машинописного текста. Диссертация состоит из введения, трех глав (обзора литературы, материала и методов исследования, главы результатов исследования и их обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Работа содержит 20 таблиц и 16 рисунков. Список литературы включает 192 источников (47 отечественных и 145 зарубежных авторов).

ГЛАВА I ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Эпидемиология, классификация глаз с «короткой» аксиальной длиной

Помутнение хрусталика неоспоримо является одной из основных причин слепоты и слабовидения, составляя почти половину от всей глазной патологии и оставаясь значимой медико-социальной проблемой [2, 7, 18, 21, 23, 29, 43, 126, 188].

Более 11 миллионов глаз подвергается оперативному лечению по поводу катаракты по всему миру ежегодно [95]. Хирургия хрусталика глаза - наиболее распространенная в офтальмологии, но вместе с тем и наиболее требовательная к послеоперационному результату [6, 28, 39].

На сегодняшний день задачей вмешательства на хрусталике является не только избавить человека от слепоты, но и максимально снизить зависимость от очковой коррекции [9, 22, 25, 26, 42, 168].

Интенсивный прогресс технологии факоэмульсификации позволяет отнести данную технологию к рефракционным с высокой степенью прогнозирования достижения целевой рефракции [95, 132].

Отдельной группой можно выделять пациентов с, так называемым, «коротким» глазом. В частности, размер передней-задней оси глаза менее 22 мм принято относить к «коротким» глазам, что особенно важно при расчете оптической силы ИОЛ т.к. использование некорректных формул для расчета ИОЛ может приводить к погрешности расчета [80, 84, 100, 114, 140, 172].

Используемое в зарубежной и отечественной литературе понятие «короткий» глаз, часто сочетающееся с гиперметропией высокой степени, имеет определенное разделение на микрофтальм, нанофтальм [54, 119, 180, 185].

Наибольшего внимания требует осевая форма (30% случаев), связанная с короткой передней-задней осью, и комбинированная (61% случаев), при которой отклонения от среднестатистической аксиальной длины наблюдаются

не только в размере глаза, но и кривизне роговицы, глубине передней камеры глаза, толщине сосудистой оболочки глаза [40]. Так называемый патологический тип строения глаза при гиперметропии с неравномерным соотношением внутренних структур глаза [1].

Глаза с аксиальной длиной менее 21,0 мм или эквивалентные двум стандартным отклонениям от среднего значения параметров популяции, принято относить к микрофтальму [85, 189].

Микрофтальм, при размере глаза менее 20,5 – 21,0 мм, может быть простым и осложненным. Простой микрофтальм отличается нормальным анатомическим соотношением всех внутриглазных структур. Осложненный микрофтальм характеризуется присутствием патологических изменений: колобомы радужной оболочки, колобомы сосудистой оболочки, ретиальной дисплазии, но при этом толщина сосудистой оболочки и склеры не отличаются от средних показателей в возрастной группе. При нанофтальме, по разным данным, аксиальная длина глаза варьирует от менее двадцати мм. до менее семнадцати мм. Нанофтальм характеризуется не только мелкой передней камерой глаза, но и утолщением сосудистой оболочки и склеры более 1,7 мм [79,136,150, 185, 189, 191].

Частота встречаемости глаз с оптической осью менее 22.0мм не велика. В рамках крупного Европейского исследования по изучению взаимосвязи диеты и риска развития онкологических заболеваний, обследовано 8033 участника (15881 глаз), которым проводили расширенное офтальмологическое исследование с применением оптической когерентной биометрии. В результате только 132 глаза (0,8%) имели размер менее 21,0 мм; менее 20,5 мм – 57 глаз (0,4%), менее 20,0 мм – 24 глаза (0,2%) и от 19,0 мм до 15,0 мм - 31 глаз (0,2%) [73]. Низкую частоту встречаемости глаз с аксиальной длиной менее 20,9 мм отмечают и G. Carifi с соавторами: 0,2% из 22.093 прооперированных глаз за пятилетний период [61]. Несмотря на то, что причины появления в популяции «коротких» глаз не изучены в достаточном объеме, существуют данные, указывающие, что причиной, в подавляющем большинстве случаев

является, хроническая гипоксия в перинатальном периоде, и только 25% случаев имеют наследственный компонент [13].

В ряде научных работ определено соотношение аномалий рефракции в возрастных группах, частоту встречаемости «коротких» глаз, так распространенность гиперметропии и «короткого» глаза составила от 0,002% до 30,9%. [27, 38, 97, 112, 186, 187].

Другой особенностью глаз с короткой передней-задней осью является высокая частота встречаемости амблиопии и анизометропии разной степени тяжести, в 1,0% случаев регистрировалась слепота, а в 2,0% случаев низкая острота зрения [73, 106, 184].

1.2. Биометрическое и ультразвуковое исследование при расчете оптической силы ИОЛ

Современные достижения в хирургии хрусталика глаза позволяют добиваться запланированной послеоперационной рефракции в пределах ± 0.5 дптр от 60% до 85%, что особенно важно при имплантации мультифокальных ИОЛ [57, 87, 91, 95, 165, 169].

Подобные показатели достижимы при качественной предоперационной диагностике и точном расчете интраокулярных линз с применением иммерсионного ультразвукового сканирования глаза и золотого стандарта – оптической когерентной биометрии глаза [60].

Появление оптической когерентной биометрии позволило значительно увеличить точность расчета оптической силы ИОЛ в сравнении с ультразвуковыми методами [10, 15, 17, 35, 66, 82, 83, 143, 162], что показано в большом количестве работ [92, 118, 123, 179].

За последние годы оптическая когерентная биометрия глаза стала доминирующим исследованием, при этом частота применения иммерсионного и апланационного ультразвукового исследования снизилась до 10% [95].

Оптическая когерентная биометрия позволила минимизировать рефракционную ошибку после операции до 0,43 дптр, связанную с измерением

длины глаза и других сред глаза за счет отсутствия контакта и давления на роговицу [66, 75, 82, 108, 113, 143, 147, 162, 181].

Тем не менее, в отдельных случаях ультразвуковые методы остаются наиболее доступными, простыми в применении, не имеющими существенных противопоказаний [16, 120, 124, 143], а, в отдельных случаях, при модифицированных методиках сканирования, сопоставимы с оптической биометрией [10, 37].

В условиях уменьшения аксиальной длины глаза ультразвуковое исследование не лишено недостатков, так как прохождение ультразвуковой волны через хрусталик толщиной пять мм. с признаками набухания будет отличаться от скорости прохождения через прозрачный хрусталик глаза, что приведет в дальнейшем к ошибке измерения. Значимость ошибки возрастает тем больше, чем короче глаз [16].

Так, например, ошибка в измерении глубины передней камеры на 0,25 мм приводит к рефракционному сдвигу после операции в 0,1 дптр в глазах длиной 30,0 мм, а в глазах 22,0 мм и менее – в 0,5 дптр [142], а комбинация нескольких нестандартных показателей (плоская, крутая роговицы; ассиметричная глубина передней камеры, короткий и длинный глаз) увеличивает неточность измерения [12].

Средняя абсолютная ошибка в расчете оптической силы ИОЛ при использовании ультразвукового исследования на «коротких» глазах составила $0,72 \pm 0,82$, при помощи оптической биометрии этот показатель равнялся $0,67 \pm 0,77$, при длине глаза от 22,0 мм – 24,0 мм: $0,34 \pm 0,31$ при применении оптической биометрии и $0,38 \pm 0,41$ при использовании ультразвуковой методики расчета [10].

Так или иначе, ультразвуковое исследование остается актуальным в случае длины глаза менее 20,0 мм, т.к. исследование склеры и сосудистой оболочки глаза необходимо для выявления признаков нанофтальма [59, 164].

Существующие на рынке два основных биометра ZEISS IOL Master (Carl Zeiss, Германия) и Haag Streit Lenstar (Haag-Strait AG, Швейцария) позволяют

получить схожие данные по измерению аксиальной длины глаза [60, 69, 103, 113, 134, 156, 166], но имеют различия в определении глубины передней камеры и кератометрии, что может служить источником ошибок и, возможно, требует оптимизации констант ИОЛ применительно к каждому биометру [60, 95, 103, 111]. Детальное исследование показывает, что при использовании в расчетах оптической силы ИОЛ формул со значениями разных биометров, получен предполагаемый сферозэквивалент рефракции в пределах $\pm 0,25$ дптр. [149]. Различия в измерениях разных биометров могут усиливаться в случаях высокой степени астигматизма, коротких или длинных глаз, крайних значения крутизны роговицы, глубокой или мелкой передней камеры [149].

D.L. Cooke и соавт. в своем исследовании указывают на то, что при использовании различных устройств оптической биометрии при расчете оптической силы ИОЛ, одни и те же формулы дают разные результаты [67].

Точность расчета может быть увеличена и при дополнительно использовании данных с кератотопографа [20, 122, 163].

Источником ошибок являются не только погрешности в использовании инструментальных методов исследования, но и неправильный выбор формулы для расчета оптической силы ИОЛ, особенно в случае высокой аметропии [143, 182].

1.3. Формулы для расчета ИОЛ

Успех в хирургии хрусталика глаза достигим не только в случае выполненной без осложнения операции, но и благодаря точному расчету ожидаемой послеоперационной рефракции [49].

Современные формулы ИОЛ демонстрируют высокий рефракционный результат, но, к сожалению, в 10%-20% случаев не удается достичь рефракции «цели» в пределах $\pm 0,5$ дптр [131,154]. Опубликованная в 1967 г. теоретическая формула, разработанная С.Н. Федоровым и А.И. Ивашиной (Колинко), положила начало отдельному направлению в хирургии катаракты – расчету диоптрийной силы ИОЛ. Появившиеся позже другие формулы,

основанные на принципах оптики Гаусса и стандартной модели глаза Гультранда, Colenbrander, Hoffer, Binkhorst получили, в свое время, большую популярность, но в 1980 г., в попытках избежать ошибок теоретических формул, возник регрессионный подход к расчету оптической силы ИОЛ [41, 58, 64, 98].

Sanders D. и соавт. в 1980 г. в ходе совместной работы представили формулу, основанную на анализе рефракционного результата ранее выполненных операций [159]. Математическая простота этой формулы позволила получить ей широкое распространение по всему миру. К сожалению, все формулы первого поколения отвечали только на вопрос какую диоптрию ИОЛ необходимо выбрать, но оставляли без ответа другой - какой оптический результат в итоге будет получен.

Кроме того, стал очевиден тот факт, что послеоперационная рефракция зависит от положения ИОЛ в глазу (расстояния от вершины роговицы до передней поверхности ИОЛ), что требовало изменения А-константы для глаз с разной анатомической длиной [99]. Так возникло второе поколение формул: Binkhorst и SRK II [160].

В дальнейшем улучшение точности расчета оптической силы ИОЛ шло по принципу вовлечения в определение показателя эффективной позиции ИОЛ других переменных. В третьем поколении формул учитывались и длина глаза, и показатель кератометрии (Holladay I, SRK/T, Hoffer Q) [100,107,152].

Четвертое поколение ИОЛ формул включало в расчет множество других показателей для уточнения послеоперационного положения ИОЛ в глазу, добавлена толщина хрусталика, возраст пациента, диаметр роговицы, предоперационная оценка рефракции глаза [139].

При разработке формулы Haigis, автор отказался от использования кератометрии для расчета эффективной позиции ИОЛ, включив в расчет 3 поправки (константы): 1) константу, предназначенную для коррекции ошибок, связанных с моделью ИОЛ; 2) константу для уточнения расчета глубины передней камеры и 3) константу, корректирующую длину глаза [93]. Для

оптимизации каждой отдельной константы исследования проводили на большом количестве глаз.

Эволюционное развитие формул привело к увеличению количества переменных от двух (Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, SRK\T, T2) до семи (Holladay 2), при этом, несмотря на увеличение точности прогноза послеоперационной рефракции, до сих пор не существует единой и полной оценки в их применении на практике [116].

В попытке объединить положительные качества разных алгоритмов расчета создана Super Formula, в которой отсутствует самостоятельная единая формула, но применяется комбинация Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, Holladay 1 с поправкой Koch, SRK\T, преимущество которых ранжируется в зависимости от длины исследуемого глаза [121]. Недостатком таких методик является их статичность – отсутствие собственных констант для ИОЛ, отсутствие возможности оптимизации результатов [67].

Усовершенствованная формула Barrett Universal II основана на законах параксиальной оптики с использованием формулы Гаусса. Основными переменными для расчета являются длина глаза, кератометрия, глубина передней камеры глаза, толщина хрусталика и диаметр роговицы. В основе формулы учитывается аксиальная длина глаза и показатели кератометрии, но эффективная позиция ИОЛ определяется не только по глубине передней камеры, но и с учетом коэффициента преломления ИОЛ относительно предполагаемой послеоперационной позиции ИОЛ и положения основной плоскости преломления ИОЛ. Именно этот критерий, по мнению автора, позволит получать более качественные результаты расчета в интраокулярных линзах разной диоптрийности, в том числе и с отрицательными диоптриями [55, 56].

Такие предположения направили ряд исследований на оценку эффективности формулы Barrett Universal II у пациентов с высокой миопией. А. Abulafia с соавт. выявляли различия при использовании формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, Holladay II, SRK/T, Barret Universal II, Olsen у пациентов с

миопией. В результате показана эффективность расчета формулы Barrett Universal II по сравнению с Haigis, Holladay II, SRK/T, Olsen при силе, прогнозируемой ИОЛ 6,0 дптр и выше. При оптической силе ИОЛ ниже 6,0 дптр Barrett Universal II показала более высокий прогнозируемый результат, при этом формулы Haigis и Holladay 1 также были эффективными[48].

Подтверждение эффективности формулы Barrett Universal II было получено и в исследовании К.Б. Першина и соавт.. В группах с негативными (от -5,0 дптр до -1,0 дптр) и позитивными (от 0,0 дптр до +5,0 дптр) значениями ИОЛ частота достижения целевой рефракции цели была в 99% случаях в пределах $\pm 1,0$ дптр [33, 34].

Кроме того, при сравнении Barrett Universal II и Holladay 1 с такими алгоритмами расчета как HILL-RBF, FullMonte метод и Ladas Super Formula у пациентов с длиной глаза менее 22,0 мм, наилучшие результаты показаны для формулы Barrett Universal II [117].

Недостатком использования параксиальной (Гауссовской) оптики, используемой в формуле Barrett Universal II, является включение в расчеты очень малых углов прохождения лучей через оптическую поверхность (бесконечно приближенных к центру самой оптики), в тоже время, расчет рефракции лучей от каждой преломляющей поверхности по закону Снеллена позволяет преодолевать неточность параксиальной оптики и принимать в расчет вычисления на всех расстояниях от оптической оси. Данный принцип положен в методику определения силы ИОЛ под названием Ray-Tracing [146].

Однако, эффективность методики Ray-Tracing в расчете ИОЛ, по мнению W. Haigis, преувеличена и не имеет существенного преимущества в сравнении с классическими формулами, но может быть применена в различных исследовательских работах [95].

Необходимо учитывать, что одна формула может демонстрировать разные результаты, если применять ее в комбинации с каким-либо оптическим биометром или как отдельным (как правило, доступный в электронном варианте) инструментом.

Так, например, при использовании формулы Olsen в двух вариантах (как отдельная программа для расчета ИОЛ и формула, установленная на приборе Haag Streit Lenstar (Haag-Strait AG, Швейцария) было получено существенное отличие в результатах - наибольшая точность в предполагаемой послеоперационной рефракции отмечена в варианте формулы как отдельной программы, особенно в глазах с оптической осью менее 22,0 мм. Вероятно, это связано с учетом дополнительных параметров для уточнения эффективной позиции ИОЛ после операции, которые не были учтены в варианте формулы, предустановленной на указанный оптический биометр. Кроме того, отмечается несовпадение и существенное ухудшение качества расчета оптической силы ИОЛ при использовании данных в формуле Olsen, полученных с другого оптического биометра ZEISS IOL Master (Carl Zeiss, Германия) [67]. Определенные трудности создает для формулы Olsen и длинный алгоритм расчета, и необходимость использования шести констант (две из которых могут представить только производители ИОЛ) [67].

Формула Barrett Universal II эффективно работает с данными, получаемыми при помощи устройств ZEISS IOL Master (Carl Zeiss, Германия) и Haag Streit Lenstar (Haag-Strait AG, Швейцария), показывая высокий результат рефракции «цели» на глазах с разной аксиальной длиной [67].

У формулы Holladay II, как отдельной программы, отмечается снижение точности при включение в расчет показателей рефракции (как рефракции предоперационной, так и рефракции до развития катаракты) [67]. Однако, определено, что при использовании ультразвуковых методов измерения длины глаза формула Holladay II не снижает эффективности расчета оптической силы ИОЛ [16].

Создание новых алгоритмов всегда сопряжено с тщательным поиском источника возможных погрешностей расчета.

S. Norrby, разбирая в своей работе все возможные источники ошибок в расчете ИОЛ, пришел к выводу, что в 35% случаев были нарушениями оценки послеоперационной позиции ИОЛ, 27% - нарушения определения

послеоперационной рефракции и 17% - неточность в измерении длины глаза. Кроме того, автор указывает также о влиянии на послеоперационный результат размера зрачка (8%), а погрешности в производстве ИОЛ занимают менее 1%. По мнению автора, применительно к глазам с аксиальной длиной менее 21,5 мм, роль точного определения эффективной позиции ИОЛ возрастает в два раза в сравнении с глазами с аксиальной длиной более 22,0 мм [137].

Учитывая необходимость определения послеоперационной позиции ИОЛ, Т. Olsen предположил заменить понятие «эффективной предполагаемой позиции ИОЛ» на определение «действительная позиция ИОЛ», что требует учета толщины хрусталика глаза и знание технических характеристик самой ИОЛ [142].

Ряд научных работ посвящены учету отдельных анатомических параметров при расчете ИОЛ, так S. Srivannaboorn с соавт. определили на основе формулы Holladay II, сравнивая результаты с формулами Haigis и Hoffer Q, насколько сильно влияет на точность включение в формулу показателя толщины хрусталика и пришли к выводу, что данный параметр не повышает точность расчета [171].

Вероятно, предположить, что глубина передней камеры глаза будет одним из основных факторов при расчетах ИОЛ на «коротких» глазах: установлено, что только 20% глаз с длиной менее 20,0 мм имеют мелкую переднюю камеру, остальные 80% демонстрируют глубину и соотношение структур передней камеры, присущих пациентам с большей длиной глаза, что требует увеличение силы преломления ИОЛ в глазах с меньшей глубиной передней камеры. Без учета этой особенности большинство формул третьего поколения имеют тенденцию к гиперметропической ошибке послеоперационной рефракции [109].

А.К Shrivastava и соавт. исследовали влияние глубины передней камеры «коротких» (менее 22,0 мм) глаз на точность расчета ИОЛ с использованием формул: Barrett Universal II, Haigis, Hill-RBF, Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, SRK/T. Для группы №1 глубина передней камеры составила 2,4 мм, группа №2

– 2,4 - 2,9 мм и группа №3 – более 2,9 мм. Статистический анализ не выявил значимости для указанных формул в группах №1 и №3. В группе №2 формулы Barrett Universal II, Haigis, Hoffer Q показали большую эффективность в достижении рефракции цели. Несмотря на доказанную высокую точность представленных формул, авторы не рекомендуют использовать формулу Haigis для пациентов с сочетанием «короткого» глаза и глубиной передней камеры менее 2,4 мм, т.к. процент достижения рефракции цели в пределах $\pm 0,25$ дптр. и $\pm 0,5$ дптр. был низок для этой формулы [167].

Несмотря на новые алгоритмы определения силы ИОЛ, остается актуальным утверждение, что правильно выбранная формула третьего поколения с оптимизированными константами и использование оптической биометрии может показать не менее точный результат, чем формула с семью переменными последнего поколения [53]. На практике, использование трех и более формул для расчета ИОЛ позволяет существенно повысить процент достижения рефракции «цели» [10, 45].

Продолжаются исследования по оптимизации существующих формул ИОЛ, с целью получения единой «супер» формулы, сочетающей достоинства одних формул и исключающих недостатки других [3, 14]. Особенно это направление актуально для «коротких» глаз [47].

Дальнейшее совершенствование методов расчета оптической силы ИОЛ возможно при получении более точных данных биометрии и возможности более качественного алгоритма предсказания окончательного положения ИОЛ в глазу после операции [4].

1.4. Исследования по сравнению формул расчета оптической силы ИОЛ при гиперметропии высокой степени

В большинстве работ по анализу формул при расчете оптической силы ИОЛ на глазах менее 22,0 отмечают увеличение риска ошибки в расчете [32,

71, 101]. Вероятность попадания в рефракцию цели составляет 57% [12]. Увеличивается разброс значений планируемой послеоперационной рефракции с использованием разных формул [86].

Отмечается большое разнообразие значений MAE (средняя абсолютная погрешность) при расчете ИОЛ с использованием формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, Holladay II, SRK/T, Barrett Universal, Super Formula в глазах менее 22,00 мм. В глазах с аксиальной длиной более 22,00мм показатели MAE были сопоставимы [67].

К.Ж. Hoffer, проводя анализ за последние 50 лет, указывает на возможные ошибки в расчете оптической силы ИОЛ в глазах с «короткой» передней-задней осью, связанные с мелкой передней камерой и большим показателем кератометрии роговицы, а также отсутствие возможности производить ИОЛ свыше +30,0 Дптр с шагом менее 1,0 Дптр. Автор приходит к заключению, что формулы Hoffer Q, Haigis, Holladay 2 наиболее оптимальны при «коротких» глазах [105]. Эффективность формулы Hoffer Q подтверждается и при ее применении у пациентов с микрофтальмом [47].

Несколько исследований выявили закономерность, что при расчете оптической силы ИОЛ на глазах менее 22,0 мм, показатель предполагаемой ошибки (ME) отклоняется в сторону миопии при использовании всех доступных формул [67, 78].

При анализе данных сравнения формул в глазах с «короткой» аксиальной длиной возможны затруднения. Используемая для групп сравнения MAE колеблется в зависимости от применения ультразвукового или оптического способов измерения параметров глаза. Необходимо учитывать используемые константы: были ли они ранее оптимизированы, кастомизированы и применительно к каким параметрам глаза выполнена оптимизация, т.к. известно, что при дальнейшем укорочении глаза менее 22, 0мм на каждый миллиметр разброс итоговых значений увеличивается [71].

Кроме того, в сравнение включаются новые формулы, что требует уточнения их расчетной точности. Ухудшает ситуацию и объем исследуемого

материала – количество глаз в представленных выборках невелико, что обусловлено низкой частотой встречаемости глаз с аксиальной длиной 22,0 мм и менее.

Основные работы, имеющие наибольшую достоверность, представлены в таблице №1 [183].

Необходимо отметить, что во всех работах используется метод авторефрактометрии для оценки сферозэквивалента, который хоть и не лишен недостатков, но более аккуратен в измерении, позволяя нивелировать ошибки и погрешности при субъективной оценке рефракции [88, 144].

Таблица №1. Сводные данные публикаций об особенностях расчета оптической силы ИОЛ на глазах с короткой передне-задней осью.

Автор	Год	N	Длина глаза. В\U	ИОЛ	Haigis (MAE)	Hoffer Q (MAE)	Holladay (MAE)	Holladay II (MAE)	T 2 (MAE)	SRK\T (MAE)	Olsen (MAE)	Barrett Un. II (MAE)	Hill- RBF (MAE)	Kane (MAE)
Gavin, Hammond	2008	41	20.29 - 21.96 B	MA -60 Allergan	-	0.61	-	-	-	0.87	-	-	-	-
Terzi et al.	2009	19	20.13 - 21.97 B	sn60at, AR40e	0.34	0.42	-	0.38	-	0.43	-	-	-	-
Eom et al.	2014	75	20.32 - 21.99 B	Acrysof IQ	0.46	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-
Roh et al.	2011	25	20.41 - 21.94 B	Sensar, MI-60, Tecnis	0.37	0.62	-	-	0.56	0.53	-	-	-	-
Aristodemoe et al.	2011	608	20.00 - 22.00 B	SoftPort AO, Akreos Fit	-	0.46, 0.76-0.5	0.6-0.45, 0.67-0.48	-	-	0.45-0.46, 0.97-0.43	-	-	-	-
Srivannaboon et al.	2013	15	менее- 22.00 B	PY-60 AD	0.44	0.42	-	0.44	-	-	-	-	-	-
Day et al	2012	163	19.23 - 21.98 B	Adapt AO, L302-1, PY60AD	0.82	0.62	0.66	-	-	0.91	-	-	-	-
Carifi et al.	2015	28	18.41 - 20.64 B	SN60AT	1.03	0.95	1.09	0.82	2.02	1.34	-	-	-	-
Kane et al	2016	156	менее 22.00 B	SN60WF	0.473	0.499	0.453	0.466	0.459	0.458	-	0.469	-	-
Franzco et al	2018	21	21.01-22.00 B	SN60WF	-	0.45	-	0.52	-	0.44	-	0.43	-	-
Cooke et al	2016	41	20.87-22.01 IOL-master	SN60WF	0.407	0.483	0.389	0.443	0.394	0.402	0.458	0.392	-	-
Cooke et al	2016	41	20.84-22.00 Lenstar 900	SN60WF	0.390	0.500	0.397	0.437	0.407	0.407	0.322	0.338	-	-
Samadony et al	2017	40	20.05-21.98 ИОЛ-мастер	Данных нет	0.47	0.87	-	-	1.70	1.38	-	-	-	-
Tang et al	2020	16	Менее 22.00 Lenstar	SN60WF	-	-	-	0,512	-	-	-	0,535	0,502	-
Connell et al	2019	46	IOL-master	SN60WF	0,472	0,476	0,438	0,483	-	-	0,442	0,479	0,440	0,441
Gokce et al	2017	86	Lenstar LS900 18,80-22,0	SN60WF SN60AT ZCB00	0,42	0,40	0,38	0,36	-	-	0,41	0,39	0,37	-
Darcy et al	2020	766	IOL-master <22,00mm	SN60AT Akreos Adapt C-flex Aspheric Superflex aspheric	0,486	0,478	0,461	0,458	-	0,492	0,459	0,493	0,470	0,441

B – неизвестный оптический биометр;

U – ультразвуковой метод измерения;

(-) - в исследование не включены.

MAE (средняя абсолютная погрешность) отображает среднее значение от всех абсолютных погрешностей прогноза в когорте (без учета знака).

При использовании ультразвуковых методов измерения получены следующие данные: E. Ramawat с соавт. исследовали эффективность формул SRK-T, Holladay 1, Hoffer Q при длине глаза менее 22,0 мм. Группе из 90 человек проводили определение длины глаза с использованием ультразвуковой биометрии, ИОЛ константы при этом были оптимизированы. Авторы выявили отсутствие статистических различий между тремя формулами, но при этом отмечена большая эффективность формулы Hoffer Q и меньшая - SRK-T [148].

D. Doshi с соавт. провели исследование точности формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 1 и SRK/T при длине глаза менее 22,0 мм. В 40 глазах использовали ультразвуковое исследование для измерения длины и глубины передней камеры. В работе отмечен схожий показатель MAE при использовании формул Hoffer Q, Holladay 1 и SRK/T и меньшая точность при применении формулы Haigis [74].

С началом применения оптической биометрии итоговые значения изменились. G. Carifi с соавт. проводили исследование 28 глаз менее 22,0 мм по выявлению эффективности формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, Holladay II, SRK/T, SRK-II. Наименьшая MAE зарегистрирована у формулы Hoffer Q, в то время как SRK-II была наименее точна [62].

A.C. Day с соавт. в работе по сравнению формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 1 и SRK/T у 97 пациентов (163 глаза менее 22,0 мм.) получили наименьшую MAE, применяя формулу Hoffer Q, при этом использовали стандартные ИОЛ константы. Кроме того, отмечена связь с увеличением MAE во всех формулах при уменьшении длины глаза и возрастании оптической силы ИОЛ [71].

Y.R. Roh с соавт. из Кореи провели исследование с использованием биометра и оценки эффективности формул Hoffer Q, Haigis, SRK/T, SRK-II на 25 глазах менее 22,0 мм. Результаты показали эффективность формулы Haigis. Авторы не сравнивали свои результаты с другими работами, где подтверждается эффективность формулы Hoffer Q. Высказано предположение,

что источником неточности работы могут быть неоптимизированные константы и небольшой объем данных [155].

D.L. Cooke указывает на высокий показатель MAE при использовании формулы Olsen на «коротких» глазах, в сравнении с формулами Hoffer Q, Haigis, Holladay 1, Holladay II, SRK/T, Barrett Universal, Super Formula. Наихудший результат MAE показан для формулы Hoffer Q [67].

T.V.R. Franzco с соавторами оценивали эффективность появившихся формул Barrett Universal и Hill-RBF по сравнению с формулами Hoffer Q, Holladay II, SRK/T. Основную группу (21 глаз менее 22,0 мм) в диапазоне от 21,01 мм до 22,0 мм исследовали с использованием оптического биометра ZEISS IOL Master (Carl Zeiss, Германия), применены оптимизированные константы. Получено минимальное значение MAE для формулы Hill-RBF, далее следовала формула Barrett Universal, вместе с тем значимой разницы между двумя результатами не выявлено. В группе сравнения с длиной глаз от 22,0 мм до 27,84мм подтверждена эффективность формулы Barrett Universal II [86].

J.X. Kane с соавторами получили наименьший показатель MAE в глазах менее 22,0 мм (156 глаз) при использовании формулы Holladay 1, при этом авторы отметили, что проведенное сравнение с другими формулами Hoffer Q, Haigis, Holladay II, SRK/T, T2, Barrett Universal II не выявило статистически значимых отличий [116].

Часть работ была сфокусирована всего на двух формулах, по мнению авторов, наиболее оптимальных для «коротких» глаз.

Y. Eom с соавт. проводили сравнительный анализ двух формул для глаз с аксиальной длиной менее 22,0 мм (Hoffer Q и Haigis). Различие на 75 глазах (75 пациентов) определено для глубины передней камеры. Определено, что при глубине передней камеры более 2,40мм не наблюдалось статистически значимой разницы между двумя формулами, но при уменьшении глубины

передней камеры глаза, эффективность формулы Haigis была значимо ниже [77].

Е.А. Gavin с соавт. провели сравнение эффективности формул Hoffer Q и SRK/T на глазах менее 22,0 мм (41 глаз, 41 пациент), используя оптимизированные константы. Результаты подтвердили эффективность формулы Hoffer Q [89].

Р.Е. MacLaren с соавт., определив эффективность формулы Haigis при высокой гиперметропии, в сравнении с Hoffer Q. Замечен небольшой эффект сдвига послеоперационной рефракции в сторону гиперметропии при формуле Haigis и в сторону миопии в случае использования Hoffer Q. Также авторы предлагают применять различные формулы не только по отношению к длине глаза, но и при разных моделях ИОЛ. Так, ИОЛ с открытой гаптикой показывают лучший результат с формулой Haigis, а с «plate-haptic» - Hoffer Q [128].

Одной из самых крупных работ по сравнению формул было исследование Р. Aristodemou с соавт. по сравнению эффективности формул Hoffer Q, Holladay 1, SRK/T при длине глаза менее 22,0 мм, при этом 608 глаз разделены на группы 20,0 мм - 20,99 мм (50 глаз), 21,0 мм - 21,49 мм (119 глаз), 21,50 мм - 21,99 мм (429 глаз). Использовали данные, полученные при помощи оптической биометрии, оптимизированные константы и две модели ИОЛ. Авторы указывают наименьший показатель MAE у формулы Hoffer Q в группе с наименьшей аксиальной длиной и сравнимые результаты формул Hoffer Q, Holladay 1 в остальных группах [50].

Единственный мета-анализ для «коротких» глаз был проведен Q. Wang с соавт. , в который включили формулы Hoffer Q, Haigis, Holladay 1 Holladay II, SRK/T, SRK II. Авторами были определены жесткие границы включения: неосложненная хирургия катаракты или рефракционная замена хрусталика, наличие указанных формул в исследовании, измерение глаз, выполненные только на оптическом биометре, наличие расчетов MAE, отсутствие глазных

заболеваний, влияющих на рефракцию. Мультифокальные ИОЛ, торические ИОЛ, ИОЛ имплантированные вне капсулы хрусталика и смешанная фиксация ИОЛ являлись условием исключения. Отобрано 10 исследований, совокупность которых указывала на эффективность формулы Haigis, но также отмечали отсутствие достоверного преимущества формулы Haigis над Holladay II [183].

K.S. Tang с соавт. выявили отсутствие статистической значимости среди формул Holladay 2, Barrett Universal II, and Hill-Radial Basis Function (Hill-RBF) применительно к глазам с длинной короче 22,0 мм [175].

В работе В.J. Connell и J.X. Kane также не было выявлено превалирования эффективности одной из формул (Kane formula, Hill-RBF V.2.0, Holladay 2, Olsen, Barrett Universal 2, Haigis, Holladay 1, Hoffer Q, SRK/T) в группе пациентов с передне-задней осью глаза менее 22,0 мм. Тем не менее, авторы отметили наименьший показатель средней абсолютной ошибки для формул Kane и Olsen [65].

S.E. Gokse с соавт., определили отсутствие значимой разницы между формулами Hill-RBF V.2.0, Holladay 2, Olsen, Barrett Universal 2, Haigis, Holladay 1, Hoffer Q применительно к «коротким» глазам ($21,53 \pm 0,56$) [90].

Батьков Е.Н. с соавт., сравнивая попарно формулы Haigis, Hoffer Q, Holladay I, SRKII, SRK/T, выявили высокую эффективность в точности расчета формул Haigis и Hoffer Q и отсутствие достоверной разницы между указанными формулами при определении среднеарифметической прогнозируемой ошибки, также была показана неэффективность использования формулы SRK II. Вместе с тем в работе исследована небольшая выборка пациентов: 13 имплантаций с оптической силой ИОЛ не менее 40 диоптрий [5].

Схожие результаты были получены и в работе M.A.EI. Samadony с соавторами. Исследованы 40 глаз 26 пациентов с аксиальной длиной менее 22,0 мм. Оценивая точность формул Haigis, Hoffer Q, SRKII, SRK/T, наименьшее значение MAE показано для формулы Haigis, наихудший показатель - для формулы SRK II [158].

Необходимо отметить, что для формула SRK II показан наихудший результат и не все авторы не рекомендуют ее к клиническому применению [68].

K. Darcy с соавт., получили достоверное преимущество формулы Kane в сравнении с Holladay I, Holladay II, Olsen, Hill 2.0, Barrett, Hoffer Q, Haigis, SRK/T. Кроме того, было отмечено что формулы Holladay II, Olsen, Holladay I, Hill 2.0 были достоверно точнее формул Barrett, SRK/T, Haigis, при попарном сравнении [70].

Несмотря на получаемые отличия в рефракционных результатах при использовании разных формул, существуют работы, отрицающие статистически значимое отличие большинства формул, в том числе и для глаз с аксиальной длиной менее 22,0 мм. Данные положения являются дискуссионными [50, 135].

Возникшее предположение о возможном улучшении качества расчета оптической силы ИОЛ с использованием интраоперационной aberromетрии в сравнении с традиционной предоперационной диагностикой с использованием оптической биометрии не показало достоверных различий в результатах этих двух методов в применении к «коротким» глазам, с применением формул Hoffer Q, Haigis, Holladay 2, Barret Universal II, Hill-RBF [174].

1.5. Оптимизация констант ИОЛ

Высокий послеоперационный рефракционный результат зависит от использования оптимизированных констант и правильно выбранной формулы для расчета ИОЛ [53].

Впервые о необходимости оптимизировать константы ИОЛ заявил J. Retzlaff, что связано с использованием для расчета A-константы в формуле SRK метода регрессионного анализа, который в свою очередь требует большого объема ретроспективной оценки ранее прооперированных пациентов [151].

Также определены правила оптимизации: использование идентичных ИОЛ от одного производителя, результаты от одного хирурга, одинаковая техника хирургии хрусталика и имплантации ИОЛ, идентичное оборудование для измерения параметров глаза. Кроме того, рекомендуется не включать в анализ пациентов с большим отклонением от целевой рефракции, т.к. это может повлиять на точность перерасчета констант [104].

P. Aristodemou и соавт. указывает на необходимость оптимизации констант для ИОЛ, что приводит к снижению показателя MAE, но, в тоже время, это исследование указывает на отсутствие статистически значимых отличий в кастомизации констант при использовании современной техники факоэмульсификации катаракты [52]. Тем не менее, в случае систематической погрешности в $\pm 0,15$ дптр необходимо выполнить кастомизацию константы [51].

В большинстве случаев для начала имплантации ИОЛ необходимо использовать уже оптимизированную константу с Интернет-ресурса ULIB. User Group for Laser Interference Biometry (ocusoft.de), что позволяет избежать очевидных ошибок, связанных с константами, определенными производителем ИОЛ, которые зачастую основаны на ультразвуковом исследовании глаза [177].

Математические расчеты с использованием функции оптики Гаусса показывают, что при «идеальных» условиях (измерения параметров глаза, расчета ИОЛ, хирургической техники) оптимизация констант позволяет в два раза увеличить точность расчета при средней рефракционной ошибке $\pm 1,0$ Дптр и повысить эффективность расчета на четверть при средней рефракционной ошибке $\pm 0,5$ дптр [95].

Несмотря на необходимость учета показателя одной константы для расчета констант для других видов формул, объемы выборки, ранее прооперированных глаз для оптимизации, различаются: от 30 глаз для формулы SRK/T, 86 глаз для Hoffer Q, 250 глаз – Holladay I, до 1000 глаз в формуле Haigis, где применены три вида констант, что ставит под сомнение практическую эффективность подобных вычислений [52, 93, 96].

На сегодняшний день существует единое мнение, что оптимизация констант становится сложнее для глаз с «нестандартными» пропорциями переднего и заднего отрезков, например в глазах короткой аксиальной длиной [110, 120].

S. Norrby утверждает, что кастомизация констант ИОЛ уменьшит систематические ошибки при расчете, но полностью не ликвидирует их применительно к глазам с аксиальной длиной менее 22,0 мм. Персонализированные константы влияют лишь на незначительную часть ошибок, коррекция которых не даст положительного результата при игнорировании основных показателей: точности расчета эффективной позиции ИОЛ, оценки послеоперационной остроты зрения, длины глаза, размера зрачка и др. [137].

Тем не менее, при необходимости, оптимизировать константы для коротких глаз нужно отдельно от глаз со средней длиной [5, 106, 176]. Кроме того, следует формировать подгруппы коротких глаз с учетом уменьшения длины глаза на каждый миллиметр, различной глубины передней камеры, рефракции роговицы [32]. Подобная кастомизация констант может быть затруднена, принимая во внимание, распространенность глаз с длиной глаза менее 22,0 мм.

P. Aristodemou, исследуя влияние оптимизированных констант на величину получаемой диоптрии ИОЛ в формулах третьего поколения, отмечал незначительное изменение оптической силы ИОЛ, при этом замечено, что при длине глаза менее 21,0 мм и более 26,0 мм показатели констант варьировали в больших пределах [50]. На константу также влияет и радиус кривизны роговицы, увеличивая ее значение при плоской роговице и уменьшая при более крутой [76].

S. Charalampidou с группой авторов из Ирландии, проведя персонализацию ИОЛ констант для формулы Haigis на 248 глазах, подтвердили необходимость персонализации именно в глазах с аксиальной длиной менее 22,0 мм. В глазах с аксиальной длиной от 22,0 мм и более не отмечали

статистически значимых отличий в уменьшении MAE после операции в сравнении с расчетом не оптимизированных констант [63].

Осуществление поправок к расчетам оптической силы ИОЛ ограничены диоптрийными возможностями самих ИОЛ, как правило производители предлагают ИОЛ с шагом в 0,5 дптр, подразумевая диоптрийное колебание $\pm 0,3$ дптр для ИОЛ от 15,0 дптр и ниже; $\pm 0,4$ дптр для ИОЛ от 15,0-25,0 дптр; $\pm 0,5$ дптр для ИОЛ 25,0 – 30,0 дптр и $\pm 1,0$ Дптр для ИОЛ более 30,0 дптр, что ограничивает возможность получения более высокого зрительного результата [49]. Важно учитывать и диоптрийное колебание при изменении температуры ИОЛ и погрешности в изготовлении ИОЛ при диоптрии более 20,0 дптр [102].

В тоже время, ряд исследований утверждают, что необходимость кастомизации констант ИОЛ в большей степени связано с различиями и особенностями оборудования для биометрии, чем в технических особенностях самих ИОЛ [138].

Для пациентов, у которых, несмотря на предпринятые попытки получить запланированный результат, не был достигнут ожидаемый рефракционный результат и после проведения тщательного анализа ошибки расчета не найдено, возможно использовать поправку для хирургии парного глаза с учетом уже полученной ошибки [49].

Показано, что необходимо модифицировать константы для разных формул на основании получаемых послеоперационных результатов для глаз с разными анатомическими данными (длиной глаза, кератометрией, глубиной передней камеры) [32]. Применительно к коротким глазам требуется уточнение константы на каждый миллиметр уменьшения длины глаза [32].

1.6. Особенности хирургии хрусталика в глазах с аксиальной длиной менее 22,00 мм

Несмотря на попытки консервативного воздействия на хрусталик [19], в современной офтальмологии факоэмульсификация катаракты является эффективным методом экстракции хрусталика [24]. Послеоперационная рефракция пациента напрямую зависит от различий в операционной технике хирурга, его практического опыта и качества предоперационной диагностики [46, 62, 94, 106, 123, 149].

Хирургия хрусталика на глазах менее 21,0 мм остается на сегодняшний день одной из самых трудных и сложных в отношении послеоперационного прогноза. Современные технологии катарактальной хирургии облегчают данную задачу, но полностью не минимизируют существующие риски [36, 61, 72, 73, 114, 157, 170].

А.С. Day с соавт., подводя итоги факоэмульсификации хрусталика на глазах менее 20,00 мм у 63 пациентов (103 глаза), регистрируют осложнения в 15,5% случаях (дефект связок хрусталика, увеиты, злокачественная глаукома, хориоидальная эффузия и т.д.). В результаты показано, что риск развития осложнений увеличивается в 4 раза при длине глаза менее 20,5 мм (по сравнению с группой более 21,0 мм), в 15 раз – при длине глаза менее 20,0 мм и в 21 раз при длине глаза менее 19,0 мм [72].

Высокий риск осложнений связан с особенностью строения глаза «коротких» глаз: укорочение передне-заднего размера глаза, изменение соотношения структур переднего отрезка глаза, уменьшение диаметра роговицы, уменьшение глубины передней камеры глаза, увеличение толщины хрусталика, непропорциональное строение цилиарного тела [11, 106, 150, 167], глаз располагается глубже в самой орбите, веки имеют меньшую глазную щель [106].

Необходимо учитывать, что раздражение рецепторов радужной оболочки, при выполнении интраокулярных вмешательствах, может вызвать реактивный

синдром, сопровождающийся спазмом сфинктера и цилиарной мышцы, повышением проницаемости сосудистой стенки, кровенаполнением сосудов глаза и резким повышением внутриглазного давления [11].

Подобная «компактная» структура самого глаза и орбиты вызывает сложность как с хирургическим доступом, так и с манипуляциями в передней камере глаза при экстракции хрусталика [79, 136]. В отдельных случаях, отсутствие возможности манипулировать в условиях узкого пространства передней камеры заставляло переходить хирурга на экстракапсулярную экстракцию хрусталика [191].

Тем не менее, отдельные исследования подтверждают уменьшение частоты осложнений и высокую эффективность факоэмульсификации хрусталика глаза в сравнении экстракапсулярной экстракцией хрусталика [30, 79, 125, 191]. Анализ группой хирургов из Великобритании 39 операций на глазах размером менее 20,9 мм, отмечали низкий уровень интраоперационных и послеоперационных осложнений [61].

Современная техника факоэмульсификации хрусталика включает в себя формирование роговичного тоннельного самогерметизирующегося доступа в переднюю камеру глаза, как правила, в верхнем сегменте роговицы (рисунок1) [8].

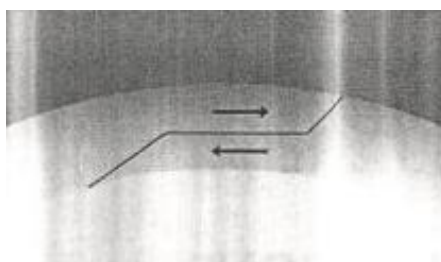


Рисунок 1 - Профиль самогерметизирующегося роговичного тоннельного разреза.

При выполнении переднего непрерывного капсулорексиса, осложненного в маневрировании инструментом в условиях ограниченного пространства [79, 106, 136]. На этапе факофрагментации ядра хрусталика, возникают сложности с использованием факочоппера в условиях узкого пространства передней

камеры. И вероятно, необходимо отдать предпочтение техникам разлома ядра на основе «Crack and Cram» (рисунок 2) [44].



Рисунок 2 - Техника «Crack and Cram».

Мелкая передняя камера, большая толщина хрусталика, может приводить к развитию первичной закрытоугольной глаукомы [127, 130].

Хирургия хрусталика, в условиях функционального блока угла передней камеры, позволяет компенсировать анатомические особенности данного типа глаз: углубить переднюю камеру глаза, открыть угол передней камеры глаза, что предотвращает риск развития заболевания [36]. К.Б. Першин в своей работе показал, что экстракция хрусталика при сочетании короткого глаза и первичной закрытоугольной глаукомы является патогенетическим методом лечения, который позволяет нормализовать внутриглазное давление в 96% случаев, а, при подозрении на закрытоугольную глаукому с короткой передне-задней осью, полностью предотвратить развитие патологического процесса глаукомной нейропатии [30].

Тем не менее, антиглаукомные вмешательства после экстракции хрусталика могут потребоваться, в том числе и по поводу злокачественной глаукомы [72, 114, 172, 189].

В глазах с длиной менее 20,0 мм существенно увеличивается риск осложнений пролапса радужной оболочки, кистозного макулярного отека, увеита, экспульсивного кровотечения, рецидивирующего отека роговицы, отслойки сетчатки, злокачественной глаукомы [59, 71, 72, 172].

При хирургии «коротких» глаз актуален риск развития отслойки сосудистой оболочки [72, 172], что, вероятно, связано с нарушением

коллагеновых волокон склеры, изменением уровня глюкозаминогликанов и фибронектина, что приводит к утолщению склеры и компрессии вортикозных вен [31, 173, 178].

Необходимо учитывать, что при сочетании «короткого» глаза, мелкой передней камеры и закрытоугольной глаукомы возможна ассоциация с эндотелиальной дистрофией Фукса, что может потребовать выполнения задней послойной кератопластики одномоментно или в отдаленном послеоперационном периоде [145].

Кроме того, «короткие» глаза зачастую требуют использования изготовленных индивидуально ИОЛ, учитывая, что стандартное предложение от ведущих производителей ограничено 40,0 дптр с шагом в 1,0 дптр [42]. Для увеличения диоптрийной силы также применяется “Piggy-back” методика имплантации ИОЛ [32].

Таким образом, прогресс в хирургии заболевания хрусталика направлен в сторону усовершенствования диагностического оборудования и стандартизации-синхронизации различных видов биометров, увеличения количества переменных в формулах для расчета оптической силы ИОЛ, дальнейшая стандартизация диоптрийности в производстве ИОЛ, необходимости разработки единой формулы для расчета оптической силы ИОЛ на основе искусственного интеллекта с возможностью ее постоянного доступа к огромному массиву данных предоперационного исследования глаз и послеоперационной оценки результатов [168]. Ведение пациентов с аксиальной длиной менее 22,0 мм остается вызовом для офтальмохирургов, с учетом имеющихся сложностей при выборе ИОЛ и осложнениях хирургического вмешательства. Имеющиеся формулы для расчета оптической силы ИОЛ нуждаются в корректировке для данной группы пациентов.

ГЛАВА II МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая характеристика пациентов и методика проведения исследования

Исследование основано на ретроспективном анализе медицинских карт 134 пациентов (199 глаз), которым была выполнена факэмульсификация катаракты или рефракционная ленсэктомия с имплантацией ИОЛ в офтальмологических клиниках «Эксимер». Средний возраст пациентов составил $61,3 \pm 5,6$ лет (от 27 до 88) лет (рисунок 3). В общей группе пациентов женщины составили 57,5% (n=77), мужчины - 42,5% (n=57).

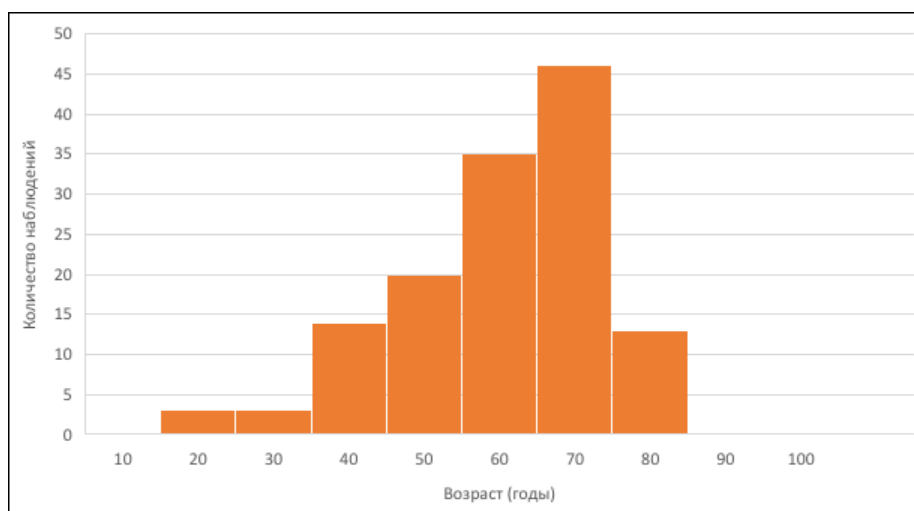


Рисунок 3 - Распределение общей группы пациентов по возрасту

В соответствии с целью работы и поставленным задачам все исследуемые были разделены на представленные далее группы.

Группа I.

Данную группу составили пациенты с аксиальной длиной глаза от 18,54 мм до 20,0 мм ($19,6 \pm 0,42$). В нее вошли 30 пациентов (52 глаза), которым была выполнена факэмульсификация катаракты или рефракционная ленсэктомия. Рефракционная ленсэктомия была выполнена в 40,3% (n=21) случаев, в 59,7%

(n=31) – факоэмульсификация катаракты. Женщины составили 56,7% (n=17), мужчины 43,3% (n=13). Средний возраст пациентов составил $58,9 \pm 13,8$ (27-80) лет (рисунок 4).

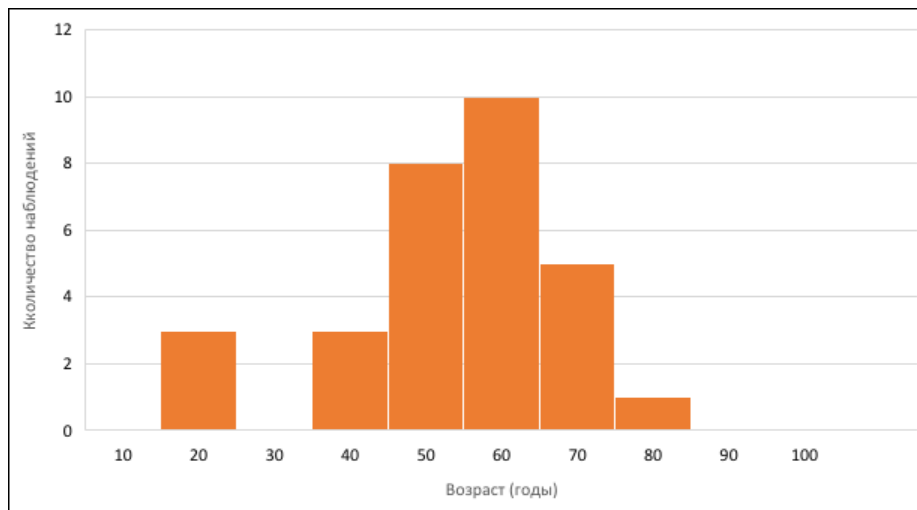


Рисунок 4 - Распределение по возрасту группы пациентов с аксиальной длиной глаза от 18,54 мм до 20,0 мм.

Группа II.

В данную группу были включены пациенты с аксиальной длиной глаза от 20,02мм до 21,98 мм ($21,17 \pm 0,56$), общее количество пациентов составило 56 (81 глаз). Рефракционная лenseктомия была выполнена в 25,9% (n=21) случаев, в 74,1% (n=60) – факоэмульсификация катаракты. Женщины составили 55,3% (n=31), мужчины 44,7 (n=25). Средний возраст пациентов составил $62,3 \pm 13,7$ (36-88) лет (рисунок 5).

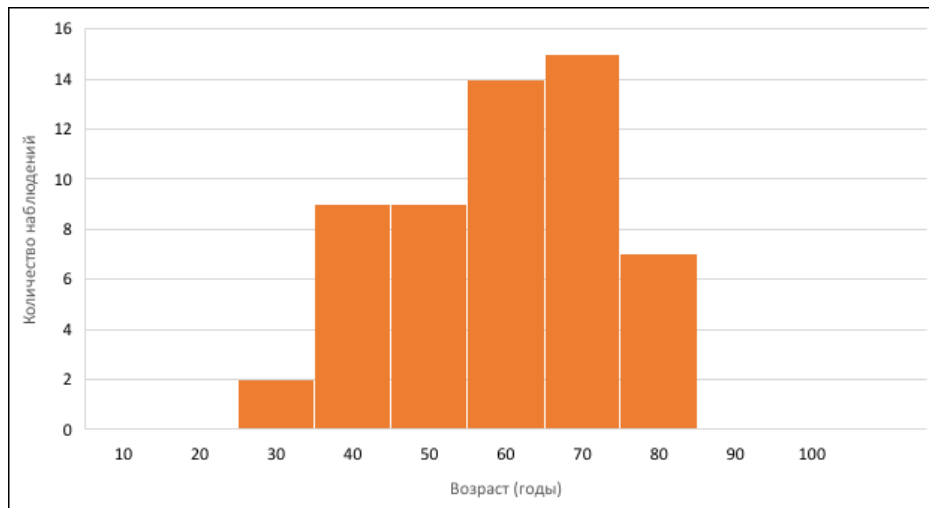


Рисунок 5 - Распределение по возрасту группы пациентов с аксиальной длиной глаза от 20,02мм до 21,98мм.

Группа III. (группа сравнения)

Группу сравнения составили 48 пациентов (66 глаз) со средней аксиальной длиной глаза $22,75 \pm 0,46$ (22,0 – 23,77) мм. Средний возраст пациентов составил $68,6 \pm 9,7$ от 33 до 84 лет (см. рисунок 6). Женщины составили 60,4% (n=29), мужчины – 39,6% (n=19). Рефракционная лenseктомия была выполнена в 13,6% (n=9) случаев, в 86,4% (n=57) – факoэмульсификация катаракты.

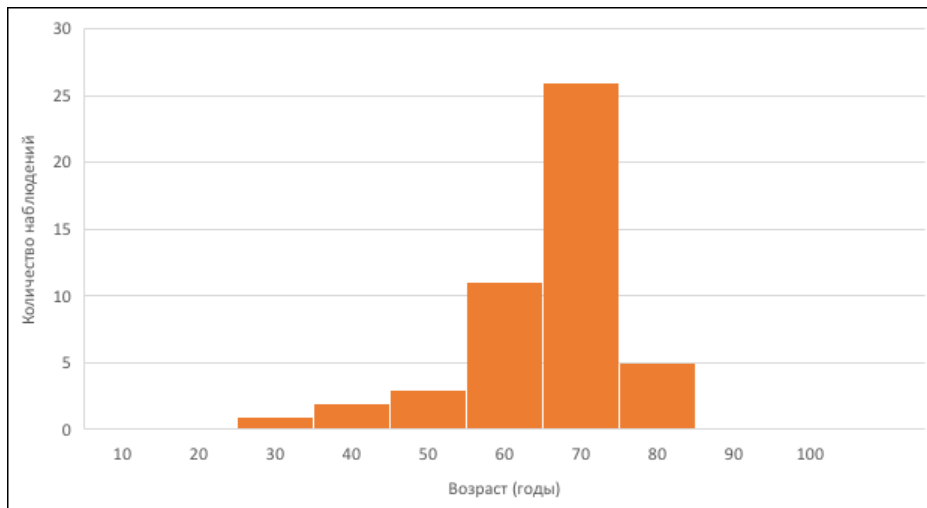


Рисунок 6 - Распределение по возрасту группы пациентов с аксиальной длиной глаза от 22,0 до 23,77мм.

Группа IV.

С целью оценить влияние глубины передней камеры глаза на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с «короткой» аксиальной длиной (менее 22,0 мм), сформирована группа IV, куда были включены исследуемые случаи групп I и II.

Общее количество пациентов составило 86 (133 глаз) с передне-задней осью глаза от 18,54 мм до 21,98 мм ($20,7 \pm 0,9$). Женщины составили 55,8% ($n=48$), мужчины 44,2% ($n=38$). Возрастной диапазон варьировал от 27 до 88 ($61,0 \pm 13,8$) лет.

Группа IV разделена на подгруппы согласно величине глубины передней камеры глаза (ACD). **Подгруппу IVa** ($n=40$) составили пациенты с ACD менее 2,5 мм. В **подгруппу IVb** ($n=49$) включены пациенты с ACD от 2,5 до 2,9 мм. В **подгруппу IVc** ($n=44$) вошли пациенты с ACD более 2,9 мм.

Группа V.

Для оценки влияния кривизны роговицы на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с аксиальной длиной менее 22,0 мм создана группа V, куда были включены пациенты из групп I и II.

Общее количество пациентов составило 86 (133 глаза) с передне-задней осью глаза от 18,54 мм до 21,98 мм ($20,7 \pm 0,9$). Женщины составили 55,8% ($n=48$), мужчины 44,2% ($n=38$). Возрастной диапазон варьировал от 27 до 88 ($61,0 \pm 13,8$) лет.

Разделение на подгруппы проводили согласно средним значениям кривизны роговицы ($(K1+K2)/2 = K_{\text{ср}}$). В подгруппу **Va** ($n=36$) вошли пациенты с $K_{\text{ср}}$ менее 44,00 дптр, в подгруппу **Vb** ($n=60$) – от 44,00 до 46,00 дптр и в подгруппу **Vc** – более 46,00 дптр ($n=37$).

Пациентам всех групп проведено предоперационное обследование, включающее в себя: авторефрактометрию (NIDEK Tonoref III, Nidek Co.Ltd., Япония), определение максимальной не скорректированной и максимальной скорректированной остроты зрения, пневмотонометрию (NIDEK Tonoref III, Nidek Co.Ltd., Япония) при необходимости контрольное измерение внутриглазного давления по Маклакову, компьютерную периметрию (OPTOPOL PTS-1000, OPTOPOL Technology S.A., Польша), кератометрию (NIDEK Tonoref III, Nidek Co.Ltd., Япония), А-В-ультразвуковое сканирование (А-В NIDEK US-4000, Nidek Co.Ltd., Япония), кератотопографию (SIRIUS, С.С.О., Италия), эндотелиальную микроскопию (TOMEY EM-300, TOMEY, Япония), оптическую когерентную биометрию с определением аксиальной длины глаза, кривизны роговицы, пахиметрии, глубины передней камеры, толщины хрусталика, показателя от «белого до белого» (Haag Streit Lenstar LS900, Haag-Streit AG, Швейцария), (ZEISS IOL Master 500, CARL Zeiss, Германия), офтальмоскопию в условиях миопии с использованием высокодиоптрийных линз 70D и 90D, оптическую когерентную томографию (RTVue XR 100-2, Optovue Inc., США). При необходимости имплантации торических моделей ИОЛ использовались данные оптической биометрии,

кератотопографа, кератометрического показателя авторефрактометра с дальнейшим расчетом торической силы ИОЛ при помощи программного обеспечения компании производителя в сети интернет.

Операцию экстракции хрусталика проводили методом факоэмульсификации с использованием микрохирургической системы Stellaris PC (Bausch and Lomb, США). Настройки прибора: высота бутылки – 100-120 см, ультразвук в пульсовом режиме, мощность ультразвука - 30%, вакуум – 500 мм.рт.ст.

Техника операции «Бури и Ломай» состояла в следующем: после выполнения эпibuльбарной (топической) анестезии (трехкратное закапывание анестетика каждые 10 минут), кератомом выполняли предварительный разрез наружного лимба с темпоральной стороны на глубину 150-200 мкм шириной 1,8 - 2,0 мм под углом 30-45°. Далее кератомом выполняли тоннельный разрез параллельно поверхности роговицы на глубине 200-300 мкм шириной 1,8 – 2,5 мм, после чего изменяли угол атаки под 45° и перфорировали переднюю камеру. При выполнении роговичного тоннельного разреза уделяли внимание профилактике опорожнения передней камеры. Два парацентеза выполняли кератомом 1,2 мм на 3-х и 8-и часах для правого глаза и на 9-и и 5-и часах для левого. После вводили раствор анестетика и раствор мезатона 10 мг в полость передней камеры глаза через парацентез. Адгезивным вискоэластиком заполняли 60-70 % объема передней камеры и через основной разрез остаточный объем восполняли тяжелым когезивным вискоэластиком, заполняя им переднюю камеру от противоположного угла к тоннельному разрезу, удаляя остаточную влагу передней камеры (методика «Soft shell»). Капсульным пинцетом в центре передней капсулы формировали насечку, захватив край которой, формировали круглый непрерывный капсулорексис диаметром 4,0-5,0 мм. Гидродиссекцию и гидродилиниацию осуществляли дозированно через основной разрез и парацентезы, периодически восполняя объем передней камеры когезивным вискоэластиком, после осуществляли мобилизацию ядра хрусталика. Факоиглу вводили, в заполненную предварительно когезивным

вискоэластиком, переднюю камеру срезом вниз, в режиме аспирации-ирригации удаляли эпинуклеус и экваториальные хрусталиковые массы под краем переднего капсулорексиса. Факоиглу подводили к верхнему полюсу ядра хрусталика отверстием вниз и на максимальном вакууме и минимальном ультразвуке проникали на глубину 1,5-2,0 мм, постепенно уменьшая ультразвук, оставляя максимальный вакуум. Далее факонаконечник с фиксированным на нем ядром хрусталика смещали в сторону основного (темпорального) разреза, приподнимая экватор ядра с противоположной (назальной) стороны. Факошпателем по Коху через противоположный парацентез смещали передний капсулорексис с носовой стороны, заводя рабочий край инструмента к нижнему полюсу ядра хрусталика. Формирование разлома осуществляли за счет движения инструментов на встречу друг другу в сагитальной плоскости и далее разводили половины ядра движением во фронтальной плоскости друг от друга. Последовательно поворачивали хрусталик, формируя указанным методом разделение ядра на несколько сегментов, удаляя каждый сегмент в плоскости зрачка. В ходе факоэмульсификации переднюю камеру через парацентез восполняли адгезивным эластиком, не удаляя факонаконечник. Через парацентезы выполняли бимануальную аспирацию-ирригацию. Заполняли капсульный мешок когезивным вискоэластиком, имплантировали ИОЛ без расширения основного разреза. Далее проводили тщательную бимануальную аспирацию вискоэластика в передней камере и капсульном мешке. Парацентезы и при необходимости тоннельный разрез герметизировали формированием локального отека сбалансированным солевым раствором. Операцию заканчивали субконъюнктивной инъекцией раствора дипроспана 2,0 мг и ванкомицина 500 мг. (рисунок 7).

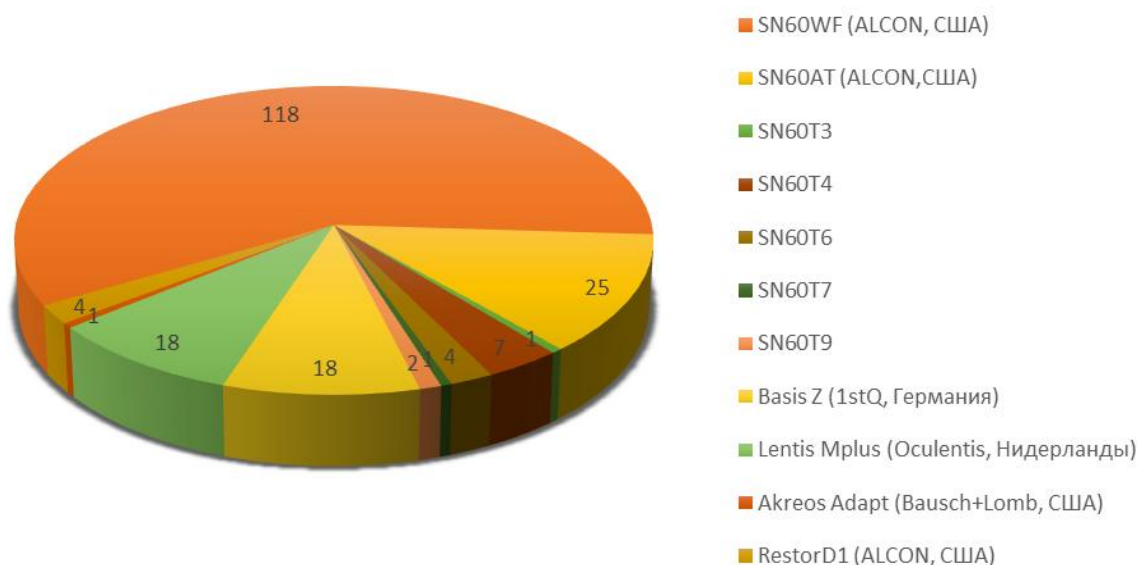


Рисунок 8 - Модели, количество и соотношение имплантированных ИОЛ в общей когорте пациентов

Группы стандартизированы по полу и возрасту. Сравнение между группами I, II, III проводили по следующим параметрам: длина оптической оси глаза, фактическая глубина передней камеры, цилиндрический компонент рефракции, ось цилиндра до операции, показатели кератометрии (K_1 и K_2), острота зрения без коррекции и с коррекцией до операции, целевое и расчетное значение сферического эквивалента, сферический и цилиндрический компонент рефракции, ось цилиндра после операции, острота зрения без коррекции и с коррекцией после операции.

Расчет хирургически индуцированного астигматизма проводили с помощью программы SIA Calculator v.2.1 (http://www.insighteyeclinic.in/SIA_calculator.php), оптимизация констант – с помощью программы Lens Constant Optimizer v. 2.1.

Сравнительные анатомо-возрастные характеристики пациентов из групп I и III представлена в таблице 2, из групп II и III - в таблице 3.

В таблицах приведены средние значения с учетом стандартного отклонения, а также диапазон минимальных-максимальных значений исследуемых параметров.

Таблица 2 - Основные анатомо-возрастные параметры в дооперационном периоде групп I и III

Параметр	Группа I	Группа III	p
Количество пациентов/количество глаз	30/52	48/66	-
Возраст (годы)	27 - 80 58,9±13,8	33-84 68,6±9,7	>0,05
Аксиальная длина глаза (мм)	18,5-20,0 19,6±0,4	22,0-23,8 22,8±0,5	<0,05
Факичная глубина передней камеры (мм)	2,1-3,7 2,8±0,4	1,9 - 4,6 3,0±0,4	>0,05
Сферический компонент рефракции до операции (дптр)	0,5-11 7,5±2,2	-12,0 – 6,0 -0,4±3,1	<0,05
Цилиндрический компонент рефракции до операции (дптр)	-3,0 – 5,5 1,1±1,6	-4,0 – 2,0 -0,4±1,2	>0,05
Ось цилиндра до операции (градусы)	0-179 78,1±62,9	0-179 86,4±52,0	>0,05
Диаметр роговицы (мм) W-to-W	10.90–11.82 11.38±0,40	11,03-12,72 11,81±0,41	>0,05
Толщина хрусталика (мкм)	3,54-5,32 4,69±0,22	3,72-5,50 4,61±0,33	>0,05
Показатели кератометрии до операции K ₁ K ₂	40,1-47,4 44,2±1,8	40,4 - 48,6 44,6±1,4	>0,05
	42,8-48,6 45,4±1,5	41,3 - 49,4 45,2±1,3	>0,05
Период наблюдения (месяцы)	6,0-60,0 12,3±2,9	8,0 – 72,0 14,1±5,5	>0,05

Статистически значимых различий между группами в дооперационном периоде не выявлено, за исключением аксиальной длины глазного яблока (19,6 в группе I и 22,8 в группе III, p<0,05) и сферического компонента рефракции

(7,5 дптр в группе I против -0,4 дптр в группе II, $p < 0,05$), что соответствует критерию разделения на группы в исследовании.

Таблица 3 - Основные анатомо-возрастные параметры в дооперационном периоде групп II и III

Параметр	Группа II	Группа III	p
Количество пациентов/количество глаз	56/81	48/66	-
Возраст (годы)	36 - 88 62,3±13,7	33-84 68,6±9,7	>0,05
Аксиальная длина глаза (мм)	20,0-22,0 21,2±0,6	22,0-23,8 22,8±0,5	<0,05
Факичная глубина передней камеры (мм)	2,1-3,7 2,8±0,3	1,9 - 4,6 3,0±0,4	>0,05
Сферический компонент рефракции до операции (дптр)	1,0-4,0 3,2±0,8	-12,0 – 6,0 -0,4±3,1	<0,05
Цилиндрический компонент рефракции до операции (дптр)	-4,8 – 5,5 0,5±1,7	-4,0 – 2,0 -0,4±1,2	>0,05
Ось цилиндра до операции (градусы)	0-180 94,0±53,2	0-179 86,4±52,0	>0,05
Диаметр роговицы (мм) W-to-W	9,51-12,49 11,73±0,56	11,03-12,72 11,81±0,41	>0,05
Толщина хрусталика (мкм)	3,66-5,51 4,56±0,40	3,72-5,50 4,61±0,33	>0,05
Показатели кератометрии до операции K ₁ K ₂	34,5-48,0 44,3±2,4	40,4 - 48,6 44,6±1,4	>0,05
	35,4-49,1 45,5±2,2	41,3 - 49,4 45,2±1,3	>0,05
Период наблюдения (месяцы)	6,0-64,0 12,8±3,1	8,0 – 72,0 14,1±5,5	>0,05

Статистически значимых различий между группами II и III в дооперационном периоде не выявлено, за исключением аксиальной длины глазного яблока (21,2 в группе II; 22,8 в группе III, $p < 0,05$) и сферического компонента рефракции (3,2 дптр в группе II против -0,4 дптр в группе III, $p < 0,05$), что соответствует критерию разделения на группы в исследовании.

Клинико-функциональные параметры пациентов группы IV, разделенных на три подгруппы, представлены в таблице 4.

Статистически значимых различий между подгруппами группы IV в дооперационном периоде не выявлено, за исключением факической глубины передней камеры ($2,32 \pm 0,12$; $2,7 \pm 0,09$; $3,11 \pm 0,20$; $< 0,05$), что определило разделение пациентов на исследуемые подгруппы.

Клинико-функциональные параметры пациентов группы V, разделенных на три подгруппы, представлены в таблице 5.

Статистически значимых различий между подгруппами группы V в дооперационном периоде не выявлено, за исключением показателей кератометрии K1, K2 и Kср, что определило разделение пациентов на исследуемые подгруппы.

Критерии включения: неосложнённая хирургия хрусталика глаза методом факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ в капсулу хрусталика у пациентов возрастной группы от 18 до 100 лет, предоперационное обследование с применением оптической когерентной биометрии, период наблюдения не менее шести месяцев.

Критерии исключения: шовная фиксации роговичных доступов, послабляющие радиальные и тангенциальные разрезы роговицы, ранее выполненная рефракционная хирургия, интраоперационные осложнения, патология роговицы и иные патологические состояния глаза, влияющие на рефракционные показатели после операции, максимально скорректированная острота зрения после операции ниже 0,3, ранее выполненные операции по поводу глаукомы и отслойки сетчатки.

Таблица 4 - Клинико-функциональные параметры в дооперационном периоде группы IV

Параметр	Подгруппа IVa (n=40)	Подгруппа IVb (n=49)	Подгруппа IVc (n=44)	p
Возраст (годы)	27 - 83 58,9±13,8	27-88 65,1±13,2	28-75 51,1±12,2	>0,05
Аксиальная длина глаза (мм)	18,54-21,96 20,55±0,97	18,56-21,98 20,67±0,98	19,39-21,94 20,81±0,74	>0,05
Факичная глубина передней камеры (мм)	2,05-2,48 2,32±0,12	2,53 - 2,86 2,7±0,09	2,90 - 3,70 3,11±0,20	<0,05
Сферический компонент рефракции (дптр)	-1,5-14,0 3,9±4,7	-0,75 – 11,0 4,7±3,6	-1,00 – 10,0 4,5±4,1	>0,05
Цилиндрический компонент рефракции (дптр)	-1,75 – 4,5 1,1±1,7	-3,0 – 5,50 0,7±1,9	-4,75 – 3,75 0,4±1,4	>0,05
Ось цилиндра (градусы)	0-176 93,0±59,7	0-178 91,2±59,4	0-180 83,1±55,9	>0,05
Показатели кератометрии K ₁ K ₂	34,5-47,3 44,1±3,4	38,2 - 48,0 44,4±2,2	40,3 - 47,2 44,1±1,46	>0,05
	35,4-49,0 45,1±3,2	41,6 - 49,1 46,0±1,7	43,0 - 48,7 45,4±1,4	>0,05
Период наблюдения (месяцы)	6,0-18,0 14,1±2,0	7,0 – 20,0 13,8±1,7	6,0 – 24,0 12,5±2,4	>0,05

Таблица 5 - Клинико-функциональные параметры в дооперационном периоде группы V

Параметр	Подгруппа Va (n=36)	Подгруппа Vb (n=60)	Подгруппа Vc (n=37)	p
Возраст (годы)	27 - 80 56,8±13,1	28-83 59,1±13,5	36-88 68,2±12,6	>0,05
Аксиальная длина глаза (мм)	18,56-21,97 20,47±0,86	19,39-21,98 20,81±0,85	18,54-21,98 20,71±0,98	>0,05
Факичная глубина передней камеры (мм)	2,29-3,31 2,77±0,30	2,14 - 3,64 2,85±0,31	2,05 - 3,70 2,66±0,35	>0,05
Сферический компонент рефракции (дптр)	3,5 – 14 7,5±2,5	-7,0 – 10,0 3,9±4,1	-5,00 – 9,0 2,3±3,1	>0,05
Цилиндрический компонент рефракции (дптр)	-0,5 – 5 1,4±1,5	-4,75 – 2,75 0,14±1,54	-2,25 – 5,5 0,8±1,9	>0,05
Ось цилиндра (градусы)	0-179 80,5±56,2	5-180 88,4±53,4	0-178 97,4±66,3	>0,05
Показатели кератометрии	34,5-43,7 41,7±2,3	42,7 - 45,9 44,4±0,8	44,4 - 48,0 46,4±0,9	<0,05
	35,4-46,6 43,3±2,2	44,5 - 47,4 45,7±0,7	46,2 - 49,1 47,5±0,9	<0,05
	34,9-43,9 42,5±2,1	44,0 - 45,9 45,7±0,6	46,0 - 48,2 46,9±0,7	<0,05
Период наблюдения (месяцы)	7,0 – 22,0 15,2±3,5	6,0 – 24,0 14,1±2,9	6,0 – 20,0 14,0±3,1	>0,05

2.2. Статистическая обработка результатов исследования

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с использованием приложения Microsoft Excel 2010 и статистической программы Statistica 10.1 («StatSoft», США). Проведен расчет среднего арифметического значения (M), стандартного отклонения от среднего арифметического значения ($\pm SD$), минимальных ($\min$) и максимальных ($\max$) значений, размаха вариации R_v (разность $\max - \min$). Для оценки достоверности полученных результатов при сравнении средних показателей использовался t - критерий Стьюдента. При сравнении частот встречаемости признака использовался точный критерий Фишера. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$, доверительный интервал 95%. Отклонение расчетного значения сферического эквивалента от целевого определяли с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) и регрессионного анализа, при этом проводили ретроспективное сравнение отклонения сферического эквивалента при использовании различных формул для расчета ИОЛ. Для оценки различий средних погрешностей применяли тест Kruskal Wallis. Погрешность оценки (E) определяли как разницу между фактической послеоперационной SE в течение шести месяцев наблюдения и прогнозируемой послеоперационной SE. Абсолютную погрешность (AE) определяли как абсолютное значение E . Среднее значение AE рассчитывали для каждой формулы. Различия в средней AE для шести формул были проанализированы, кроме того, оценивали процент глаз с AE в пределах $\pm 0,50$ и $\pm 1,0$ дптр для каждой формулы. Для группы IV также был выполнен расчет, включавший: Среднюю числовую погрешность (MNE), среднюю (MAE) и медианную ($MedAE$) абсолютную погрешность рассчитывали для каждой формулы. Отдельно оценивали процент глаз с MNE в пределах $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр для каждой формулы.

ГЛАВА III РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Анализ точности формул расчета ИОЛ на глазах с аксиальной длиной менее 20,0 мм.

Результаты статистического анализа в группе I представлены в таблице 6. Максимальная средняя погрешность оценки определена для формулы Haigis ($0,88 \pm 0,35$), далее для формулы Olsen, Barrett Universal II, Kane, SRK/T, Holladay 2 и Hoffer-Q ($0,51 \pm 0,12$, $0,16 \pm 0,38$, $0,13 \pm 0,28$, $0,10 \pm 0,59$, $0,05 \pm 0,54$ и $-0,12 \pm 0,42$, соответственно). Схожие данные получены и для средней абсолютной погрешности – для формул Haigis, Olsen, Barrett Universal II, SRK/T, Holladay 2, Hoffer-Q и Kane она составила $0,85 \pm 0,31$, $0,78 \pm 0,25$, $0,21 \pm 0,10$, $0,79 \pm 0,23$, $0,73 \pm 0,24$, $0,19 \pm 0,08$ и $0,17 \pm 0,06$, соответственно, что свидетельствует о преимуществе формул Hoffer-Q, Barrett Universal II и Kane при расчете оптической силы монофокальных ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза менее 20,0 мм (рисунок 9). Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 0,50$ дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 23,1%, 65,4%, 19,2%, 26,9%, 34,6%, 61,5% и 71,2%, соответственно, (рисунок 10) в пределах $\pm 1,00$ дптр – 86,5%, 98,1%, 82,7%, 92,3%, 88,5% и 96,2% и 100%, соответственно (рисунок 11).

**Таблица 6 - Анализ эффективности формул для расчета оптической силы
ИОЛ для глаз с аксиальной длиной менее 20,0 мм**

Значение	Holladay 2	Hoffer-Q	Haigis	SRK/T	Olsen	Barrett Universal II	Kane
Средняя погрешность оценки (дптр)±SD	0,05±0,54	0,12±0,42	0,88±0,35	0,10±0,59	0,51±0,12	0,16±0,38	0,13±0,28
Диапазон погрешности оценки (дптр)	От -1,34 до +1,28	От -1,45 до +1,33	От -0,61 до +2,05	От -1,36 до +1,71	От -0,89 до +1,94	От -1,12 до +1,36	От -1,18 до +1,29
Средняя абсолютная погрешность (дптр)±SD	0,73±0,24	0,19±0,08	0,85±0,31	0,79±0,23	0,78±0,25	0,21±0,10	0,17±0,06
Диапазон абсолютной погрешности (дптр)	От 0,01 до 1,43	От 0,00 до 0,86	От 0,10 до 2,37	От 0,05 до 1,55	От 0,03 до 1,69	От 0,00 до 0,89	От 0,00 до 0,83
Медианная абсолютная погрешность (дптр)	0,54	0,43	0,57	0,50	0,49	0,46	0,43

Аналогичный анализ проведен для группы сравнения III для глаз с нормальной аксиальной длиной (таблицу 7).

Таблица 7 - Анализ эффективности формул для расчета оптической силы ИОЛ для глаз с нормальной аксиальной длиной

Значение	Holladay 2	Hoffer-Q	Haigis	SRK/T	Olsen	Barrett Universal II	Kane
Средняя погрешность оценки (дптр) $\pm$ SD	0,10 $\pm$ 0,12	0,08 $\pm$ 0,19	0,02 $\pm$ 0,05	0,13 $\pm$ 0,09	0,11 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,10	0,04 $\pm$ 0,07
Диапазон погрешности оценки (дптр)	От -0,25 до +0,22	От -0,19 до +0,28	От -0,14 до +0,17	От -0,26 до +0,40	От -0,21 до +0,32	От -0,20 до +0,23	От -0,16 до +0,19
Средняя абсолютная погрешность (дптр) $\pm$ SD	0,23 $\pm$ 0,09	0,29 $\pm$ 0,13	0,15 $\pm$ 0,06	0,19 $\pm$ 0,12	0,16 $\pm$ 0,04	0,12 $\pm$ 0,08	0,10 $\pm$ 0,06
Диапазон абсолютной погрешности (дптр)	От 0,00 до 0,41	От 0,00 до 0,53	От 0,00 до 0,40	От 0,00 до 0,45	От 0,00 до 0,38	От 0,00 до 0,33	От 0,00 до 0,31
Медианная абсолютная погрешность (дптр)	0,20	0,22	0,19	0,12	0,12	0,10	0,09

В отличие от группы I, в группе III для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane получены сопоставимые значения средней погрешности оценки (0,10 $\pm$ 0,12, 0,08 $\pm$ 0,19, 0,02 $\pm$ 0,05,

0,13±0,09, 0,11±0,04, 0,06±0,10 и 0,04±0,07, соответственно). Схожие данные определены и для средней абсолютной погрешности (0,23±0,09, 0,29±0,13, 0,15±0,06, 0,19±0,12, 0,16±0,04, 0,12±0,08 и 0,10±0,06, соответственно) (рисунок 9), что свидетельствует о сопоставимой эффективности всех исследуемых формул для расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с нормальной аксиальной длиной. Процент глаз с АЕ в пределах $\pm 0,50$ дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 100%, 97%, 100%, 100%, 100%, 100% и 100%, соответственно (рисунок 10), в пределах $\pm 1,00$ дптр – 100% для всех исследуемых формул.

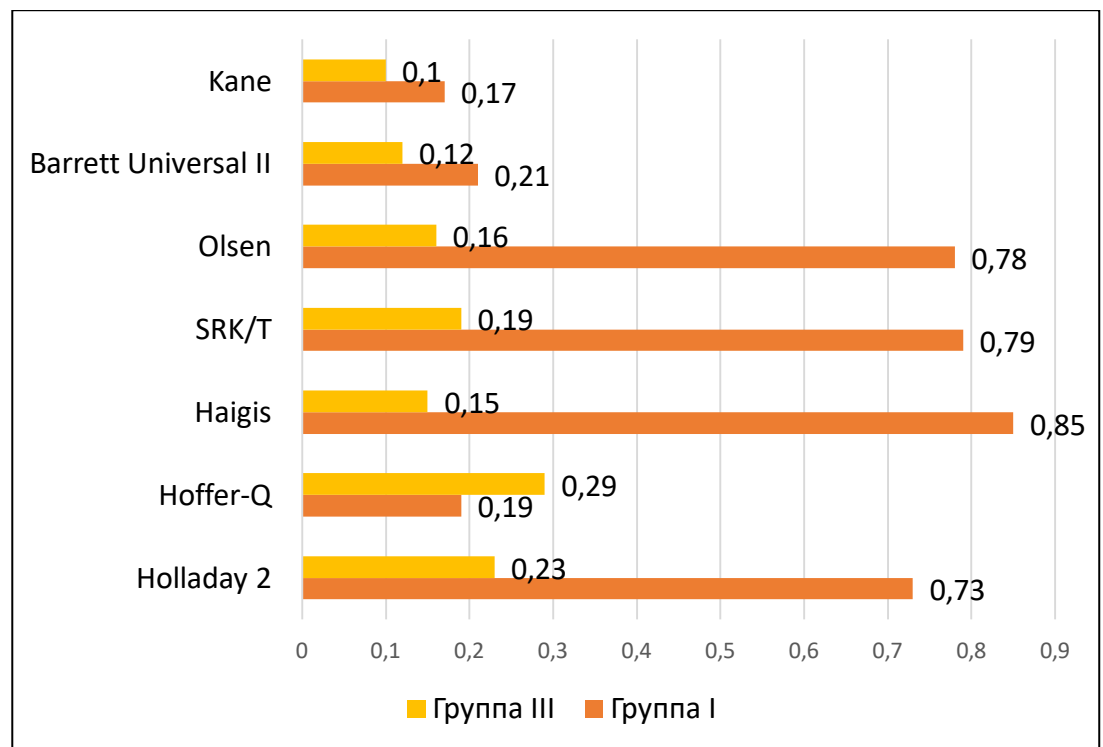


Рисунок 9 - Сравнение значений средней абсолютной погрешности для семи используемых формул в группах I и III

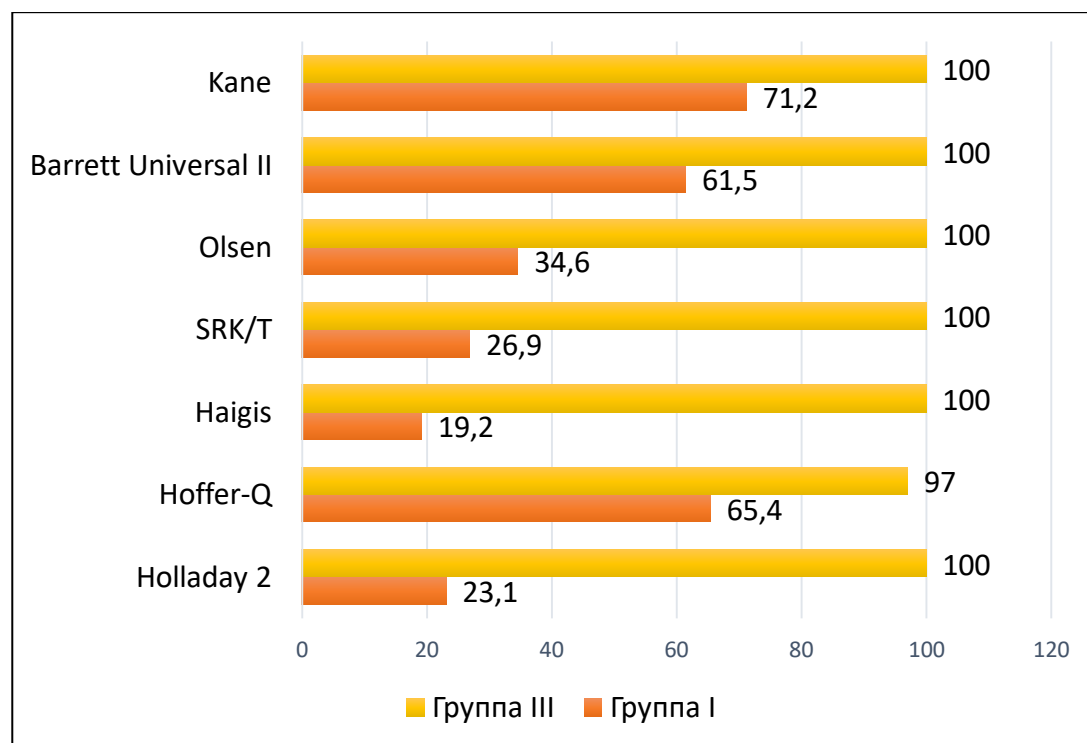


Рисунок 10 - Сравнение показателей абсолютной погрешности в пределах $\pm 0,5$ дптр в группах I и III

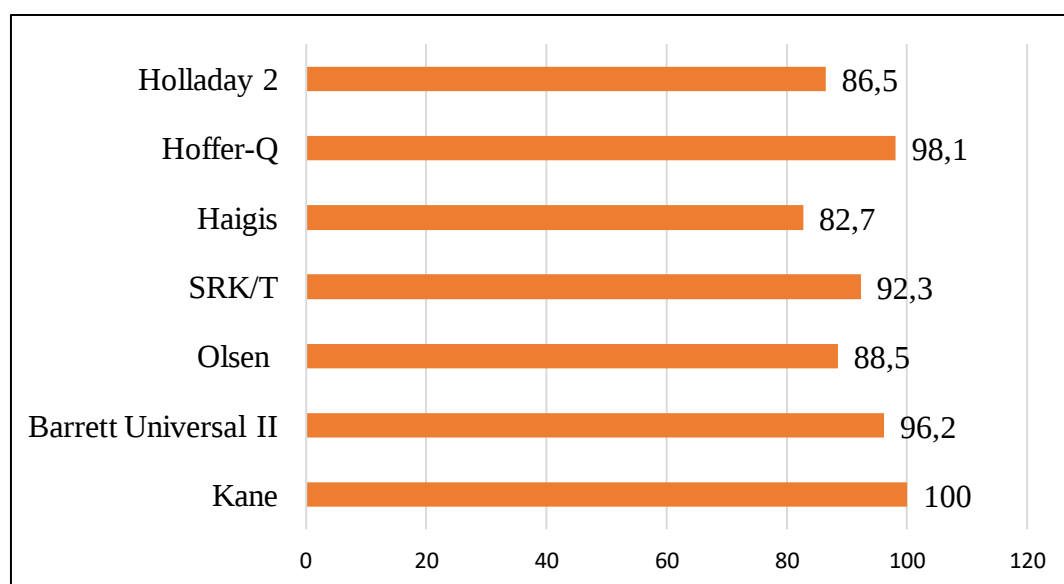


Рисунок 11 - Показатели абсолютной погрешности в пределах $\pm 1,0$ дптр в группе I

После расчета средних значений был проведен попарный анализ с учетом каждой из исследуемых формул отдельно по группам. Результаты группы I представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Сравнений средних величин абсолютной погрешности в группе I

Сравнение MAE	Значение p (тест Kruskal Wallis)
Holladay 2 / Hoffer-Q	<0,05
Holladay 2 / Haigis	>0,05
Holladay 2 / SRK/T	>0,05
Holladay 2 / Olsen	>0,05
Holladay 2 / Barrett Universal II	<0,05
Holladay 2 / Kane	<0,05
Hoffer-Q / Haigis	<0,05
Hoffer-Q / SRK/T	<0,05
Hoffer-Q / Olsen	<0,05
Hoffer-Q / Barrett Universal II	>0,05
Hoffer-Q / Kane	>0,05
Haigis / SRK/T	>0,05
Haigis / Olsen	>0,05
Haigis / Barrett Universal II	<0,05
Haigis / Kane	<0,05
SRK/T / Olsen	>0,05
SRK/T / Barrett Universal II	<0,05
SRK/T / Kane	<0,05
Olsen / Barrett Universal II	<0,05
Olsen / Kane	<0,05
Barrett Universal II / Kane	>0,05

При сравнении формул значимые различия выявлены для формул Hoffer-Q, Barrett Universal II и Kane в сравнении с формулами Haigis, Olsen, SRK/T и Holladay II ($p < 0,05$) во всех случаях, соответственно, что свидетельствует о преимуществе указанных формул для группы пациентов с короткими глазами.

Вместе с тем применение других указанных формул также не приводило к значимой абсолютной ошибке.

При проведении попарного анализа значимых различий между исследуемыми формулами в группе III не выявлено (таблица 9).

Таблица 9 - Сравнений средних величин абсолютной погрешности в группе III

Сравнение MAE	Значение p (тест Kruskal Wallis)
Holladay 2 / Hoffer-Q	>0,05
Holladay 2 / Haigis	>0,05
Holladay 2 / SRK/T	>0,05
Holladay 2 / Olsen	>0,05
Holladay 2 / Barrett Universal II	>0,05
Holladay 2 / Kane	>0,05
Hoffer-Q / Haigis	>0,05
Hoffer-Q / SRK/T	>0,05
Hoffer-Q / Olsen	>0,05
Hoffer-Q / Barrett Universal II	>0,05
Hoffer-Q / Kane	>0,05
Haigis / SRK/T	>0,05
Haigis / Olsen	>0,05
Haigis / Barrett Universal II	>0,05
Haigis / Kane	>0,05
SRK/T / Olsen	>0,05
SRK/T / Barrett Universal II	>0,05
SRK/T / Kane	>0,05
Olsen / Barrett Universal II	>0,05
Olsen / Kane	>0,05
Barrett Universal II / Kane	>0,05

Отдельно проведен анализ средних значений диаметра роговицы (white-to-white) и толщины хрусталика в дооперационном периоде между группами. Статистически значимых различий между группами не выявлено. В группе I

диаметр роговицы составил $11,38 \pm 0,40$ мкм, в группе III - $11,81 \pm 0,41$ мкм ($p > 0,05$).

Отсутствие значимых различий показано и для толщины хрусталика. Так, в группе I данный параметр составил $4,69 \pm 0,22$ мм, а в группе III – $4,61 \pm 0,33$ мкм ($p > 0,05$).

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что учет таких параметров глаза как диаметр роговицы и толщина хрусталика не влияет на точность расчета ИОЛ с использованием указанных формул ни в группе глаз с короткой передне-задней осью, ни в группе контроля с длиной глаза 22,0 -24,0 мм. Полученные данные совпадают с ранее опубликованным исследованием Srivannaboop, S. с соавт. [171].

Определение диоптрийной силы интраокулярной линзы по-прежнему остается сложностью для офтальмологов, несмотря на определенные достижения в прикладной математике и физике. Кроме того, необходимость достижения рефракции цели особенно актуально, если учитывать тот факт, что в 40,3% случаев, обратившихся за медицинской помощью пациентов с высокой гиперметропией, нуждались исключительно в рефракционном вмешательстве, данный факт подтверждается и другими исследованиями [5].

Существуют и трудности в сравнении ранее проведенных исследований, учитывая частоту встречаемости подобной анатомии глаза и необходимость сравнения схожих показателей средней длины глаза, т.к. известно, в случае высокой гиперметропии, даже незначительное изменение показателя длины глаза повлечет за собой существенную ошибку в диоптрийной силе ИОЛ [12, 61, 73, 112, 142].

Большая часть работ по анализу точности расчета ИОЛ на «коротких» глазах, ограничено и количеством наблюдений, и показателем среднего значения длины глаза в данной группе (21,20 – 21,69 мм) [65, 67, 71, 74, 86, 88, 89, 90, 175].

Aristodemou P. и соавт., провели сравнение эффективности расчета ИОЛ с использованием формул Hoffer Q, Holladay I, SRK/T в группе, включавшей 18

глаз со средним показателем длины глаза 20,66 мм. Расчет с использованием оптической биометрии и оптимизированных констант для гидрофильных и силиконовых ИОЛ, показал преимущество формулы Hoffer Q [50].

Меньшее по объему исследование представлено Makoto I. и соавт., (шесть глаз, со средним показателем длины глаза 17,62 мм), где выявлена эффективность формулы SRK/T, но необходимо принять во внимание, что в работе были представлены формулы: SRK, SRK II, S-SRK, SRK/T, Holladay, Hoffer Q [129].

Анализ, представленный Батьковым Е.Н. и соавт., включал 13 наблюдений и среднее значение длины глаза 17,83 мм. Сравнение проводилось между формулами Hoffer Q, Holladay I, SRK/T, Haigis, SRK II. Было выявлено, что формулы Hoffer Q и Haigis имели преимущество и их эффективность достоверно не отличалась друг от друга. При этом формулы Barrett Universal II, Hill-RBF были исключены из исследования, по мнению авторов «...результаты их расчетов были возможно только в наиболее стандартных (длинных) глазах...». Кроме того, результаты ограничены отсутствием показателя средней арифметической погрешности для каждой формулы и, как отмечают сами авторы, на объективность результата могло повлиять использование данных глубины передней камеры глаза, полученных с помощью ультразвуковых аппланационных методов [5].

Разработанная в 1992г на основе тангенциальной функции формула Hoffer Q, показывает стабильно высокий результат, хотя в расчете для определения эффективной позиции ИОЛ используется только две переменных (длина глаза и глубина передней камеры). Тем не менее, именно эта формула показывала наименьшее значение погрешности показателей, при определении эффективной позиции ИОЛ при различных крайних значениях кератометрии, глубины передней камеры глаза и длины глаза [100].

Эффективность формулы Hoffer Q определена и в работе Carifi G. и соавт., где в группе из 28 глаза со средней длиной глаза $19,86 \pm 0,55$ была определена меньшая абсолютная погрешность и больший процент достижения

рефракции цели в сравнении с Holladay I, Holladay II, Haigis, SRK-II, SRK/T [62].

При анализе эффективности методики «Бури и Ломай» определено отсутствие интраоперационных осложнений..

В раннем послеоперационном периоде количество осложнений в группе I было сравнительно небольшим: в двух случаях (6,7%) наблюдалось появление транзиторных складок десцеметовой оболочки, которые не потребовали дополнительного лечения, транзиторная офтальмогипертензия - в двух случаях (6,7%) была купирована назначением местных гипотензивных препаратов.

Факоэмульсификация хрусталика на глазах с длиной менее 20,00 мм сопряжена высоким риском интраоперационных осложнений и осложнений в раннем послеоперационном периоде [72,79,114,125,136,153,172,189,191].

Наиболее часто встречающиеся осложнения представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Частые интра- и ранние послеоперационные осложнения после факоэмульсификации на «коротких» глазах

Автор	Длина глаза	Осложнения
Jung K.I. et al., 2012	19,53мм	разрыв задней капсулы хрусталика (11,7%)
Rewri P. et al., 2017	17,18±1,74 мм	разрыв задней капсулы хрусталика (17,0%)
Lemos J.A. et al., 2016	18,72 ±2,23мм	разрыв задней капсулы хрусталика (7,1%)
Yuzbasioglu E. et al., 2009	19,01±1,60 мм	переход на экстракапсулярную методику экстракции (25,0%)
Day A.C. et al., 2013	14,81-19,99мм	разрыв цинновых связок(48,0%)

Предложенная модификация техники факоэмульсификации имеет ряд преимуществ, так как принимается во внимание анатомо-морфологические особенности коротких глаз.

Учитывая возможное уменьшение площади роговицы при короткой аксиальной длине глаза, но сохранение пропорций строения роговицы, где горизонтальный диаметр превышает вертикальный диаметр,

самогерметизирующий, тоннельный роговичный разрез имеет преимущество при формировании с височной стороны [106].

Сочетание короткого глаза с малым объемом орбиты и «глубоким» расположением глаза в орбите также диктует смещение роговичного доступа с верхних отделов глаза в, более доступную, височную зону. Преимущества темпорального доступа в переднюю камеру глаза связаны с возможностью варьировать протяженность разреза, что увеличивает способность к самогерметизации, наконечник факэмульсификатора находится глубже и дальше от эндотелия роговицы с меньшей возможностью травмировать ткани радужной оболочки, манипуляции с факонаконечником не вызывают перегиб ткани роговицы и нарушении визуализации, отсутствует необходимость смещать глаз книзу для удобства входа факоицлы. Угол атаки факоицлы уменьшается при темпоральном разрезе (становится более острым) в сравнении с верхними разрезами (в проекции надбровных дуг), что при сочетании глубокого расположения глаза в орбите и мелкой передней камеры даёт значительные преимущества.

С учетом давления век на глазное яблоко, темпоральный разрез способствует адаптации краев раны и герметизации разреза [8].

Височная локализация разреза способствует более быстрой эвакуации ирригационной жидкости без попадания на поверхность роговицы и ухудшении визуализации [32].

Для большего углубления передней камеры используется комбинация тяжелого когезивного вискоэластика, который периодически добавляется в переднюю камеру для поддержания объема, с адгезивным вискоэластиком, способствующим защите эндотелия и препятствует «залповому» выходу тяжелого вискоэластика при прохождении инструмента через тоннельный разрез (технология «soft shell»).

Использование методики «Бури и Ломай» подразумевает совмещение горизонтального и вертикального разлома ядра, что обеспечивает максимальные эффект при значительном экономии пространства в узкой

передней камере. Разлом обеспечивается за счет движения факонаконечника, который погружается в верхний полюс ядра и удерживает его и факошпателя по Коху, погруженному в задний полюс ядра. Движением вертикальным инструментов навстречу друг другу обеспечивается первичный разлом, горизонтальным движением в стороны инструментов друг от друга, окончательное разделение фрагментов ядра.

Преимущество подобной техники разлома ядра очевидно – это не только эффективное разделение фрагментов, но и работа двумя инструментами в разных плоскостях по отношению к передней камере, что существенно увеличивает маневренность манипуляций в условиях стесненного пространства переднего отрезка глаза.

Применение техники факоемульсификации по методике «Бури и Ломай» позволило добиться значительного снижения интраоперационных осложнений.

3.2. Анализ точности формул расчета ИОЛ на глазах с аксиальной длиной от 20,0 до 22,0 мм.

Результаты статистического анализа в группе II представлены в таблице 11. Группа характеризовалась статистически незначимыми ($p > 0,05$) различиями в средней погрешности оценки для формул Holladay 2, Hoffer-Q, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane ($0,19 \pm 0,14$, $0,23 \pm 0,08$, $0,15 \pm 0,09$, $0,21 \pm 0,13$, $0,17 \pm 0,21$ и $0,12 \pm 0,02$ дптр, соответственно). Вместе с тем при использовании формул Haigis и Kane получена наименьшая средняя погрешность оценки ($0,11 \pm 0,02$ и $0,12 \pm 0,02$, соответственно), различия значимы на уровне тенденции ($0,05 < p < 0,1$). Аналогичное распределение значений показано для средней абсолютной погрешности – для формул Kane, Haigis, Hoffer-Q, Barrett Universal II, SRK/T, Holladay 2 и Olsen она составила $0,09 \pm 0,03$, $0,08 \pm 0,02$, $0,16 \pm 0,11$, $0,18 \pm 0,05$, $0,19 \pm 0,09$, $0,23 \pm 0,06$ и $0,24 \pm 0,13$ дптр, соответственно, что свидетельствует о некотором преимуществе формул Kane и Haigis при расчете

оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 20,0-22,0 мм (рисунок 12). Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 0,50$ дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 79,0%, 81,5%, 93,4%, 88,9%, 80,2%, 92,5% и 95,1%, соответственно ($p < 0,05$ для формул Haigis, Barrett Universal II и Kane) (рисунок 13), в пределах $\pm 1,00$ дптр – 97,5%, 100%, 100%, 100%, 93,4%, 100% и 100%, соответственно (рисунок 14).

Таблица 11 - Анализ эффективности формул для расчета оптической силы ИОЛ для глаз с аксиальной длиной 20,0-22,0 мм

Значение	Holladay 2	Hoffer-Q	Haigis	SRK/T	Olsen	Barrett Univers al II	Kane
Средняя погрешность оценки (дптр) $\pm$ SD	0,19 $\pm$ 0,14	0,23 $\pm$ 0,08	0,11 $\pm$ 0,02	0,15 $\pm$ 0,09	0,21 $\pm$ 0,13	0,17 $\pm$ 0,21	0,12 $\pm$ 0,02
Диапазон погрешности оценки (дптр)	От -0,14 до +0,65	От -0,32 до +0,47	От -0,12 до +0,36	От -0,16 до +0,55	От -0,24 до +0,71	От -0,18 до +0,46	От -0,10 до +0,34
Средняя абсолютная погрешность (дптр) $\pm$ SD	0,23 $\pm$ 0,06	0,16 $\pm$ 0,11	0,08 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,09	0,24 $\pm$ 0,13	0,18 $\pm$ 0,05	0,09 $\pm$ 0,03
Диапазон абсолютной погрешности (дптр)	От 0,01 до 0,78	От 0,01 до 0,59	От 0,00 до 0,29	От 0,02 до 0,43	От 0,02 до 1,61	От 0,01 до 0,32	От 0,00 до 0,26
Медианная абсолютная погрешность (дптр)	0,28	0,24	0,14	0,30	0,32	0,22	0,15

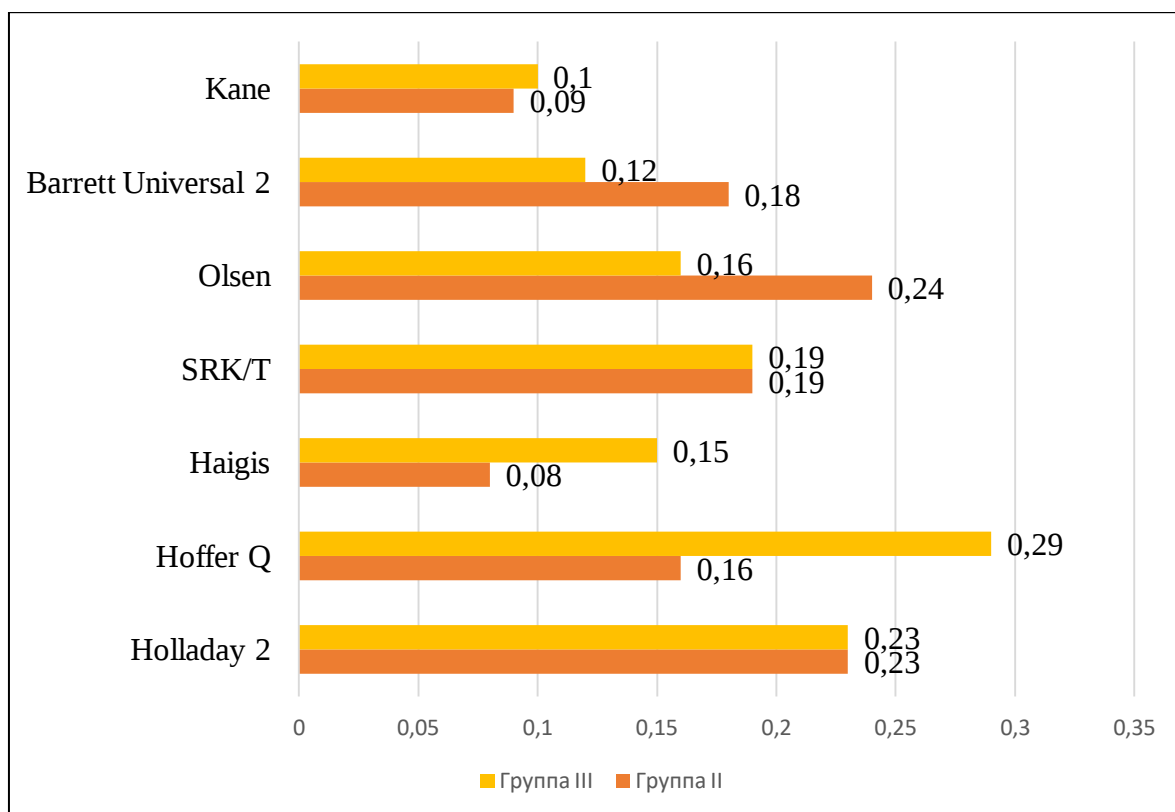


Рисунок 12 - Значения средней абсолютной погрешности в группах II и III.

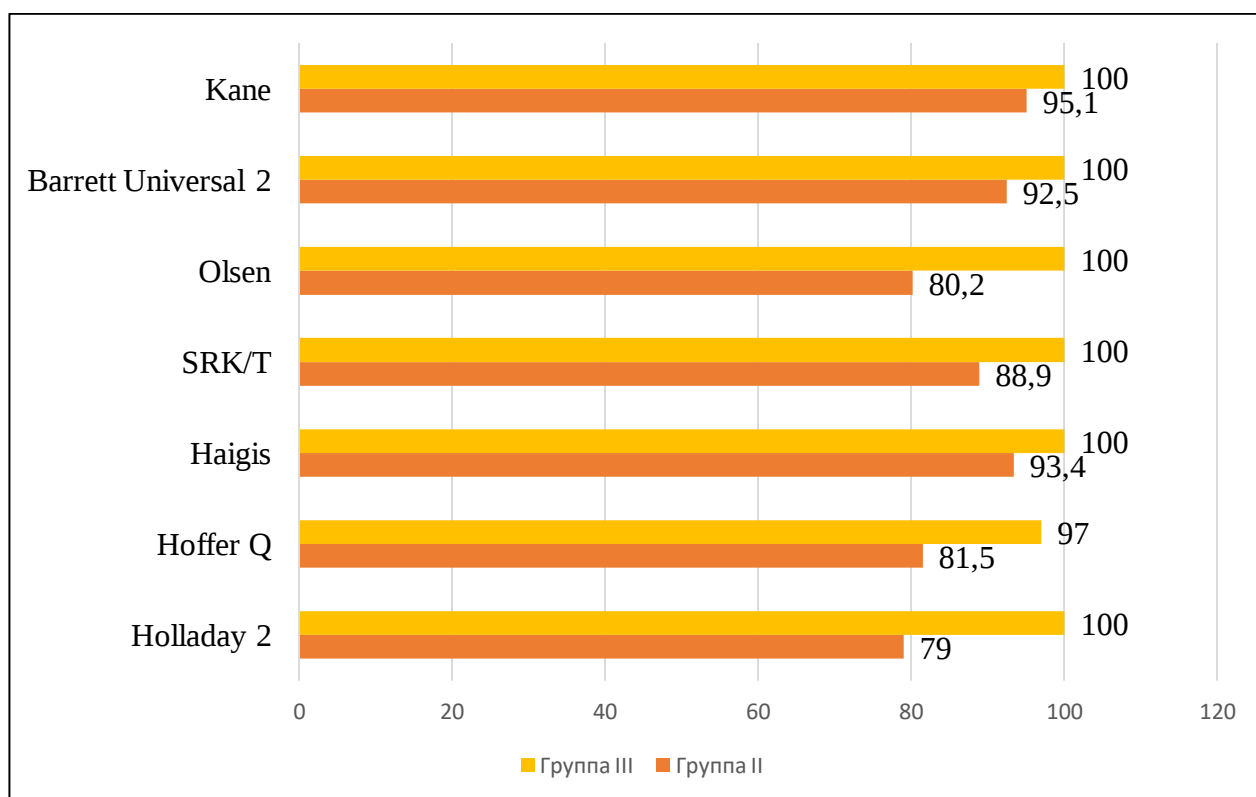


Рисунок 13 - Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 0,50$ дптр в группах II и III

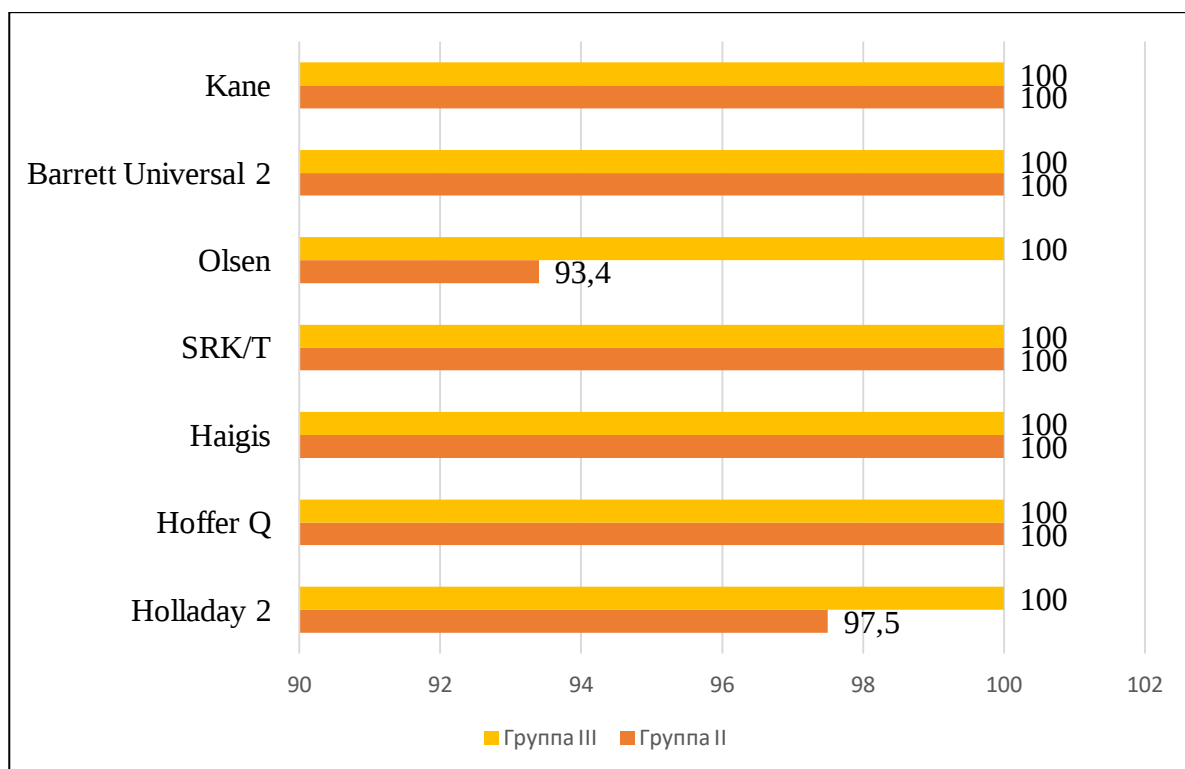


Рисунок 14 - Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 1,0$ дптр в группах II и III

После расчета средних значений был проведен попарный анализ с учетом каждой из исследуемых формул. Результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Сравнений средних величин абсолютной погрешности в группе II

Сравнение MAE	Значение p (тест Kruskal Wallis)
Holladay 2 / Hoffer-Q	>0,05
Holladay 2 / Haigis	<0,05
Holladay 2 / SRK/T	>0,05
Holladay 2 / Olsen	>0,05
Holladay 2 / Barrett Universal II	>0,05
Holladay 2 / Kane	<0,05
Hoffer-Q / Haigis	0,05<p<0,1
Hoffer-Q / SRK/T	>0,05
Hoffer-Q / Olsen	>0,05
Hoffer-Q / Barrett Universal II	>0,05
Hoffer-Q / Kane	0,05<p<0,1
Haigis / SRK/T	0,05<p<0,1
Haigis / Olsen	<0,05
Haigis / Barrett Universal II	0,05<p<0,1
Haigis / Kane	>0,05
SRK/T / Olsen	>0,05
SRK/T / Barrett Universal II	>0,05
SRK/T / Kane	0,05<p<0,1
Olsen / Barrett Universal II	>0,05
Olsen / Kane	<0,05
Barrett Universal II / Kane	0,05<p<0,1

Проведенный сравнительный анализ показал значимое ($p<0,05$) преимущество формул Kane и Haigis по сравнению с Holladay II и Olsen, а также значимое на уровне тенденции ($0,05<p<0,1$) по сравнению с Hoffer-Q, SRK/T и Barrett Universal II. При попарном сравнении других исследуемых формул статистически значимых различий не выявлено ($p>0,05$).

Дополнительно проведен анализ средних значений диаметра роговицы (white-to-white) и толщины хрусталика в дооперационном периоде между двумя

группами. Статистически значимых различий между группами не выявлено. В группе II диаметр роговицы составил $11,73 \pm 0,56$ мкм, в группе III - $11,81 \pm 0,41$ мкм ($p > 0,05$).

При оценке толщины хрусталика значимых различий не выявлено. В группе II среднее значение параметра составило $4,56 \pm 0,40$ мм, а в группе III – $4,61 \pm 0,33$ мкм ($p > 0,05$).

При сравнительном анализе изучаемых параметров в группах I и II значимых различий не выявлено. Диаметр роговицы ($11,38 \pm 0,40$ мкм и $11,73 \pm 0,56$ мкм, соответственно) и толщина хрусталика ($4,69 \pm 0,22$ мм и $4,56 \pm 0,40$ мм, соответственно) были схожими у пациентов двух групп ($p > 0,05$).

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что учет таких параметров глаза как диаметр роговицы и толщина хрусталика не влияет на точность расчета ИОЛ с использованием указанных формул в вне зависимости от передне-заднего размера глаза.

Количество интраоперационных и послеоперационных осложнений в группах II и III не отличалось существенно: в группе II наблюдалась повышение внутриглазного давления интраоперационно в одном случае (1,2%), послеоперационная транзиторная офтальмогипертензия в трех случаях (3,7%), Iris-floppy синдром в одном случае (1,2%) и в двух случаях было имплантировано внутрикапсульное кольцо в связи со слабостью цинновых связок хрусталика (2,5%); в группе III: в трех случаях наблюдалась транзиторная офтальмогипертензия в раннем послеоперационном периоде (4,5%) и в одном случае была выявлена витреомакулярная адгезия (1,5%), не влияющая на рефракционный результат в период послеоперационного наблюдения.

Низкую частоту осложнений в данных группах пациентов можно проследить и в других исследованиях [72].

Расчет ИОЛ в глазах с короткой аксиальной длиной всегда вызывает большие трудности в сравнении с выбором диоптрийной силы при эметропии и миопии [100,135]. MacLaren R.E. и соавт., предположили, что погрешности в

расчете вызваны не только фактом укорочения передне-заднего размера глаза, но и использованием высокодиптрийных (увеличенных в толщине) ИОЛ [128].

Подобные аргументы всегда привлекали повышенное внимание к анализу эффективности различных формул у данной группы пациентов. И большая часть исследований, отдельно выделяло группы «коротких» глаз, где среднее значение длины глаза определялось около $21,0 \pm 0,60$ мм [50, 65, 67, 71, 86, 88, 90, 116, 155, 175].

Если принимать к рассмотрению только те исследования, в которых использовалась исключительно оптическая биометрия и учитывались оптимизированные константы, то основная доля авторов определили отсутствие статистической значимости между анализируемыми формулами, что совпадает с полученными нами результатами [50, 65, 67, 71, 90, 116, 155, 175].

Основным недостатком указанных исследований было или малое количество включенных в группу случаев, или ограниченный набор формул расчета ИОЛ [50, 71, 100, 155, 175].

Отдельные работы, включавшие расширенный набор формул, не разделяли случаи на группы в зависимости от длины глаза или не имели полного набора статистического анализа [67, 161].

Факт значительного разброса показателей средней абсолютной погрешности при сравнении групп с «короткими» глазами и «нормальной» (22,0 – 24,0 мм) длиной глаз также объединяет большую часть выводов и совпадает с показателями данного исследования [50, 65, 67, 86, 116, 183].

До 2016 года анализу подвергались преимущественно формулы Hoffer-Q, Haigis, Holladay 2, Holladay 1, SRK II и SRK/T [50, 71, 155]. При отсутствии достоверной значимости между указанными формулами в группе с «короткими» глазами меньшую среднюю абсолютную погрешность показывала формула Haigis или Hoffer Q, при этом, при попарном сравнении, достоверной разницы между формулами не было, что отличается от полученных нами результатов ($\text{Hoffer-Q} / \text{Haigis} = 0,05 < p < 0,1$) [71, 155].

Но определение значимой разницы при сравнении формул Haigis и SRK/T подтверждается и в нашей работе ($\text{Haigis} / \text{SRK/T} = 0,05 < p < 0,1$) [71].

В работе Gavin E.A. и Hammond C.J. показано, что формула Hoffer Q обладает преимуществом по сравнению с SRK/T для глаз с аксиальной длиной 20,0-22,0 мм [100]. Мы не подтвердили данные результаты в собственном исследовании.

С 2016 года в набор формул для анализа точности были включены получившие наибольшее распространение в клинической практике формулы Barrett Universal II, Olsen, Hill-RBF [65, 67, 86, 90, 116, 175].

И хотя появление новых формул основанных на параксиальной оптике, распознавания паттернов, использования в расчете физических законов «толстых» линз и большего количества переменных не внесло существенно перевеса в сравнении с формулами ранних поколений низкие показатели средней абсолютной погрешности позволяют принимать во внимание их расчетные значения [67, 86, 90, 116, 175].

И действительно, в сравнении с новым поколением алгоритмов расчета формула Haigis показывает высокий процент попадания в рефракцию цели $\pm 0,25$ дптр в большем количестве случаев, что положительно коррелирует с нашими данными [116].

Ряд работ, направленных на определение точности расчета с использованием формул нового поколения в сравнении с Holladay II, Hoffer Q, SRK/T, не выявили статистической разницы, но достоверность измерений в группе «коротких» глаз вызывает сомнения из-за небольшого количества наблюдений [86, 175].

Conell B.J. и Kane J.X. оценили среднюю абсолютную погрешность 46 коротких глаз и не выявили значимых различий между формулами Barrett Universal II, Haigis, Hoffer Q, Hill-RBF, Olsen, Kane, Holladay 1, Holladay II, SRK/T. От полного анализа данной группы авторы отказали в связи с недостаточностью статистически значимого результата. Также анализ не

включал в себя рекомендации Hoffer K.J. и соавт. по определению точности формул [65].

Работа Gokse S.E. и соавт. включала 86 глаз с короткой переднезадней осью, при этом сравнение проводили с использованием формул Barrett Universal II, Haigis, Hill-RBF, Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2 и Olsen, значимых различий между формулами выявлено не было [198]. В наше исследование включены формулы Barrett Universal II, Haigis, Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T и Olsen, при этом показано некоторое преимущество формулы Haigis [90].

Cooke D.L и Cooke T.L. включили в оценку группы коротких глаз ($n=41$) схожий с нашим исследованием набор формул. Не определив статистической достоверности между формулами, авторы указывают на минимальные значения средней абсолютной погрешности для формул Barrett Universal II, SRK II, Haigis и максимальное значение для Hoffer Q. Отмечается невысокий процент достижения рефракции $\pm 0,5$ дптр – 78,0%, 68,3%, 63,4% для формул Barrett Universal II, Haigis и Hoffer Q, соответственно. В нашей работе схожие показатели составили: 92,5%, 93,4% и 81,5%, соответственно [67].

Carifi G. и соавт. изучали особенности расчета оптической силы ИОЛ на 28 глазах с короткой переднезадней осью и пришли к выводу об отсутствии значимых различий между исследуемыми формулами, однако несколько лучшие значения были получены для формул Hoffer Q, Haigis и Holladay 2 [62]. В нашей работе значимых отличий при проведении сравнительного анализа не выявлено, однако попарный анализ показал некоторое преимущество формулы Haigis для глаз с аксиальной длиной 20,0-22,0 мм.

Мета-анализ точности расчета формул на коротких глазах провела группа авторов из Китая под руководством Wang Q. Данное исследование включало обширную базу данных (1161 глаз) из 10 репрезентативных работ, но оценка проводилась только по ограниченному количеству формул: Haigis, Hoffer Q, Holladay 1, Holladay II, SRK/T, SRK II. При доверительном интервале, 95% формула Haigis показала значимое преимущество над формулами Hoffer Q, SRK/T, SRK II и сравнимый результат с формулой Holladay II. По мнению

авторов, это связано с использованием одновременно трех констант, что позволяет получать более значимые показатели расчета [183].

3.3. Влияние глубины передней камеры глаза на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с короткой передней-задней осью

В группу IV были включены исследуемые случаи групп I и II.

Во всех трех подгруппах группы IV отмечено увеличение НКОЗ и МКОЗ в послеоперационном периоде. В подгруппе IVa показано увеличение НКОЗ с $0,12 \pm 0,08$ до $0,57 \pm 0,20$ ($p < 0,05$), а МКОЗ с $0,54 \pm 0,28$ до $0,64 \pm 0,24$ ($p > 0,05$). Для подгруппы IVb отмечена динамика НКОЗ с $0,1 \pm 0,12$ до $0,56 \pm 0,23$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,48 \pm 0,26$ до $0,65 \pm 0,25$ ($p > 0,05$). В подгруппе IVc определен рост НКОЗ с $0,15 \pm 0,17$ до $0,61 \pm 0,26$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,56 \pm 0,24$ до $0,70 \pm 0,22$ ($p > 0,05$). Таким образом, во всех исследуемых группах отмечен статистически значимый рост НКОЗ через 6 месяцев наблюдений.

Для шести исследуемых формул проведен расчет основных погрешностей, представленный в таблице 13. При одинаковых значениях средней абсолютной погрешности для нескольких формул их эффективность в данной группе пациентов одинакова, несмотря на возможную различную частоту попадания в целевую рефракцию в одной из групп.

Таблица 13 - Средняя числовая погрешность (MNE), средняя абсолютная погрешность (MAE) и медианная абсолютная погрешность (MedAE) в исследуемых подгруппах

Параметр	Hoffer Q	Holladay 2	Haigis	SRK/T	Olsen	Barrett Universal II	Kane
Подгруппа IVa (n=40)							
MNE(D)±SD	-0,38±0,61	-0,12±1,03	-0,03±0,89	-0,42±0,98	-0,29±0,94	-0,01±0,97	-0,04±0,74
Диапазон	-2,0-3,28	-2,06-2,97	-2,09-3,31	-2,16-3,20	-2,10-3,09	-1,81-3,02	-1,90-3,09
MAE(D)±SD	0,64±0,75	0,68±0,73	0,75±0,71	0,72±0,79	0,68±0,75	0,66±0,69	0,69±0,61
MedAE	0,39	0,37	0,51	0,43	0,35	0,49	0,52
Подгруппа IVb (n=49)							
MNE(D)±SD	-0,12±0,64	-0,02±0,71	0,05±0,69	-0,14±0,94	-0,10±0,81	0,21±0,85	0,18±0,41
Диапазон	-1,31-2,06	-1,24-2,13	-1,09-1,97	-1,36-2,51	-1,48-2,05	-1,34-2,80	-1,26-2,39
MAE(D)±SD	0,58±0,55	0,63±0,48	0,58±0,53	0,70±0,51	0,67±0,49	0,63±0,66	0,65±0,59
MedAE	0,50	0,53	0,45	0,59	0,56	0,50	0,51
Подгруппа IVc (n=44)							
MNE(D)±SD	0,10±0,41	-0,04±0,55	-0,01±0,58	0,05±0,61	0,21±0,65	0,02±0,58	0,01±0,48
Диапазон	-1,29-1,87	-1,39-2,06	-1,52-1,99	-1,44-2,16	-1,20-2,43	-1,35-2,09	-1,27-1,94
MAE(D)±SD	0,37±0,45	0,37±0,40	0,40±0,47	0,43±0,50	0,35±0,49	0,48±0,48	0,42±0,45
MedAE	0,23	0,22	0,17	0,37	0,27	0,35	0,19

В подгруппе IVa значимых различий при сравнении MedAE для семи формул не выявлено ($p>0,05$). Наибольшие значения MedAE (0,51, 0,49 и 0,52 соответственно) и меньший диапазон MNE ($-0,03\pm0,89$, $-0,01\pm0,97$ и $-0,04\pm0,74$, соответственно) показаны для формул Haigis, Barrett Universal II и Kane.

Отсутствие значимых различий при сравнении MedAE показано и для подгруппы IVb, однако значения данного показателя при использовании формулы Haigis, в отличие от подгруппы IVa было наименьшим и составило 0,45, а наибольшее – для формул SRK/T и Olsen (0,59 и 0,56, соответственно). Данные формулы характеризовались наибольшим значением MAE (0,70 и 0,67, соответственно), в то время как для других формул MAE была ниже ($p>0,05$). Для формулы Haigis показано наименьшее значение MNE ($0,05\pm0,69$), далее следовала формула Holladay 2 ($-0,02\pm0,71$). Различия MNE для исследуемых формул не были статистически значимыми ($p>0,05$).

В подгруппе IVc значимых различий при сопоставлении средних значений MedAE не выявлено ($p>0,05$). Наименьшая MedAE (0,17 и 0,19, соответственно) и лучшие значения MNE ($-0,01\pm0,58$ и $0,01\pm0,48$, соответственно) показаны для формул Haigis и Kane, в то время как формула SRK/T характеризовалась наибольшей MedAE (0,37).

Отмечено, что увеличение показателя средней абсолютной погрешности находится в прямой зависимости с уменьшением глубины передней камеры глаза. Значения средней абсолютной погрешности представлены на рисунке 15.

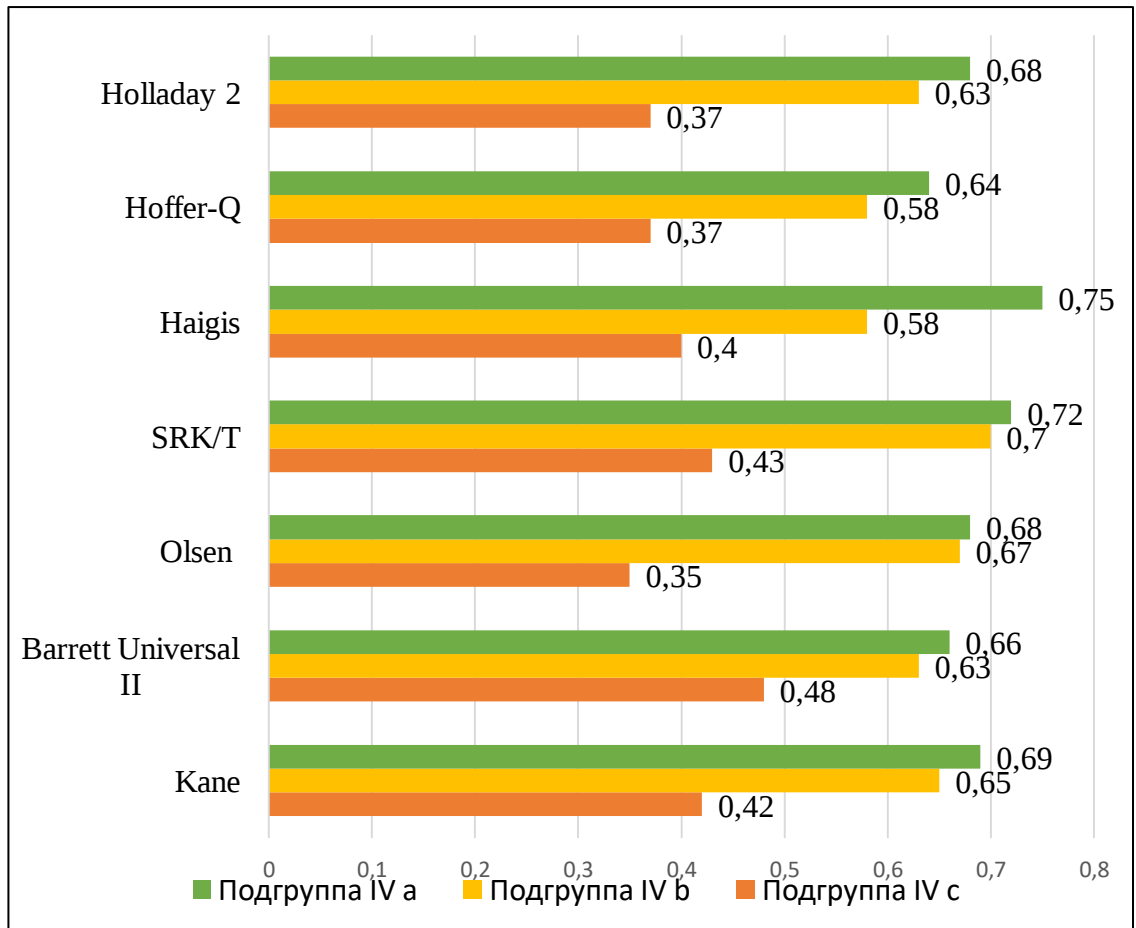


Рисунок 15 -Средние абсолютные погрешности (MAE) в трех подгруппах

В таблицах 14, 15, 16 представлен процент глаз со средней числовой погрешностью в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр для каждой формулы по группам. Показатель MNE обратно пропорционален количеству глаз, попавших в целевую рефракцию, то есть низкое значение средней числовой погрешности соответствует большей частоте попадания в целевую рефракцию.

Таблица 14 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе IVa (n=40)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	16 (40%)	23 (57,5%)	29 (72,5%)	36 (90%)
Holladay 2	14 (35%)	24 (60%)	28 (70%)	36 (90%)
Haigis	13 (32,5%)	22 (55%)	30 (75%)	37 (92,5%)
SRK/T	14 (35%)	22 (55%)	29 (72,5%)	35 (87,5%)
Olsen	15 (37,5%)	23 (57,5%)	29 (72,5%)	36 (90%)
Barrett Universal II	13 (32,5%)	22 (55%)	30 (75%)	39 (97,5%)
Kane	16 (40%)	24 (60%)	29 (75%)	40 (100%)

Таблица 15 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе IVb (n=49)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	11 (22,4%)	28 (57,1%)	39 (79,6%)	46 (93,9%)
Holladay 2	8 (16,3%)	24 (48,9%)	39 (79,6%)	47 (95,9%)
Haigis	15 (30,6%)	33 (67,3%)	42 (85,7%)	49 (100%)
SRK/T	10 (20,4%)	18 (36,7%)	41 (83,7%)	47 (95,9%)
Olsen	12 (24,5%)	25 (51,0%)	40 (81,6%)	47 (95,9%)
Barrett Universal II	16 (32,6%)	28 (57,1%)	42 (85,7%)	46 (93,9%)
Kane	14 (28,6%)	32 (65,3%)	42 (85,7%)	49 (100%)

Таблица 16 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе IVc (n=44)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	27 (61,4%)	34 (77,2%)	40 (90,9%)	42 (95,5%)
Holladay 2	26 (59,1%)	35 (79,5%)	39 (88,6%)	42 (95,5%)
Haigis	30 (68,2%)	35 (79,5%)	39 (88,6%)	44 (100%)
SRK/T	17 (38,6%)	31 (70,5%)	39 (88,6%)	42 (95,5%)
Olsen	23 (52,3%)	34 (77,2%)	40 (90,9%)	42 (95,5%)
Barrett Universal II	24 (54,5%)	35 (79,5%)	38 (86,4%)	43 (97,7%)
Kane	26 (59,1%)	35 (79,5%)	41 (93,2%)	44 (100%)

Результаты были сопоставимы во всех трех группах, за исключением процента достижения рефракции $\pm 0,50$ дптр в подгруппе IVb, где показано значимое преимущество формул Haigis и Kane ($p < 0,05$).

Точное измерение глубины передней камеры играет одну из ключевых ролей в прогнозировании послеоперационной рефракции и определении эффективного положения линзы. Прогностическая точность различных формул для расчета оптической силы ИОЛ зависит не только от длины глаза, но и в не меньшей степени от глубины передней камеры [10, 12, 81, 115, 137, 141, 142].

Olsen Т. определил, что правильная оценка показателя глубины передней камеры глаза перед операцией находится на втором месте после определения длины глаза. В работе, включавшей 7 418 глаз, было доказано, что величина ошибки определения параметра глубины передней камеры глаза в 0,25 мм приведет к рефракционной ошибке в 0,55 дптр, при аксиальной длине глаза 20,0 мм, при передне-заднем отрезке 22,0 мм ошибка будет составлять 0,42 дптр [141].

Необходимость точного измерения предоперационной глубины передней камеры доказана [115]. Но более важное значение, по мнению ряда авторов, имеет точный расчет послеоперационной глубины передней камеры глаза, напрямую влияющий на «актуальную» позицию ИОЛ. Ошибка в данной калькуляции составляет до 42,0% от всех возможных ошибок в послеоперационной рефракции [137, 141, 142]. Кроме того, показатель глубины передней камеры глаза, после экстракции хрусталика значительно более выражен на глазах с аксиальной длиной менее 22,0 мм., чем с большей величиной длины глаза [133].

Уменьшение процента достижения рефракции цели $\pm 0,5$ дптр (59,0%) для формул Barrett, SRK-T, Hoffer-Q, Haigis, Holladay II, при укорочении глубины передней камеры менее 2,5 мм, зарегистрировала группа авторов Захарова И.А, Исакова И.А., но, в отличие от нашей работы, в исследование были включены глаза со средним показателем аксиальной длины [12].

Отсутствие достоверно значимой корреляции между глубиной передней камеры глаза и величиной ошибки расчета силы ИОЛ, в условиях малого размера передне-заднего отрезка, было доказано в работе Ворошиловой Н.А. Средняя глубина передней камеры составила $3,03 \pm 0,41$ мм. Тем не менее наблюдалась тенденция к увеличению рефракционной ошибки при более низких показателях глубины передней камеры глаза [10].

Отдельные работы подтверждают отсутствие корреляции между глубиной передней камеры глаза и величиной рефракционной ошибки [190].

В нашем исследовании наблюдалось увеличение диапазона средней числовой погрешности при уменьшении глубины передней камеры.

Fernández J. и соавт, фиксировали снижение эффективности расчета формул при уменьшении глубины передней камеры глаза [81]. Схожая тенденция наблюдалось и в нашей работе - увеличение величины средней и медианной абсолютной погрешностей для всех формул при уменьшении глубины передней камеры.

Jeong J. и соавт. сравнивали влияние разных показателей биометрии глаза при средней длине глаза 23,73 мм на формулы Hoffer Q, Holladay 1, SRK/T, and Haigis. Выявлено, что формула Haigis менее всего подвержена колебаниям в оценке до и после операционной глубины передней камеры [115].

Эффективность данной формулы анализировали Eom Y. и соавт., при сравнении двух формул Hoffer Q и Haigis на коротких глазах. Авторы не обнаружили достоверной разницы между формулами. Но формула Haigis показывала меньшее значение медианной абсолютной погрешности при глубине передней камеры глаза менее 2,4 мм [77].

Иной результат зафиксировали Yang S. и соавт., которые проанализировали эффективность формул SRK/T, Haigis, Hoffer Q, Holladay I при сочетании «короткого» глаза и глубины передней камеры менее 2,5мм, была достоверно доказано, что формула Hoffer Q эффективнее формулы Haigis, кроме того формула Haigis показывала смещение послеоперационной

рефракции в сторону миопии в указанной группе пациентов, что, по мнению авторов, связано с недооценкой величины послеоперационной глубины передней камеры глаза [190].

Отсутствие достоверного преимущества формулы Haigis у данной группы пациентов было подтверждено и в нашем исследовании: формулы Haigis, Barrett Universal II и Kane были ассоциированы как с наибольшей MedAE, так и меньшим диапазоном MNE, что не позволяет рекомендовать их для использования в данной группе пациентов с сочетанием короткого глаза и глубиной передней камеры менее 2,5мм.

В указанных выше работах Eom Y. и соавт. и Yang S. и соавт. в группе глаз с ACD 2,5-2,9 мм ни для одной из исследуемых формул не показано значимое преимущество [77,190]. В нашей работе наименьшие MAE и MedAE определены для формул Haigis и Kane, что также сопровождалось наиболее высоким процентом попадания в целевую рефракцию $\pm 0,5$ дптр. Данные формулы представляются наиболее эффективными для пациентов с ACD 2,5-2,9 мм. В то же время наибольшие MAE и MedAE и наименьший процент попадания в целевую рефракцию $\pm 0,5$ дптр определен для формулы SRK/T.

Аналогичный результат регистрировали Shrivastava A.K. и соавт., сравнивая формулы Barret Universal II, Haigis, Hoffer Q, Holladay I, Holladay II, Hill-RBF, SRK/T: при сочетании короткого глаза и передней камеры менее 2,4мм, нет достоверной разницы между формулами, а Haigis имела большее значение медианной абсолютной ошибки и низкий процент глаз достижения рефракции цели. Но в группе с глубиной передней камеры 2,4 – 2,9 мм формула Haigis, обладала достоверным преимуществом над формулами Holladay II, Hill-RBF, SRK/T. Для нее показано наименьшее значение средней абсолютной погрешности и высокий процент попадания в рефракцию. В группе, где передняя камера более 2,9 мм, достоверной разницы между формулами не было [167]. В нашей работе так же не отмечалось достоверной эффективности той или иной формулы в подгруппе IVc и

наибольший процент попадания в рефракцию цели $\pm 0,5$ Дптр для формул Haigis и Kane в подгруппе пациентов IVb.

3.4. Влияние кривизны роговицы на точность расчета оптической силы ИОЛ на глазах с короткой передней-задней осью

В группу V были включены исследуемые случаи групп I и II.

При анализе отдаленных результатов во всех трех подгруппах группы V показано увеличение НКОЗ и МКОЗ. Для подгруппы Va отмечено увеличение НКОЗ с $0,06 \pm 0,05$ до $0,45 \pm 0,22$ ($p < 0,05$), а МКОЗ с $0,53 \pm 0,22$ до $0,55 \pm 0,24$ ($p > 0,05$). Подгруппа Vb характеризовалась динамикой НКОЗ с $0,12 \pm 0,12$ до $0,60 \pm 0,23$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,55 \pm 0,28$ до $0,69 \pm 0,23$ ($p > 0,05$). В подгруппе Vc определено увеличение НКОЗ с $0,19 \pm 0,18$ до $0,67 \pm 0,20$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,47 \pm 0,25$ до $0,73 \pm 0,22$ ($p < 0,05$). Таким образом, во всех исследуемых группах отмечен статистически значимый рост НКОЗ через 6 месяцев наблюдений, а в группе Vc – статистически значимое увеличение МКОЗ. Не столь значительное увеличение МКОЗ в группах Va и Vb связано с тем, что операции в этих группах в основном проводились рефракционная лenseктомия.

Как и для группы IV для шести исследуемых формул проведен расчет основных погрешностей, представленный в таблице 17. При одинаковых значениях средней абсолютной погрешности для нескольких формул их эффективность в данной группе пациентов одинакова, несмотря на возможную различную частоту попадания в целевую рефракцию в одной из групп.

Таблица 17 - Средняя числовая погрешность (MNE), средняя абсолютная погрешность (MAE) и медианная абсолютная погрешность (MedAE) в исследуемых подгруппах

Параметр	Hoffer Q	Holladay 2	Haigis	SRK/T	Olsen	Barrett Universal II	Kane
Подгруппа Va (n=36)							
MNE(D)±SD	-0,26±0,12	-0,01±0,34	0,12±0,45	-0,36±1,03	-0,34±0,92	0,08±0,41	0,02±0,58
Диапазон	-1,5-1,14	-1,02-1,51	-0,97-2,16	-3,11-2,59	-2,28-2,88	-1,13-3,18	-2,11-2,67
MAE(D)±SD	0,98±0,61	0,71±0,58	0,49±0,31	0,68±0,43	0,66±0,49	0,34±0,31	0,32±0,39
MedAE	0,79	0,59	0,34	0,66	0,55	0,26	0,25
Подгруппа Vb (n=60)							
MNE(D)±SD	-0,01±0,10	-0,05±0,32	-0,01±0,03	-0,09±0,22	0,08±0,06	0,0±0,03	0,0±0,01
Диапазон	-0,38-0,34	-0,35-0,62	-0,15-0,24	-0,21-1,03	-0,27-0,64	-0,15-0,34	-0,08-0,12
MAE(D)±SD	0,28±0,14	0,27±0,18	0,19±0,26	0,26±0,24	0,28±0,35	0,14±0,22	0,11±0,14
MedAE	0,35	0,33	0,22	0,30	0,27	0,18	0,16
Подгруппа Vc (n=37)							
MNE(D)±SD	0,57±0,32	-0,29±0,20	-0,18±0,27	0,32±0,31	-0,15±0,27	0,16±0,37	0,15±0,29
Диапазон	-2,14-3,23	-1,80-2,12	-1,14-1,36	-1,58-2,72	-0,84-1,45	-0,61-0,95	-0,57-0,81
MAE(D)±SD	0,87±0,64	0,55±0,39	0,48±0,51	0,52±0,29	0,47±0,19	0,31±0,25	0,29±0,18
MedAE	0,81	0,61	0,45	0,49	0,46	0,35	0,33

В подгруппе Vb, характеризующейся средними значениями кривизны роговицы, значимых различий при сравнении MedAE для семи формул не выявлено ($p>0,05$). Применение формул Barrett Universal II и Kane приводило к меньшим средним значениям MedAE и MAE, однако данные различия не были статистически значимыми.

В подгруппах Va и Vc, в которых отмечены более маргинальные значения K1 и K2, применение формул Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T и Olsen было ассоциировано с худшими значениями MAE и MedAE по сравнению с формулами Haigis, Barrett Universal II и Kane ($p<0,05$). Значимых различий в MNE не выявлено ($p>0,05$).

Показано, что при большем отклонении средних значений кривизны роговицы от медианы применение формул Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T и Olsen приводило к большей рефракционной ошибке, что не позволяет рекомендовать их для использования в клинической практике. Значения средней абсолютной погрешности представлены на рисунке 16.

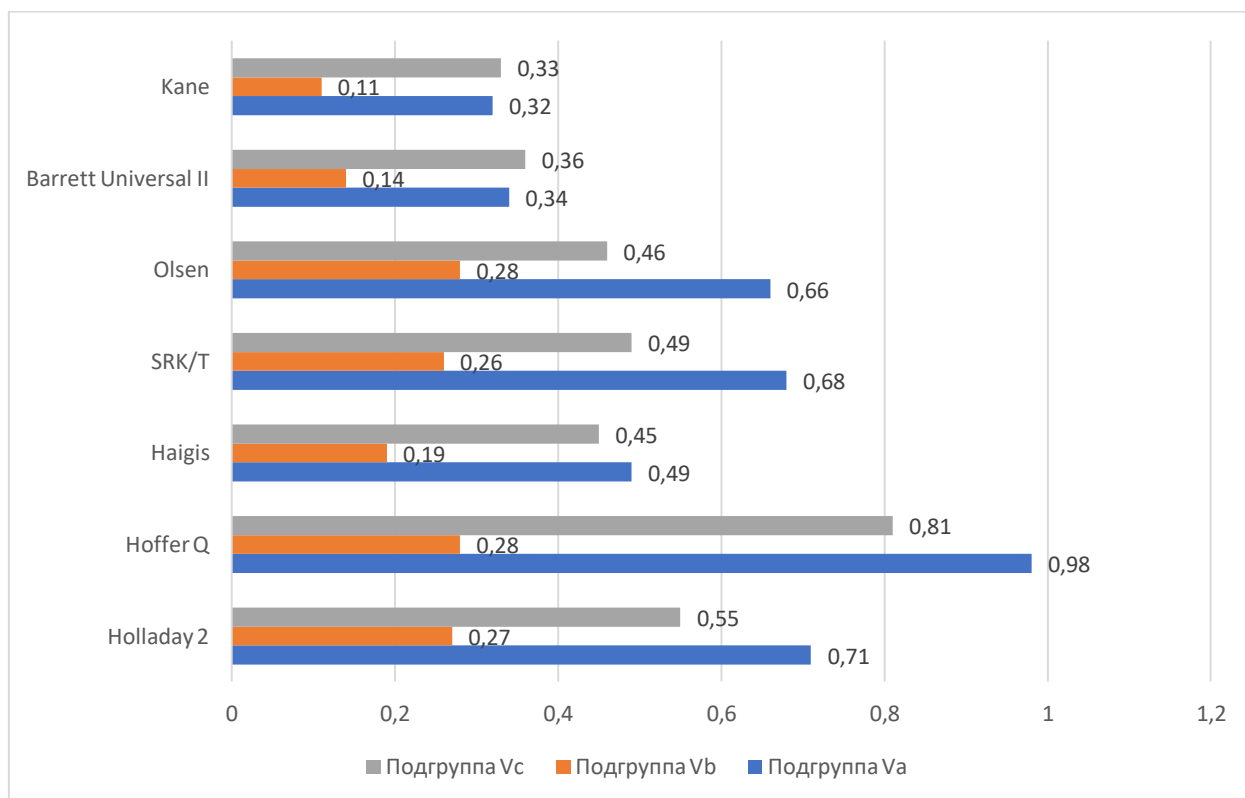


Рисунок 16 - Средние абсолютные погрешности (MAE) в трех подгруппах

В таблицах 18, 19, 20 представлен процент глаз со средней числовой погрешностью в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ Дптр для каждой формулы по группам.

Таблица 18 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе Va (n=36)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	10 (27,7%)	18 (50%)	25 (69,4%)	35 (97,2%)
Holladay 2	9 (25%)	17 (47,2%)	23 (63,9%)	34 (94,4%)
Haigis	10 (27,7%)	20 (55,5%)	28 (77,7%)	36 (100%)
SRK/T	11 (30,6%)	18 (50%)	28 (77,7%)	36 (100%)
Olsen	14 (38,8%)	21 (58,3%)	28 (77,7%)	35 (97,2%)
Barrett Universal II	16 (44,4%)	23 (63,9%)	31 (86,1%)	36 (100%)
Kane	19 (52,7%)	23 (63,9%)	32 (88,8%)	36 (100%)

Таблица 19 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе Vb (n=60)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	24 (40%)	33 (55%)	51 (85%)	59 (98,3%)
Holladay 2	27 (45%)	35 (58,3%)	50 (83,3%)	58 (96,6%)
Haigis	27 (45%)	34 (56,6%)	53 (88,3%)	60 (100%)
SRK/T	28 (46,7%)	33 (55%)	51 (85%)	60 (100%)
Olsen	24 (40%)	35 (58,3%)	51 (85%)	59 (98,3%)
Barrett Universal II	34 (56,7%)	42 (70%)	56 (93,3%)	60 (100%)
Kane	36 (60%)	42 (70%)	57 (95%)	60 (100%)

Таблица 20 - Процент глаз с MNE в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр в подгруппе Vc (n=37)

	$\pm 0,25$ дптр	$\pm 0,50$ дптр	$\pm 1,00$ дптр	$\pm 2,00$ дптр
Hoffer-Q	8 (21,6%)	14 (37,8%)	17 (45,9%)	24 (64,9%)
Holladay 2	10 (27%)	16 (43,2%)	17 (45,9%)	25 (67,6%)
Haigis	8 (21,6%)	18 (48,6%)	20 (54,0%)	30 (81,1%)
SRK/T	8 (21,6%)	18 (50%)	19 (51,3%)	25 (67,6%)
Olsen	9 (24,3%)	16 (43,2%)	17 (45,9%)	23 (62,1%)
Barrett Universal II	12 (32,4%)	25 (67,6%)	28 (75,7%)	36 (97,3%)
Kane	12 (32,4%)	23 (62,1%)	30 (81,1%)	37 (100%)

Подгруппа Vb характеризовалась более высокой частотой достижения целевой рефракции во всех диапазонах, при этом показано значимое преимущество формул Barrett Universal II и Kane ($p < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хирургия хрусталика глаза - одна из распространенных и высокоэффективных операций в офтальмологии, позволяющая достигать высокий уровень зрительной реабилитации пациентов. Стремительное развитие технологий данного вида хирургии, предоперационной диагностики и послеоперационного лечения привело к стандартизации факоэмульсификации хрусталика. Однако, несмотря на современные достижения, остаются сложности в лечении определенных групп пациентов, к которым относятся состояния, связанные с отклонением отдельных параметров глаза от принятых норм. Одну из таких групп составляют пациенты с «коротким» глазом, а также сочетание данного состояния с непропорциональным анатомическим строением переднего и заднего отрезков глаза.

Сложность в лечении подобных состояний заключается не только в самом оперативном лечении таких пациентов, которое сопряжено с определенными интраоперационными и послеоперационными осложнениями, но в предоперационной подготовке, а именно в расчете диоптрийной силы ИОЛ. Современные формулы расчета ИОЛ в сочетании с оптической биометрией глаза, значительно увеличившие результаты достижения рефракции цели при стандартном строении глаза, не всегда показывают высокую точность расчета при различных степенях аметропии.

Низкий процент распространенности, такого вида аметропии как гиперметропия высокой степени, не позволяет собрать достаточный статистический материал для достоверной оценки доступных формул расчета ИОЛ. Кроме того, вариации отдельных параметров глаза в пределах анатомически «короткого» глаза, так же влияет отрицательно на результирующие значения предоперационных расчетов.

Таким образом, при выполнении хирургии хрусталика с имплантацией ИОЛ у пациентов с малой аксиальной длиной глаза необходима дополнительная корректировка используемых при расчете формул.

В последнее время с появлением формул нового поколения для расчета ИОЛ появилась возможность достижения максимально эффективной послеоперационной рефракции. Вместе с тем в доступной отечественной и зарубежной литературе имеются лишь отдельные работы, по исследованию формул ранних поколений для «коротких» глаза и отдельных современных формул при гиперметропии.

В данной работе основной задачей было определение особенностей расчета оптической силы ИОЛ при выполнении факоэмульсификации катаракты или рефракционной лenseктомии у пациентов с «коротким» глазом, а также выявление особенностей расчета диоптрийной силы ИОЛ в зависимости от глубины передней камеры глаза, диаметра роговицы, толщины хрусталика и кератометрии в сочетании с «коротким» глазом. Основными предпосылками для планирования диссертационной работы были:

- низкий показатель достижения рефракции цели у пациентов с гиперметропией в сравнении с аналогичным показателем при «стандартной» длине глаза (22,0-24,0 мм), при выполнении факоэмульсификации катаракты или рефракционной лenseктомии;
- отсутствие достоверных данных подтверждения сравнительной эффективности доступных формул для расчета ИОЛ при высокой гиперметропии;
- возможность создания алгоритма для расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с «коротким» глазом в зависимости от аксиальной длины глаза, глубины передней камеры глаза, толщины хрусталика, показателя кератометрии и диаметра роговицы.

- высокая частота интраоперационных осложнений существующих распространенных техник факоэмульсификации хрусталика применительно к глазам с короткой передне-задней осью.

Нами была поставлена цель - определить особенности расчета ИОЛ при выполнении факоэмульсификации катаракты и рефракционной ленсэктомии у пациентов с «коротким» глазом.

В соответствии с поставленными задачами работа включала клинико-инструментальные и статистические методы исследования. Работа основана на ретроспективном анализе медицинских карт 134 пациентов (199 глаз), которым была выполнена факоэмульсификация катаракты или рефракционная ленсэктомия с имплантацией ИОЛ в офтальмологических клиниках «Эксермер». Средний возраст пациентов составил $61,3 \pm 5,6$ лет от 27 до 88 лет. В общей группе пациентов женщины составили 57,5% (n=77), мужчины - 42,5% (n=57). Все исследуемые были разделены на пять групп в зависимости от аксиальной длины глаза, глубины передней камеры и показателя диаметра роговицы. Группа I – пациенты с передне-задним размером менее 20,0 мм, группа II – размер глаза составил 20,0 – 22,0 мм, группа III – «стандартная» длина глаза – 22,0 - 24,0мм, группа IV была разделена на подгруппы в зависимости от глубины передней камеры глаза: подгруппу IVa составили пациенты с показателем ACD менее 2,5 мм, в подгруппу IVb включены пациенты с ACD от 2,5 до 2,9 мм. , подгруппа IVc - пациенты с ACD более 2,9 мм. В подгруппу Va (n=36) вошли пациенты с Kср менее 44,00 дптр, в подгруппу Vb (n=60) – от 44,00 до 46,00 дптр и в подгруппу Vc – более 46,00 дптр (n=37).

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с использованием приложения Microsoft Excel 2010 и статистической программы Statistica 10.1 («StatSoft», США). Проведен расчет среднего арифметического значения (M), стандартного отклонения от среднего арифметического значения ($\pm SD$), минимальных (min) и максимальных (max) значений, размаха вариации Rv (разность max- min). Для оценки

достоверности полученных результатов при сравнении средних показателей использовался t- критерий Стьюдента. При сравнении частот встречаемости признака использовался точный критерий Фишера. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$, доверительный интервал 95%. Отклонение расчетного значения сферического эквивалента от целевого определяли с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) и регрессионного анализа, при этом проводили ретроспективное сравнение отклонения сферического эквивалента при использовании различных формул для расчета ИОЛ. Для оценки различий средних погрешностей применяли тест Kruskal Wallis. Погрешность оценки (E) определяли как разницу между фактической послеоперационной SE в течение шести месяцев наблюдения и прогнозируемой послеоперационной SE. Абсолютную погрешность (AE) определяли как абсолютное значение E. Среднее значение AE рассчитывали для каждой формулы. Различия в средней AE для шести формул были проанализированы, кроме того, оценивали процент глаз с AE в пределах $\pm 0,50$ и $\pm 1,0$ дптр для каждой формулы. Для группы IV также был выполнен расчет включавший: Среднюю числовую погрешность (MNE), среднюю (MAE) и медианную (MedAE) абсолютную погрешность рассчитывали для каждой формулы. Отдельно оценивали процент глаз с MNE в пределах $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр для каждой формулы.

В группе I были определены следующие максимальные средние погрешности оценки: для формулы Haigis ($0,88 \pm 0,35$), далее для формулы Olsen, Barrett Universal II, Kane, SRK/T, Holladay 2 и Hoffer-Q ($0,51 \pm 0,12$, $0,16 \pm 0,38$, $0,13 \pm 0,28$, $0,10 \pm 0,59$, $0,05 \pm 0,54$ и $-0,12 \pm 0,42$, соответственно). Схожие данные получены и для средней абсолютной погрешности – для формул Haigis, Olsen, Barrett Universal II, SRK/T, Holladay 2, Hoffer-Q и Kane она составила $0,85 \pm 0,31$, $0,78 \pm 0,25$, $0,21 \pm 0,10$, $0,79 \pm 0,23$, $0,73 \pm 0,24$, $0,19 \pm 0,08$ и $0,17 \pm 0,06$, соответственно, что свидетельствует о преимуществе формул Hoffer-Q, Barrett Universal II и Kane при расчете оптической силы монофокальных ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза менее 20,0 мм.

Процент глаз с достижением рефракции в пределах $\pm 0,50$ дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 23,1%, 65,4%, 19,2%, 26,9%, 34,6%, 61,5% и 71,2%, соответственно, в пределах $\pm 1,00$ дптр – 86,5%, 98,1%, 82,7%, 92,3%, 88,5% и 96,2% и 100%, соответственно.

Несмотря на отсутствие значимой абсолютной ошибки при применении указанных формул, попарный анализ с учетом каждой из исследуемых формул выявил значимые различия для формул Hoffer-Q, Barrett Universal II и Kane в сравнении с формулами Haigis, Olsen, SRK/T и Holladay II ($p < 0,05$) во всех случаях, соответственно, что свидетельствует о преимуществе указанных формул для группы пациентов с короткими глазами.

Проведенный анализ средних значений диаметра роговицы (white-to-white) и толщины хрусталика в дооперационном периоде между группами не выявил статистически значимых различий между группами. В группе I диаметр роговицы составил $11,38 \pm 0,40$ мкм, в группе III – $11,81 \pm 0,41$ мкм ($p > 0,05$). Отсутствие значимых различий показано и для толщины хрусталика. Так, в группе I данный параметр составил $4,69 \pm 0,22$ мм, а в группе III – $4,61 \pm 0,33$ мкм ($p > 0,05$).

Показано, что учет таких параметров глаза как диаметр роговицы и толщина хрусталика не влияет на точность расчета ИОЛ с использованием указанных формул ни в группе глаз с короткой передне-задней осью (менее 20,0 мм), ни в группе контроля с длиной глаза 22,0 - 24,0 мм.

Использованная техника факоэмульсификация хрусталика учитывала анатомо-морфологические особенности «коротких» глаз, что позволило сократить количество интраоперационных и профилактировать ранние послеоперационные осложнения.

В первой группе интраоперационных осложнений не выявлено.

Количество осложнений в послеоперационном периоде в группе I было сравнительно небольшим: в двух случаях (6,7%) наблюдалось появление

транзиторных складок десцеметовой оболочки в раннем послеоперационном периоде, которые не потребовали дополнительного лечения, транзиторная офтальмогипертензия - в двух случаях (6,7%).

Группа II характеризовалась статистически незначимыми ($p < 0,05$) различиями в средней погрешности оценки для формул Holladay 2, Hoffer-Q, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane ($0,19 \pm 0,14$, $0,23 \pm 0,08$, $0,15 \pm 0,09$, $0,21 \pm 0,13$, $0,17 \pm 0,21$ и $0,12 \pm 0,02$ дптр, соответственно). Вместе с тем при использовании формул Haigis и Kane получена наименьшая средняя погрешность оценки ($0,11 \pm 0,02$ и $0,12 \pm 0,02$, соответственно), различия значимы на уровне тенденции ($0,05 < p < 0,1$).

Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 0,50$ Дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 79,0%, 81,5%, 93,4%, 88,9%, 80,2%, 92,5% и 95,1%, соответственно ($p < 0,05$ для формул Haigis, Barrett Universal II и Kane), в пределах $\pm 1,00$ дптр – 97,5%, 100%, 100%, 100%, 93,4%, 100% и 100%, соответственно.

Средняя абсолютная погрешность – для формул Kane, Haigis, Hoffer-Q, Barrett Universal II, SRK/T, Holladay 2 и Olsen она составила $0,09 \pm 0,03$, $0,08 \pm 0,02$, $0,16 \pm 0,11$, $0,18 \pm 0,05$, $0,19 \pm 0,09$, $0,23 \pm 0,06$ и $0,24 \pm 0,13$ дптр, соответственно, что свидетельствует о некотором преимуществе формул Kane и Haigis при расчете оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 20,0-22,0 мм.

Проведенный сравнительный анализ показал значимое ($p < 0,05$) преимущество формул Kane и Haigis по сравнению с Holladay II и Olsen, а также значимое на уровне тенденции ($0,05 < p < 0,1$) по сравнению с Hoffer-Q, SRK/T и Barrett Universal II. При попарном сравнении других исследуемых формул статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$).

Проведенный анализ средних значений диаметра роговицы (white-to-white) и толщины хрусталика в дооперационном периоде между II и III группами. Статистически значимых различий между группами не выявлено.

В группе II диаметр роговицы составил $11,73 \pm 0,56$ мкм, в группе III – $11,81 \pm 0,41$ мкм ($p > 0,05$).

При оценке толщины хрусталика значимых различий не определено. В группе II среднее значение параметра составило $4,56 \pm 0,40$ мм, а в группе III – $4,61 \pm 0,33$ мкм ($p > 0,05$).

Сравнительном анализ параметров диаметра роговицы и толщины хрусталика в группах I и II значимых различий не выявил. Диаметр роговицы ($11,38 \pm 0,40$ мкм и $11,73 \pm 0,56$ мкм, соответственно) и толщина хрусталика ($4,69 \pm 0,22$ мм и $4,56 \pm 0,40$ мм, соответственно) были схожими у пациентов двух групп ($p > 0,05$).

Определено, что учет таких параметров глаза как диаметр роговицы и толщина хрусталика не влияет на точность расчета ИОЛ с использованием представленных формул вне зависимости от передне-заднего размера глаза.

Количество интраоперационных и послеоперационных осложнений в группе II было незначительным: наблюдалась повышение внутриглазного давления интраоперационно в одном случае (1,2%), послеоперационная транзиторная офтальмогипертензия в трех случаях (3,7%), Iris-floppy синдром в одном случае (1,2%) и в двух случаях было имплантировано внутрикапсульное кольцо в связи со слабостью цинновых связок хрусталика (2,5%). Низкая частота осложнений у данных пациентов коррелирует с подобной статистикой и в других исследованиях.

В группе III для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane при оценке средней погрешности оценки не выявлено ($0,10 \pm 0,12$, $0,08 \pm 0,19$, $0,02 \pm 0,05$, $0,13 \pm 0,09$, $0,11 \pm 0,04$, $0,06 \pm 0,10$ и $0,04 \pm 0,07$, соответственно). Схожие данные определены и для средней абсолютной погрешности ($0,23 \pm 0,09$, $0,29 \pm 0,13$, $0,15 \pm 0,06$, $0,19 \pm 0,12$, $0,16 \pm 0,04$, $0,12 \pm 0,08$ и $0,10 \pm 0,06$, соответственно), что свидетельствует о сопоставимой эффективности всех исследуемых формул для расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с нормальной аксиальной длиной.

При проведении попарного анализа значимых различий между исследуемыми формулами не выявлено.

Процент глаз с абсолютной погрешностью в пределах $\pm 0,50$ дптр для формул Holladay 2, Hoffer-Q, Haigis, SRK/T, Olsen, Barrett Universal II и Kane составил 100%, 97%, 100%, 100%, 100% и 100%, соответственно, в пределах $\pm 1,00$ дптр – 100% для всех исследуемых формул.

Количество интраоперационных и послеоперационных осложнений в группе III составило: три случая транзиторной офтальмогипертензии в раннем послеоперационном периоде (4,5%).

В трех подгруппах группы IV нами было достигнуто увеличение НКОЗ и МКОЗ в послеоперационном периоде. В подгруппе IVa показано увеличение НКОЗ с $0,12 \pm 0,08$ до $0,57 \pm 0,20$ ($p < 0,05$), а МКОЗ с $0,54 \pm 0,28$ до $0,64 \pm 0,24$ ($p > 0,05$). Для подгруппы IVb отмечена динамика НКОЗ с $0,1 \pm 0,12$ до $0,56 \pm 0,23$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,48 \pm 0,26$ до $0,65 \pm 0,25$ ($p > 0,05$). В подгруппе IVc определен рост НКОЗ с $0,15 \pm 0,17$ до $0,61 \pm 0,26$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,56 \pm 0,24$ до $0,70 \pm 0,22$ ($p > 0,05$). Таким образом, во всех исследуемых группах отмечен статистически значимый рост НКОЗ через 6 месяцев наблюдений.

Анализ рассчитанных средних погрешностей показал, что при одинаковых значениях средней абсолютной погрешности для нескольких формул их эффективность в данной группе пациентов одинакова, несмотря на возможную различную частоту попадания в целевую рефракцию в одной из групп.

Также было отмечено, что увеличение показателя средней абсолютной погрешности находится в прямой зависимости с уменьшением глубины передней камеры глаза.

При определении медианной абсолютной погрешности (MedAE) определено, что в подгруппе IVa значимых различий при сравнении MedAE для семи формул не выявлено ($p > 0,05$). Наибольшие значения MedAE (0,51, 0,49 и 0,52 соответственно) и меньший диапазон MNE ($-0,03 \pm 0,89$, $-0,01 \pm 0,97$

и $-0,04 \pm 0,74$, соответственно) показаны для формул Haigis, Barrett Universal II и Kane.

Отсутствие значимых различий при сравнении MedAE показано и для подгруппы IVb, однако значения данного показателя при использовании формулы Haigis, в отличие от подгруппы IVa было наименьшим и составило 0,45, а наибольшее – для формул SRK/T и Olsen (0,59 и 0,56, соответственно). Данные формулы характеризовались наибольшим значением MAE (0,70 и 0,67, соответственно), в то время как для других формул MAE была ниже ($p > 0,05$). Для формулы Haigis показано наименьшее значение MNE ($0,05 \pm 0,69$), далее следовала формула Holladay 2 ($-0,02 \pm 0,71$). Различия MNE для исследуемых формул не были статистически значимыми ($p > 0,05$).

В подгруппе IVc значимых различий при сопоставлении средних значений MedAE не выявлено ($p > 0,05$). Наименьшая MedAE (0,17 и 0,19, соответственно) и лучшие значения MNE ($-0,01 \pm 0,58$ и $0,01 \pm 0,48$, соответственно) показаны для формул Haigis и Kane, в то время как формула SRK/T характеризовалась наибольшей MedAE (0,37).

Процент глаз со средней числовой погрешностью (MNE) в диапазоне $\pm 0,25$, $\pm 0,50$, $\pm 1,0$ и $\pm 2,0$ дптр был рассчитан для каждой формулы по группам. Показатель MNE обратно пропорционален количеству глаз, попавших в целевую рефракцию, то есть низкое значение средней числовой погрешности соответствует большей частоте попадания в целевую рефракцию. Результаты были сопоставимы во всех трех группах, за исключением процента достижения рефракции $\pm 0,50$ дптр в подгруппе IVb, где показано значимое преимущество формул Haigis и Kane ($p < 0,05$).

При анализе отдаленных результатов во всех трех подгруппах группы V показано увеличение НКОЗ и МКОЗ. Для подгруппы Va отмечено увеличение НКОЗ с $0,06 \pm 0,05$ до $0,45 \pm 0,22$ ($p < 0,05$), а МКОЗ с $0,53 \pm 0,22$ до $0,55 \pm 0,24$ ($p > 0,05$). Подгруппа Vb характеризовалась динамикой НКОЗ с $0,12 \pm 0,12$ до $0,60 \pm 0,23$ ($p < 0,05$), МКОЗ с $0,55 \pm 0,28$ до $0,69 \pm 0,23$ ($p > 0,05$). В подгруппе Vc определено увеличение НКОЗ с $0,19 \pm 0,18$ до $0,67 \pm 0,20$

($p < 0,05$), МКОЗ с $0,47 \pm 0,25$ до $0,73 \pm 0,22$ ($p < 0,05$). Таким образом, во всех исследуемых группах отмечен статистически значимый рост НКОЗ через 6 месяцев наблюдений, а в группе Vc – статистически значимое увеличение МКОЗ.

В подгруппе Vb, характеризующейся средними значениями кривизны роговицы, значимых различий при сравнении MedAE для семи формул не выявлено ($p > 0,05$). Применение формул Barrett Universal II и Kane приводило к меньшим средним значениям MedAE и MAE, однако данные различия не были статистически значимыми.

В подгруппах Va и Vc, в которых отмечены более маргинальные значения K1 и K2, применение формул Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T и Olsen было ассоциировано с худшими значениями MAE и MedAE по сравнению с формулами Haigis, Barrett Universal II и Kane ($p < 0,05$). Значимых различий в MNE не выявлено ($p > 0,05$).

Показано, что при большем отклонении средних значений кривизны роговицы от медианы применение формул Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T и Olsen приводило к большей рефракционной ошибке, что не позволяет рекомендовать их для использования в клинической практике.

Зрительная реабилитация пациентов с «коротким» глазом остается непростой и ответственной задачей, учитывая, что половина проводимых вмешательств – рефракционная замена прозрачного хрусталика глаза. Требования таких пациентов к послеоперационной рефракции велики. Но несмотря на успехи современной офтальмологии, процент достижения рефракции цели у данных пациентов, по-прежнему далек от уровня эффективности пациентов со «стандартным» строением глаза.

Полученные данные позволяют выработать алгоритм подхода к расчётам интраокулярных линз на глазах с гиперметропией высокой степени, представлены в практических рекомендациях.

ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов факоэмульсификации катаракты и рефракционной ленсэктомии на глазах с аксиальной длиной от 20,0 мм до 22,0 мм свидетельствует о преимуществе использования формул Haigis и Kane по сравнению с Hoffer-Q, Barrett Universal II, SRK/T, Holladay 2 и Olsen вследствие наименьших значений средней абсолютной ошибки ($0,08 \pm 0,02$ и $0,09 \pm 0,03$ дптр в сравнении с $0,16 \pm 0,11$, $0,18 \pm 0,05$, $0,19 \pm 0,09$, $0,23 \pm 0,06$ и $0,24 \pm 0,13$ дптр соответственно) и достижения рефракции «цели» ($\pm 0,5$ дптр) в 95,1 и 93,4% (по сравнению с 81,5; 92,5; 88,9; 79,0; 80,2%) случаев соответственно. При аксиальной длине глаза от 22,0 мм до 24,0 мм достоверная разница в точности указанных формул не определяется.
2. Определено, что при аксиальной длине глаза менее 20,0 мм формулы Kane, Hoffer Q и Barrett Universal II (средняя абсолютная погрешность $0,17 \pm 0,06$, $0,19 \pm 0,08$ и $0,21 \pm 0,10$ соответственно) имеют достоверное преимущество над формулами SRK/T, Holladay II, Olsen, Haigis (средняя абсолютная погрешность $0,79 \pm 0,23$, $0,73 \pm 0,23$, $0,78 \pm 0,25$, $0,85 \pm 0,31$), при этом формула Kane обеспечивает наибольшую точность, позволяя достигать рефракции «цели» в 71,2%.
3. В случае сочетания аксиальной длины глаза менее 22,0 мм с глубиной передней камеры от 2,5 до 2,9 мм формулы Haigis и Kane обеспечивают достижение рефракции «цели» в 67,3% и 65,3% случаях, соответственно. Определена прямая зависимость снижения вероятности достижения рефракции «цели» при уменьшении передне-заднего размера глаза и глубины передней камеры глаза применительно ко всем используемым в анализе формулам.
4. Показано, что при сочетании «короткого» глаза и показателя кератометрии менее 44,0 Дптр - более 46,00 дптр применение формул Hoffer Q, Holladay 2, SRK/T, Haigis, Olsen приводило к достижению рефракции «цели» не более, чем в 58,3% случаев. Наилучшие результаты (70% случаев)

достижения запланированной рефракции определены при использовании формул Barrett Universal II и Kane в сочетании с показателями кривизны роговицы от 44,00 дптр до 46,00 дптр и аксиальной длины глаза менее 22,0 мм.

5. Определено, что диаметр роговицы и толщина хрусталика значимо не различались вне зависимости от аксиальной длины глаза ($p>0,05$) и, соответственно, не влияли на точность расчета ИОЛ при показателях передне-заднего размера глаза от 24,0 мм и менее.

6. Установлено, что техника факоэмульсификации методом «Бури и Ломай» у пациентов с «короткой» аксиальной длиной глаза, позволяет снижать хирургическую нагрузку на интраокулярные ткани, минимизирует частоту интраоперационных осложнений и позволяет предупреждать развитие осложнений в раннем послеоперационном периоде.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Рекомендуется использование формул Kane, Hoffer Q и Barrett Universal II, в случае аксиальной длины глаза менее 20,0 мм, т.к. определено их достоверное преимущество в сравнении с формулами SRK/T, Holladay II, Olsen, Haigis.
2. Рекомендуется применение формул Haigis, Kane при сочетании аксиальной длины глаза менее 22,0 мм и глубины передней камеры 2,5 – 2,9 мм, что позволяет достигать запланированной рефракции в 67,3% и 65,3% случаев соответственно.
3. У пациентов с «коротким» глазом и значениями кривизны роговицы менее 44,00 дптр - более 46,00 дптр рекомендуется применение формул Barrett Universal II и Kane.
4. У пациентов с аксиальной длиной глаза менее 22,0 мм рекомендовано использовать технику хирургического вмешательства (факоэмульсификации) по методике «Бури и Ломай».
5. Рекомендуется, при планировании экстракции хрусталика на глазах менее 22,0 мм, учитывать, что при уменьшении размера глаза и глубины передней камеры уменьшается процент достижения рефракции цели, что важно при расчете монофокальных и, в особенности, мультифокальных ИОЛ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ФЭК – факэмульсификация катаракты

ИОЛ – интраокулярная линза

SE – сферический эквивалент

E – погрешность оценки

ME – средняя погрешность

AE – абсолютная погрешность

MAE – средняя абсолютная погрешность

MedAE – медианная абсолютная погрешность

MNE – средняя числовая погрешность

AL – аксиальная длина глаза

ACD – глубина передней камеры

W-to-W – диаметр роговицы от «белого до белого»

НКОЗ – не скорригированная острота зрения

МКОЗ – максимально скорригированная острота зрения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова, В.В. Гиперметропия в разных возрастных группах / В.В. Агафонова, М.Л. Митронина // IX Съезд офтальмологов России: тезисы докладов. - М., 2010. - С. 80.
2. Азнабаев, Б.М. Ультразвуковая хирургия катаракты – факоэмульсификация. / Б.М. Азнабаев. – М.: Август Борг, 2005. - 130 с.
3. Арзамасцев, А.А. Оптимизация формул для расчета ИОЛ. / А.А. Арзамасцев, О.Л. Фабрикантов [и соавт.] // Вестник тамбовского университета. - 2016. - №1. - С. 208-213.
4. Балашевич, Л.И. Применение законов параксиальной оптики для расчёта оптической силы интраокулярной линзы. / Л.И. Балашевич, Е.В. Даниленко, Т.В. Шаров // Офтальмохирургия. - 2012. - №4. - С. 39-43.
5. Батьков, Е.Н. Расчет оптической силы интраокулярной линзы при рефракционной хирургии «экстремальной» гиперметропии. / Е.Н. Батьков, Н.П. Паштаев, В.И. Михайлова // Вестник офтальмологии. - 2019. - №1. - С. 21-27.
6. Беликова, Е.И. Биоптическое хирургическое лечение пресбиопии у пациентов с катарактой на фоне аномалий рефракций высоких степеней. / Е.И. Беликова, С.В. Антонюк, С.А. Кочергин // Офтальмохирургия. - 2010. - №3. - С. 4-9.
7. Бранчевский, С. Л. Распространенность нарушения зрения вследствие катаракты по данным исследования RAAВ в Самаре / С. Л. Бранчевский, Б. Э. Малюгин // Офтальмохирургия. – 2013. - № 3. - С. 82-85.

8. Буратто, Л. Хирургия катаракты. Переход от экстракапсулярной экстракции катаракты к факоэмульсификации. / Л. Буратто – Fabiano Editore, 1999. – 249с.
9. Виноградов, А.Р. Опыт имплантации мультифокальных ИОЛ Alcon PanOptix. / А.Р. Виноградов, Б.Г. Джаши, В.П. Фокин [и соавт.] // Современные технологии в офтальмологии. - 2019. - №4. - С.45-49.
10. Ворошилова, Н.А. Влияние комплекса биометрических показателей на точность расчета оптической силы ИОЛ: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Ворошилова Наталья Александровна. - М., 2008. с.23. с.140.
11. Заболотный, А.Г. Морфологические особенности строения гиперметропического глаза в норме и при развитии катаракты. / А.Г. Заболотный, К.С. Мисакьян // Практическая медицина. - 2016. - № 2. - С. 7-10.
12. Захарова, И.А. Анализ рефракционных результатов расчета ИОЛ в зависимости от биометрических особенностей глаз. / И.А. Захарова, И.А. Исакова // Современные технологии в офтальмологии. - 2019. - №5. - С. 28-32.
13. Зубарева, Л.Н. Факторы перинатального периода, способствующие формированию гиперметропической рефракции. / Л.Н. Зубарева, А.В. Овчинникова, Ю.В. Кутя // Российский общенациональный офтальмологический форум: Сб. науч. трудов. - М., 2009. - Т. 1. - С. 355 -359.
14. Иванов, М.Н. Формула расчета оптической силы интраокулярных линз. / М.Н. Иванов, А.Ю. Шевелев. // Вестник офтальмологии. - 2004. - №3. - С. 52 - 54.
15. Иошин, И.Э. Результаты факоэмульсификации катаракты с использованием данных оптической биометрии / И.Э. Иошин [и соавт.]

- // Кремлевская медицина. Клинический вестник. - 2009. - №2. - С. 112-113.
16. Киселёва, Т.Н. Возможности ультразвуковых методов исследования в расчёте оптической силы интраокулярных линз. / Т.Н. Киселёва, Р.А. Гундорова, Л.И. Романова [и соавт.] // Катарактальная и рефракционная хирургия. - 2012. - №2. - С. 9-12
 17. Киселева, Т.Н. Оптическая биометрия глаза: принцип и диагностические возможности метода. / Т.Н. Киселева, О.Г. Оганесян, Л.И. Романова [и соавт.] // Российская педиатрическая офтальмология. - 2017. - №1. - С. 35 – 42.
 18. Копаева, В.Г. Глазные болезни. Основы офтальмологии. / В.Г. Копаева. – М.: Медицина, 2012. - С. 552.
 19. Королева, И.А. Возрастная катаракта: профилактика и лечение. / И.А. Королева, Е.А. Егоров // Российский медицинский журнал. Клиническая офтальмология. - 2018. - №4. - С. 194-197.
 20. Куликов, А.Н. К вопросу расчета оптической силы ИОЛ с помощью «IOLmaster» и нескольких методов кератотопографии. / А.Н. Куликов, Н.А. Котова, Е.В. Кокарева. // Современные технологии в офтальмологии - 2016. - №3. - С. 188-192.
 21. Либман, Е.С. Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России. / Е.С. Либман, Е.В. Шахова // Вест. офтальмологии. – 2006. - №1. - С. 35-37.
 22. Луговской, А.Е. Клиническая оценка функциональных результатов имплантации мультифокальной ИОЛ Lenis Comfort при факоемульсификации возрастной катаракты. / А.Е. Луговской, Е.Л. Сорокин, Я.В. Белоношко // Современные технологии в офтальмологии. - 2017. - №2. - С.42-44.
 23. Малюгин, Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция афакии: достижения, проблемы и перспективы развития / Б.Э. Малюгин // Вестник офтальмологии. - 2006. - №1. - С. 37-41.

- 24.Малюгин, Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии. / Б.Э. Малюгин // Вестник офтальмологии. - 2014. - №6. - С. 80-88.
- 25.Мийович, О.П. Имплантация мультифокальных ИОЛ для коррекции пресбиопии: сравнительный анализ. / О.П. Мийович, К.Б. Першин, Н.Ф. Пашинова [и соавт.] // Современные технологии в офтальмологии. - 2018. - №5. - С.99-101.
- 26.Митяева, Е.Н. Имплантация мультифокальной ИОЛ с ассиметричной оптикой у пациентов с первичной глаукомой. / Е.Н. Митяева, И.А. Лоскутов //Национальный журнал «Глаукома». - 2015. - №4. - С. 52-57.
- 27.Назарли, Д.А. Распространенность аномалии рефракции среди студентов высших учебных заведений Азербайджанской республики. Опыт мобильной клиники национального центра офтальмологии имени академика Зарифы Алиевой. / Д.А. Назарли // Офтальмология - 2017. - №24. - С. 55-60.
- 28.Орлова, О.М. Анализ прогрессирования катаракты в России с учетом данных естественной смертности населения. / О.М. Орлова, В.Н. Трубилин, К.В. Жуденков // Практическая медицина. - 2016. – №2. – С. 70-73.
- 29.Орлова О.М. Хирургия катаракты как медико-социальная проблема. / Орлова О.М., Трубилин В.Н. // Социология медицины. - 2017. – №2. – С. 119-122.
- 30.Першин, К.Б. Реконструктивная хирургия переднего отрезка глаза с короткой передней-задней осью у больных с начальной закрытоугольной глаукомой (клинические исследования): Автореф. дисс. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Першин Кирилл Борисович. – М., 1996. с15.
- 31.Першин, К.Б. Интраоперационное супрахориоидальное кровотечение. / К.Б. Першин, Н.Ф. Пашинова // Офтальмохирургия и терапия. – 2002. - №2. – С.39 – 43.

- 32.Першин, К.Б. Занимательная факоемульсификация. Записки катарактального хирурга / К.Б. Першин - СПб.: Борей-Арт, 2007. - 74 с., 79 с.
- 33.Першин, К.Б. Факоемульсификация с имплантацией ИОЛ при экстремально высокой миопии / К.Б. Першин [и соавт.] // Катарактальная и рефракционная хирургия. - 2015. - №3. - С.14-21.
- 34.Першин, К.Б. Особенности расчета оптической силы ИОЛ у пациентов с аксиальной длиной глаза 24-28 мм без предшествующих рефракционных вмешательств / К.Б. Першин [и соавт.] // Офтальмология. - 2016. - №2. - С. 89-96.
- 35.Першин, К.Б. Биометрия при расчете оптической силы ИОЛ как фактор успешной хирургии катаракты. / К.Б. Першин, Н.Ф. Пашинова, А.Ю. Цыганков [и соавт.] // Катарактальная и рефракционная хирургия. - 2016. - №2. - С.15-22.
- 36.Проничкин, Д.В. Наш опыт факоемульсификации и имплантации интраокулярных линз при гиперметропии высокой степени. / Д.В. Проничкин, И.В. Иволгина // Вестник ТГУ. - 2015. - №3. - С. 670-672.
- 37.Романова, Л.И. Принципы и методы биометрии для расчёта оптической силы интраокулярных линз после передней дозированной радиальной кератотомии: дисс. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Романова Любовь Ивановна. - М.,2018. с. 145
- 38.Сетко, Н.П. Распространенность аномалии рефракции у студентов медицинского ВУЗа. / Н.П. Сетко, А.Е. Апрелев, А.М. Исеркепова [и соавт.] // Медицинский вестник Башкортостана. - 2017. - №2. - С. 39-41.
- 39.Темиров, Н.Н. Зрительные функции и клиническая рефракция пациентов после имплантации различных типов мультифокальных интраокулярных линз. / Н.Н. Темиров, Н.Э. Темиров // Офтальмология. - 2015. - №2. - С. 37-42.

- 40.Трон, Е.Ж. Изменчивость элементов оптического аппарата глаза и его значение для клиники. / Е.Ж. Трон - Л.: Издательство военно-медицинской академии, 1947. - 271 с.
- 41.Федоров, С.Н. Методика расчета оптической силы интраокулярной линзы / С.Н. Федоров, А.И. Колинко // Вестник офтальмологии. - 1967. - Т.80. - С. 27-31.
- 42.Федорова, И.С. Интраокулярная коррекция аметропий крайних степеней с применением индивидуальных мультифокальных ИОЛ. / И.С. Федорова, Т.С. Кузнецова [и соавт.] // Офтальмохирургия. - 2013. - №3. - С.46-51.
- 43.Филатов, А.В. Медико-социальная характеристика больных с ранней возрастной катарактой / А.В. Филатов, И.Н. Субботина, Л.Г. Веретенникова // 4-я Евро-Азиатская конференция по офтальмохирургии: тез. докладов. - Екатеринбург, 2006. - С. 229-230.
- 44.Черняков, Л. «Crack and Cram» - техника, упрощающая факоэмульсификацию и снижающая риск потенциальных осложнений / Л Черняков, Л. Першин К. // Сб. науч. статей «Современные технологии хирургии катаракты». - М., 2000. – С.183-192.
- 45.Шухаев, С.В. Сравнительная оценка попадания в рефракцию цели у трех монофокальных гибких интраокулярных линз. / С.В. Шухаев, О.В. Кириллова, А.М. Загорулько // Офтальмохирургия. - 2018. - №1. - С. 53 – 58.
- 46.Югай, М.П., Рябцева, А.А. Способ оперативного лечения катаракты у больных с короткой передней-задней осью глаза. // Патент РФ №2 611886, 01.03. 2017.
- 47.Юсеф, Ю.Н. Особенности расчета оптической силы интраокулярных линз при микрофтальме. / Ю.Н. Юсеф, А.А. Касьянов, С.Н. Юсеф [и соавт.] // Вестник офтальмологии. - 2006. - №5. - С.38-39.

48. Abulafia, A. Intraocular lens power calculation for eyes with an axial length greater than 26.0 mm: Comparison of formulas and methods. / A. Abulafia. [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015. – Vol.41. - №3. - P. 548-556.
49. Andrew, M.J. Tunbull. Using the first-eye prediction error in cataract surgery to refine the refractive outcome of the second eye. / M.J. Andrew [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2019. - Vol.45. - №9. - P.1239–1245.
50. Aristodemou, P. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. / P. Aristodemou, N.E. Knox Cartwright [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2011. Vol.37. - №1. – P. 63-71.
51. Aristodemou, P. First eye prediction error improves second eye refractive outcome results in 2129 patients after bilateral sequential cataract surgery / P. Aristodemou [et al] // Ophthalmology. - 2011. - Vol.119. – P. 1701–1709.
52. Aristodemou, P. Intraocular lens formula constant optimization and partial coherence interferometry biometry: Refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery / P. Aristodemou [et al] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2011. - Vol.37. - P. 50-62.
53. Aristodemou, P. Improving refractive outcomes in cataract surgery: A global perspective. / P. Aristodemou, N.E.K. Cartwright [et al.] // World J. Ophthalmol. - 2014. - Vol.4. - №4. - P. 140-146.
54. Auffarth, G.U. Relative anterior microphthalmos; morphometric analysis and its implications for cataract surgery. / G.U. Auffarth, M. Blum, U. Faller [et al.] // Ophthalmology. - 2000. - Vol.107. - P. 1555-1560.
55. Barrett, G.D. Intraocular lens calculation formulas for new intraocular lens implants. / G.D. Barrett // J Cataract. Refract. Surg. - 1987. - Vol.13. - P. 389–396.
56. Barrett, G.D. An improved universal theoretical formula for intra- ocular lens power prediction. / G.D Barrett // J. Cataract. Refract. Surg. - 1993. - Vol.19. - P. 713–720.

- 57.Behndig, A. Aiming for emmetropia after cataract surgery: Swedish National Cataract Register study. / A. Behndig, P. Montan, U. Stenevi [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2012. - Vol.38. - P. 1181–1186.
- 58.Binkhorst, R.D. The optical design of intraocular lens implants. / R.D. Binkhorst //Ophthalmic Surg. - 1975. - Vol.6. №3. - P. 17-31.
- 59.Brockhurst, R.J. Nanophthalmos with uveal effusion: a new clinical entity. / R.J. Brockhurst. // Trans. Am. Ophthalmol. Soc. - 1974. - Vol.72. - P. 371–403.
- 60.Buckhurst, P.J. A new optical low coherence reflectometry device for ocular biometry in cataract patients. / P.J Buckhurst, J.S. Wolffson, S. Sha [et al.] // Br. J. Ophthalmol. - 2009. - Vol.93. - P.949–953.
- 61.Carifi, G. Cataract surgery in small adult eyes. / G. Carifi, F. Safa, F. Aiello [et al.] // Br. J. Ophthalmol. - 2014. - Vol.98. - P. 1261–1265.
- 62.Carifi, G. Accuracy of the Refractive Prediction Determined by Multiple Currently Available Intraocular Lens Power Calculation Formulas in Small Eyes. / G. Carifi, F. Aiello, V. Zygoura [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2015. - Vol.159. - №3. - P. 577–583.
- 63.Charalampidou, S. Effect on refractive outcomes after cataract surgery of intraocular lens constant personalization using the Haigis formula. / S. Charalampidou, L. Cassidy [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2010. - Vol.36. - №7. - P. 1081–1089.
- 64.Colenbrander, M.C. Calculation of the power of an iris clip lens for distant vision. / M.C. Colenbrander. // Br. J. Ophthalmol. - 1973. - Vol.57. - №10. - P. 735-740.
- 65.Connell, B.J. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection / B.J. Connell, J.X. Kane // BMJ Open Ophthalmology 2019;4:e000251. doi: 10.1136/bmjophth-2018-000251
- 66.Connors, R. Accuracy and reproducibility of biometry using partial coherence interferometry. / R. Connors, P. Boseman, R. Olson // J. Cataract. Refract. Surg. - 2002. - Vol.28. - P. 235–238.

- 67.Cooke, D.L. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. / D.L. Cooke, T.L. Cooke. // J. Cataract. Refract. Surgery. - 2016. - Vol.42. - P. 1157– 1164.
- 68.Cooke, D.L. Prediction accuracy of preinstalled formulas on 2 optical biometers. / D.L. Cooke, T.L. Cooke // J. Cataract. Refract. Surgery. - 2016. - Vol.42. - №3. - P. 358–362.
- 69.Cruysberg, L.P.J. Evaluation of the Lenstar LS 900 non-contact biometer. / L.P.J. Cruysberg, [et al.] // Br. J. Ophthalmol. - 2010. - Vol.94. - P. 106–110.
- 70.Darcy, K. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10 930 eyes from the UK National Health Service. / K. Darcy [at al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2020. – Vol.46. - №1. – P. 2-7.
- 71.Day, A.C. Accuracy of intraocular lens power calculations in eyes with axial length <22.00 mm. / A.C. Day, P.J. Foster, J.D. Stevens. // Clin. Exper. Ophthalmology. - 2012. - Vol.40. - №9. - P. 855-862.
- 72.Day, A.C. Outcomes of phacoemulsification and intraocular lens implantation in microphthalmos and nanophthalmos. / A.C. Day, R.E. MacLaren, C. Bunce [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2013. - Vol.39. - P. 87–96.
- 73.Day, A.C. The small eye phenotype in the EPIC-Norfolk eye study: prevalence and visual impairment in microphthalmos and nanophthalmos. / A.C. Day [et al.] // Br. Med. J. - 2013. - BMJ Open. 2013 Jul 24;3(7):e003280. doi: 10.1136/bmjopen-2013-003280. PMID: 23883889; PMCID: PMC3731707.
- 74.Doshi, D. Comparative study to assess the predictability of different IOL power calculation formulas in eyes of short and long axial length / D. Doshi, P. Limdi, N. Parekh [et al.] // J. Clin. Diagn. Research. – 2017. – Vol. 11. - №1. - NC01–NC04. Published online 2017.

- 75.Drexler, W. Partial coherence interferometry: a novel approach to biometry in cataract surgery. / W. Drexler, O. Findl, R. Menapace // Am. J. Ophthalmol. - 1998. - Vol.126. - P. 524–534.
- 76.Eom, Y. Use of corneal power-specific constants to improve the accuracy of the SRK/T formula / Y. Eom [et al.] // Ophthalmology. - 2013. - Vol.120. - P. 477–481.
- 77.Eom, Y. Comparison of Hoffer Q and Haigis formulae for intraocular lens power calculation according to the anterior chamber depth in short eyes. / Y. Eom, S.Y. Kang, J.S. Song [et al.] // Am. J. Ophthalmol. – 2014. – Vol.157. - №4. – P. 818-824.
- 78.Fam, H.B. Improving refractive outcomes at extreme axial lengths with the IOLMaster: the optical axial length and keratometric transformation. / H.B. Fam, K.L. Lim. // Br. J. Ophthalmol. - 2009. - Vol.93. - №5. - P. 678-683.
- 79.Faucher, A. Phacoemulsification and intraocular lens implantation in nanophthalmic eyes; report of a medium-size series. / A. Faucher, K. Hasanee, D.S. Rootman. // J. Cataract. Refract. Surg. - 2002. - Vol.28. - P. 837–842.
- 80.Fenzl, R.E. Refractive and visual outcome of hyperopic cataract cases operated on before and after implementation of the Holladay II formula. / R.E. Fenzl, J.P. Gills, M. Cherchio // Ophthalmology. – 1998. - Vol.105 - P. 1759–1764.
- 81.Fernández, J. New method to assess the accuracy of intraocular lens power calculation formulas according to ocular biometric parameters / J. Fernández, M. Rodríguez-Vallejo, F. Poyales [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2020. - Vol.46. - №6. - P. 849-856.
- 82.Findl, O. High precision biometry of pseudophakic eyes using partial coherence interferometry. / O. Findl, W. Drexler, R. Menapacev [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 1998. - Vol.24. - P.1087-1093.

83. Findl, O. Improved prediction of intraocular lens power using partial coherence interferometry. / O. Findl, W. Drexler, R. Menapace [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2001. - Vol.27. - №6. - P. 861-867.
84. Fink, A.M. Refractive lensectomy for hyperopia. / A.M. Fink, C. Gore, E.S. Rosen // Ophthalmology. – 2000. - Vol.107. - P. 1540 -1548.
85. Foster, P.J. Refractive error, axial length and anterior chamber depth of the eye in British adults: the EPIC-Norfolk Eye Study. / P.J. Foster, D.C. Broadway, S. Hayat. // Br. J. Ophthalmol. - 2010. - Vol.94. - P. 827-830.
86. Franzco, R.T.V. Comparison of Hill-radial basis function, Barrett Universal and current third generation formulas for the calculation of intraocular lens power during cataract surgery. / T.V.R. Franzco, C. Hodge, G. Sutton [et al.] // Clin. Exp. Ophthalmol. - 2018. - Vol.46. - №3. P. 240-246.
87. Gale, R.P. Benchmark standards for refractive outcomes after NHS cataract surgery. / R.P. Gale, M. Saldana, R.L. Johnston [et al.] // Eye. - 2009. - Vol.23. - P. 149-152.
88. Gavin, E. The accuracy of the autorefractor as an assessment of final refractive outcome following routine phacoemulsification. / E. Gavin, M. Hove, R. Goel [et al.] // Proceedings of 10th ESCRS Refractive Surgery Meeting: Book of Abstracts. - Monte Carlo, 2005. - P. 34.
89. Gavin, E.A. Intraocular lens power calculation in short eyes. / E.A. Gavin, C.J. Hammond // Eye. - 2008. - Vol.22. - P. 935-938.
90. Gokce, S.E. Intraocular lens power calculations in short eyes using 7 formulas. / S.E. Gökce, J.H. Zeiter, M.P. Weikert [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2017. - Vol.43. - №7. - P. 892-897
91. Hahn, U. Determination of valid benchmarks for outcome indicators in cataract surgery: a multicenter, prospective cohort trial. / U. Hahn, F. Krummenauer, B. Kölbl // Ophthalmology. - 2011. - Vol.118. - P. 2105-2112.
92. Haigis, W. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to

- Haigis. / W. Haigis, B. Lege, N. Miller [et al.] // Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. - 2000. - Vol.238. - P. 765- 773.
- 93.Haigis, W. The Haigis formula. [HJ Shammas, ed.] Intraocular Lens Power Calculations. Thorofare, NJ. SLACK Incorporated, 2003. – P. 41-57.
- 94.Haigis, W. Intraocular lens calculation in extreme myopia. / W. Haigis // J. Cataract. Refract. Surg. - 2009. - Vol.35. - P. 906-911.
- 95.Haigis, W. Challenges and approaches in modern biometry and IOL calculation. / W. Haigis. // Saudi. J. Ophthalmol. - 2012. - Vol.26. - №1. - P. 7–12.
- 96.Hairer, S. How to calculate the Constant A. / S. Hairer, T. Conze, J. Bovet. // Mastering the Techniques of IOL power calculations. - New Delhi. JAYPEE, 2009. – P. 28-30.
- 97.Hashemi, H. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis. / H. Hashemi [et al.] // J. Curr. Ophthalmol. – 2018. – Vol.30. -№1. - P.3-22.
- 98.Hoffer, K.J. Lens power calculation and the problem of the short eye. / K.J. Hoffer. // Ophthalmic. Surg. - 1982. - Vol.13. - №11. - P. 962.
- 99.Hoffer, KJ. The effect of axial length on posterior chamber lenses and posterior capsule position. / K.J. Hoffer. // Curr. concept. Ophthalmic. surg. - 1984. - Vol.1. - P.20-22.
100. Hoffer, KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. / Hoffer KJ. // J. Cataract. Refract. Surg. - 1993. - Vol.19. - №6. - P.700-712.
101. Hoffer, KJ. Clinical results using the Holladay 2 intraocular lens power formula. / K.J. Hoffer // J. Cataract. Refract. Surg. - 2000. - Vol.26. - №8. - P. 1233-1237.
102. Hoffer, K.J. Testing the dioptric power accuracy of exact-power-labeled intraocular lenses. / K.J. Hoffer, [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. - 2009. - Vol.35. - №11. - P. 1995-1999.

103. Hoffer, K.J. Comparison of 2 laser instruments for measuring axial length. / K.J. Hoffer, H.J. Shammas, G. Savini // J. Cataract. Refract. Surg. - 2010. - Vol.36. - P. 644–648.
104. Hoffer, KJ. Formulas and Programs: Formula Personalization. / KJ Hoffer. IOL Power. Thorofare, NJ.; SLACK Inc., 2011. – P.163-165.
105. Hoffer, K.J. IOL Power Calculation in Short and Long Eyes. / K.J. Hoffer, G. Savini // Asia Pac. J. Ophthalmol. (Phila). - 2017. – Vol.-6. – №4. – P. 330-331.
106. Hoffman, R.S. Cataract surgery in the small eye. / R.S. Hoffman, A.R. Vasavada, Q.B. Allen [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015.- Vol.41. – P.2565–2575.
107. Holladay, JT. A three-part system for refining intraocular lens power calculation formula. / JT. Holladay, TC. Prager, TY. Chandler // J. Cataract. Refract. surgery. - 1988 - Vol.14. - №2. - P. 17-24.
108. Holladay, J.T. Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye. / J.T. Holladay // Am. J. Ophthalmol. – 1993. – Vol.116. – P. 63–66.
109. Holladay, J.T. Achieving emmetropia in extremely short eyes with two piggyback posterior chamber intraocular lenses. / J.T. Holladay, J.P. Gills, J. Leidlein [et al.] // Ophthalmology. – 1996. – Vol.103. – P. 1118–1123.
110. Holladay, JT. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. / J.T. Holladay. // J. Cataract. Refract. Surg. – 1997. – Vol.23. - №9. – P. 1356-1370.
111. Holzer, M.P. Accuracy of a new partial coherence interferometry analyzer for biometric measurements. / M.P. Holzer, M. Mamusa, G.U. Auffarth // Br. J. Ophthalmol. – 2009. – Vol.93. - №6. – P. 807–810.

112. Hu, Z. A novel locus for congenital simple microphthalmia family mapping to 17p12-q12. / Z. Hu, C. Yu, J. Li [et al.] // Invest. Ophthalmol. – 2011. – Vol.52. – P. 3425–3429.
113. Jasvinder, S. Agreement analysis of LENSTAR with other techniques of biometry. / S. Jasvinder, T.F. Khang, K.K.S. Sarinder [et al.] // Eye. – 2011. – Vol.25. – P. 717–724.
114. Jung, K.I. Cataract surgery in eyes with nanophthalmos and relative anterior microphthalmos. / K.I. Jung, J.W. Yang, Y.C. Lee [et al.] // Am. J. Ophthalmol. - 2012 – Vol.153. – P. 1161–1169.
115. Jeong, J. The effect of ocular biometric factors on the accuracy of various IOL power calculation formulas. / J. Jeong, [et al.] // BMC Ophthalmol. – 2017. – Vol.17. – P. 62
116. Kane, J.X. Intraocular lens power formula accuracy: Comparison of 7 formulas. / J.X. Kane, A. Van Heerden, A. Atik [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2016. – Vol.42. - №10. – P. 1490-1500.
117. Kane, J.X. Accuracy of 3 new methods for intraocular lens power selection. / J.X. Kane, A. Van Heerden, A. Atik [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2017. – Vol.43. - №3. – P. 333-339.
118. Kaswin, G. Biometry and intraocular lens power calculation results with a new optical biometry device: comparison with the gold standard. / G. Kaswin, A. Rousseau, M. Mgarrech [et al.] // J. Cataract. Refract. Surgery. – 2014. – Vol.40. – P. 593– 600.
119. Khairallah, M. Posterior segment changes associated with posterior microphthalmos. / M. Khairallah, R. Messaoud, S. Zaouali [et al.] // Ophthalmology. – 2002. – Vol.109. – P. 569–574.
120. Kumar, B.V. Customization of IOL formulas. Mastering the Techniques of IOL power calculations. / B.V. Kumar. - New Delhi, JAYPEE, 2009. – P. 121-124.
121. Ladas, J.G. A 3-D "Super Surface" Combining Modern Intraocular Lens Formulas to Generate a "Super Formula" and Maximize Accuracy. /

- J.G. Ladas, A.A. Siddiqui, U. Devgan [et al.] // JAMA Ophthalmol. – 2015. – Vol.133. -№12. – P. 1431-1436.
122. Lam, S. Refractive outcomes after cataract surgery: Scheimpflug keratometry versus standard automated keratometry in virgin corneas. / S. Lam, B.K. Gupta, J.M. Hahn [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol.37. – P. 1984–1987.
 123. Lam, S. Comparing optical low coherence reflectometry and immersion ultrasound in refractive outcome after cataract surgery. / S. Lam. // J. Cataract. Refract. Surg. - 2013. - Vol.39. – P. 297– 298.
 124. Lee, A.C. Biometry and intraocular lens power calculation. / A.C. Lee, M.A. Qazi, J.S. Pepose. // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2008. – Vol.19. – P.13–17.
 125. Lemos, JA. Cataract surgery in patients with nanophthalmos: results and complications. / JA Lemos, P Rodrigues, RA Resende [et al.] // Eur. J. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 26. - №2. – P. 103-106.
 126. Limburg, H. Review of recent surveys on blindness and visual impairment in Latin America. / H. Limburg [et al.] // Br. J. Ophthalmol. – 2008. – Vol. 92. – P. 315- 319.
 127. Lowe, RF. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma; biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. / R.F. Lowe // Br. J. Ophthalmol. – 1970. – Vol.54. – P. 161–169.
 128. MacLaren, R.E. Biometry and formula accuracy with intraocular lenses used for cataract surgery in extreme hyperopia. / R.E. MacLaren, M. Natkunarajah, Y. Riaz. // Am. J. Ophthalmol. – 2007. – Vol.143. – P. 920–931
 129. Makoto, I. Intraocular lens power calculation for microphthalmos / I. Makoto, I. Katsunori, K. Ryouhei [et al.] // J. Cataract. Refractive. Surgery - 1997 – V.23. - №8. – P. 1208-1212

130. Marchini, G. Ultrasound biomicroscopic and conventional ultrasonographic study of ocular dimensions in primary angle-closure glaucoma. / G. Marchini, A. Pagliarusco, A. Toscano [et al.] // *Ophthalmology*. – 1998.- Vol.105. – P. 2091–2098.
131. Melles, R.B. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. / R.B. Melles, J.T. Holladay, W.J. Chang. // *Ophthalmology*. – 2018. – Vol.125. – P. 169–178.
132. Minassian, D. Extracapsular cataract extraction compared with small incision surgery by phacoemulsification: a randomised trial. / D. Minassian, P. Rosen, J. Dart [et al.] // *Br. J. Ophthalmol.* – 2001. – Vol. 85. - №7. – P. 822–829.
133. Muzyka-Wozniak, M. Anterior chamber depth and iris and lens position before and after phacoemulsification in eyes with a short or long axial length. / M. Muzyka-Wozniak, A. Ogar. // *J. Cataract. Refract. Surg.* - 2016. – Vol.42. – P. 563–568.
134. Mylonas, G. Performance of three biometry devices in patients with different grades of age-related cataract. / G. Mylonas, S. Sacu, W. Buehl [et al.] // *Acta. Ophthalmol.* – 2011. – Vol.89. – P. 237– 241.
135. Narváez, J. Accuracy of intraocular lens power prediction using the Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, and SRK/T formulas. / J. Narváez, G. Zimmerman, R.D. Stulting [et al.] // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2006. - Vol.32. - №12. – P. 2050-2053.
136. Nihalani, B.R. Cataract surgery in relative anterior microphthalmos. / B.R. Nihalani, U.D. Jani, A.R. Vasavada [et al.] // *Ophthalmology*. - 2005. – Vol.112. – P. 1360–1367.
137. Norrby, S . Sources of error in intraocular lens power calculation. / S.Norrby // *J. Cataract. Refract. Surg.* - 2008. - Vol.34. - №3. – P. 368-376.
138. Norrby, S. Multicenter biometry study of 1 pair of eyes. / S. Norrby // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2001. - Vol.27. - №10. - P. 1656-1661.

139. Olsen, T. Prediction of postoperative intraocular lens chamber depth. / T. Olsen, H. Olesen, K. Thim [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 1990. – Vol.16. - №5. – P. 587-590.
140. Olsen, T. Accuracy of the newer generation intraocular lens power calculation formulas in long and short eyes. / T. Olsen, K. Thim, L. Corydon // J. Cataract. Refract. Surg. – 1991. – Vol.17. – P. 187–93.
141. Olsen, T. Prediction of the effective postoperative (intraocular lens) anterior chamber depth / T.Olsen // J. Cataract. Refract. Surgery. - 2006. – Vol.32. - №3. – P. 419-424
142. Olsen, T. Calculation of intraocular lens power: a review. / T. Olsen. // Acta. Ophthalmol. Scand. – 2007. – Vol.85. – P. 472– 485.
143. Olsen, T. Improved accuracy of intraocular lens power calculation with the Zeiss IOLMaster. / Olsen T. // Acta. Ophthalmol. Scand. – 2007. – Vol.85. – P. 84–87.
144. Pesudovs, K. Autorefraction as an outcome measure of laser in situ keratomileusis. / K. Pesudovs // J. Cataract. Refract. Surg. – 2004. – Vol.30. – P. 1921–1928.
145. Pitts, J.F. The association of Fuchs's corneal endothelial dystrophy with axial hypermetropia, shallow anterior chamber, and angle closure glaucoma. / J.F. Pitts, J.L. Jay. // Br. J. Ophthalmol. – 1990. – Vol.74. – P. 601–604.
146. Preussner, PR. Ray tracing for intraocular lens calculation. / PR. Preussner, J. Wahl, H. Lahdo, [at al.] // J. Cataract Refract. Surg. – 2002. – Vol.28(8). P.1412-1419.
147. Rabsilber, T.M. Intraocular lens power calculation: Clinical comparison of 2 optical biometry devices. / T.M. Rabsilber, C. Jepsen, G.U. Auffarth [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol.36. – P. 230–234.
148. Ramawat, E. Efficacy of SRK-T, Holladay 1 and Hoffer Q IOL Formula Calculations in Ammetropes after Phacoemulsification / E.

- Ramawat, S. Subhash, T. Swati [et al.] // Ind. J. Med. Research. – 2015. - Vol.5. – №1. - P. 718-727
149. Reitblat, O. Accuracy of predicted refraction with multifocal intraocular lenses using two biometry measurement devices and multiple intraocular lens power calculation formulas. / O. Reitblat, E.I. Assia, G. Kleinmann [et al.] // Clin. Experiment. Ophthalmol. – 2015. -Vol.43. – P. 328– 334.
 150. Relhan, N. High-hyperopia database, part I: clinical characterisation including morphometric (biometric) differentiation of posterior microphthalmos from nanophthalmos. / N. Relhan, S. Jalali, N. Pehre [et al.] // Eye. – 2016. – Vol.30. - №1. – P. 120–126.
 151. Retzlaf, J. Calculating the surgeon's personal A-constant. [ed: Retzlaf J, Sanders DR, Kraff MC] Lens Implanted Power Calculation Manual, 3rd ed. Thorofare, NJ: SLACK Inc., - 1990. – P. 12-13.
 152. Retzlaff, J.A. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. / J.A. Retzlaff, D.R. Sanders, M.C. Kraff. // J. Cataract. Refract. Surg. – 1990. – Vol.16. - №3. – P. 333-340.
 153. Rewri, P. Effectiveness of scleral decompression procedures for preventing choroidal effusion in nanophthalmic eyes: A retrospective review / P. Rewri [et al.] // J. Clin. Ophthalm. Research. – 2017. – Vol.5. - №3. – P. 111-114.
 154. Roberts, T.V. Comparison of Hill-radial basis function, Barrett Universal and current third generation formulas for the calculation of intraocular lens power during cataract surgery. / T.V. Roberts, C. Hodge, G. Sutton [et al.] // Clin. Exp. Ophthalmol. – 2018. – Vol.46. – P.240–246.
 155. Roh, Y.R. Intraocular Lens Power Calculation Using IOL-Master and Various Formulas in Short Eyes. / Y.R. Roh, S.M. Lee, Y.K. Han [et al.] // Korean. J. Ophthalmol. – 2011. – Vol.25. - №3. – P. 151–155.

156. Rohrer, K. Comparison and evaluation of ocular biometry using a new noncontact optical low-coherence reflectometer. / K. Rohrer, B.E. Frueh, R. Wälti [et al.] // *Ophthalmology*. – 2009. – Vol.116. – P. 2087–2092.
157. Ryan, E.A. Nanophthalmos with uveal effusion: clinical and embryologic considerations. / E.A. Ryan, J. Zwaan, L.T. Chylack. // *Ophthalmology*. - 1982. – Vol.89. – P.1013–1017.
158. Samadony, M.A.El. Comparison of predictability of intraocular lens power calculation formulas for axial hyperopic patients undergoing cataract surgery using intraocular lens master. / M.A.El. Samadony [et al.] // *Egyp. J. Cataract. Refractiv. Surgery*. – 2017. - Vol.23. - №2. – P. 49-53.
159. Sanders, D. Comparison of the accuracy of the Binkhorst, Colenbrander, and SRK implant power prediction formulas. / D. Sanders, J. Retzlaff, M. Kraff [et al.] // *Am. Intraocul. Implant. Soc.* – 1981. - Vol.7. - №4. – P. 337-340.
160. Sanders, D.R. Comparison of the SRKII formula and other second generation formulas. / D.R Sanders, J. Retzlaff, M.C. Kraff. // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1988. – Vol.14. - №2. – P. 136-141.
161. Savini, G. Comparison of 13 formulas for IOL power calculation with measurements from partial coherence interferometry / G. Savini, M.D. Maita, K. Næser [et al.] // *Br. J. Ophthalmology*. – 2020. - doi: 10.1136/bjophthalmol-2020-316193. Epub ahead of print. PMID: 32522789.
162. Schachar, R.A. Accuracy of intraocular lens powers calculated from A scan biometry with the Echo-oculometer. / R.A. Schachar, N.S. Levy, R.C. Bonney // *Ophthalmic. Surg.* – 1980. – Vol.11. – P. 856–858.
163. Shammas, H.J. Scheimpflug photography keratometry readings for routine intraocular lens power calculation. / H.J. Shammas, K.J. Hoffer, M.C Shammas // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2009. – Vol.35. – P. 330–334.

164. Sharan, S. Nanophthalmos: ultrasound biomicroscopy and Pentacam assessment of angle structures before and after cataract surgery. / J.R. Grigg, R.A. Higgins. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2006. – Vol.32. – P.1052–1055.
165. Sheard, R. Optimising biometry for best outcomes in cataract surgery. / R. Sheard // Eye. – 2014. – Vol.28. – P. 118– 125.
166. Shen, P. Biometric measurements in highly myopic eyes. / P. Shen [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2013. – Vol.39. – P. 180–187.
167. Shrivastava, A.K. Effect of anterior chamber depth on predictive accuracy of seven intraocular lens formulas in eyes with axial length less than 22 mm. / A.K. Shrivastava, P. Behera, R. Kacher [et al.] // Clinical. Ophthalmology. – 2019. – Vol.13. – P. 1579-1586.
168. Siddiqui, A.A. The future of intraocular lens calculations: Ladas Super Formula. / AA. Siddiqui, V. Juthani, J. Kang [et al.] // Ann. Eye. Sci. – 2019. – Vol.4 – P. 19.
169. Simon, S.S. Achieving target refraction after cataract surgery. / S.S. Simon, Y.E. Chee, R.I. Haddadin // Ophthalmology. – 2014. – Vol.121. – P.440– 444.
170. Srinivasan, S. Small eyes—big problems. / S. Srinivasan // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015. – Vol.41. - №11. – P. 2345–2346.
171. Srivannaboon, S. Accuracy of Holladay 2 formula using IOLMaster parameters in the absence of lens thickness value. / S. Srivannaboon, C. Chirapapaisan, N. Chirapapaisan [et al.] // Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2013. - Vol.251. – P. 2563–2567.
172. Steijns, D. Cataract surgery in patients with nanophthalmos. / D. Steijns, W.R. Bijlsma, A. Van der Lelij // Ophthalmology. - 2013 – Vol.120. – P. 266–270.
173. Stewart, D.H. Abnormal scleral collagen in nanophthalmos; an ultrastructural study. / D.H. Stewart, B.W. Streeten, R.J. Brockhurst [et al.] // Arch. Ophthalmol. – 1991. – Vol.109. – P. 1017–1025.

174. Sudhakar, S. Intraoperative aberrometry versus preoperative biometry for intraocular lens power selection in short eyes. / S. Sudhakar, D.C. Hill, T.S. King [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2019. – Vol.45. - №6. – P. 719-724.
175. Tang, K.S. Accuracy of biometric formula for intraocular lens power calculation in a teaching hospital. / K.S Tang, E.M. Tran, A.J. Chen [et al.] // Int. J. Ophthalmology. – 2020. – Vol.113. - №1. – P. 61-65.
176. Terzi, E. Accuracy of modern intraocular lens power calculation formulas in refractive lens exchange for high myopia and high hyperopia. / E. Terzi, L. Wang, T. Kohnen // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol.35. -№7. - P. 1181–1189.
177. The User Group for Laser Interference Biometry. Available at: <http://ocusoft.de/ulib>. Accessed at: 24.01.2020
178. Trelstad, R.L. Nanophthalmic sclera: ultrastructural, histochemical, and biochemical observations. / R.L. Trelstad, N.N. Silbermann, R.J. Brockhurst // Arch. Ophthalmol. – 1982. – Vol.100. – P. 1935–1938.
179. Turhan, S.A. Predictive accuracy of intraocular lens power calculation: comparison of optical low-coherence reflectometry and immersion ultrasound biometry. / S.A. Turhan, E. Toker // Eye. Contact. Lens. - 2015. – Vol.41. – P. 245– 251.
180. Vingolo, E.M. Autosomal dominant simple microphthalmos. / E.M. Vingolo, K. Steindl, R. Forte [et al.] // J. Med. Genet. – 1994. – Vol.31. – P. 721–725.
181. Vogel, A. Reproducibility of optical biometry using partial coherence interferometry; intraobserver and interobserver reliability. / A. Vogel, H.B. Dick, F. Krummenauer // J. Cataract. Refract. Surg. – 2001. – Vol.27. – P. 1961–1968.
182. Wang, J.K. Intraocular lens power calculation using the IOL-master and various formulas in eyes with long axial length. / J.K. Wang, C.Y. Hu, S.W. Chang // J. Cataract. Refract. Surg. – 2008. – Vol.34. – P. 262–267.

183. Wang, Q. Meta-analysis of accuracy of intraocular lens power calculation formulas in short eyes. / Q. Wang, J. Wu, L. Tiao [et al.] // *Clinical and Experimental Ophthalmology*. – 2018. – Vol.46. - №4. – P. 356-363.
184. Weakley, D.R.Jr. The association between nonstrabismic anisometropia, amblyopia, and subnormal binocularity. / D.R.Jr Weakley. // *Ophthalmology*. – 2001. – Vol.108. – P. 163–171.
185. Weiss, A.H. Simple microphthalmos. / A.H. Weiss, B.G. Kousseff, E.A. Ross [et al.] // *Arch. Ophthalmol.* - 1989. – Vol.107. – P. 1625–1630.
186. Williams, K.M. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E³) Consortium. / K.M. Williams [et al.] // *Eur. J. Epidemiol.* – 2015. – Vol. 30. - №4. – P. 305–315.
187. Wolfram, C. Prevalence of refractive errors in the European adult population: the Gutenberg Health Study (GHS). / C. Wolfram, R. Höhn, U. Kottler [et al.] // *Br. J. Ophthalmol.* – 2014. – Vol.98. - №7. - P. 857-861.
188. World Health Organization Press Office Control of major blinding diseases and disorders: Vision 2020: the Right to Sight, WHO Fact Sheet. – Geneva. – 2010. No 214. Available at: <http://www.who.int/info/en/fact214.html>. Accessed at: 16.12.2019
189. Wu, W. Cataract surgery in patients with nanophthalmos: results and complications. / W. Wu, D.G. Dawson, A. Sugar [et al.] // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 2004. – Vol.30. – P. 584–590.
190. Yang, S. Effect of anterior chamber depth on the choice of intraocular lens calculation formula. / S.Yang, W.J.Whang, C.K.Joo // *PLoS. One.* – 2017. – Vol.12. - №12. doi:10.1371/ journal.pone. 0189868. PMID: 29253884; PMCID: PMC5734766.
191. Yuzbasioglu, E. Phacoemulsification in patients with nanophthalmos. / E. Yuzbasioglu, O. Artunay, A. Agachan [et al.] // *Can. J. Ophthalmol.* – 2009. – Vol.44. – P. 534–539.

192. Zheng, T. Outcomes and Prognostic Factors of Cataract Surgery in Adult Extreme Microphthalmos With Axial Length <18 mm or Corneal Diameter <8 mm. / T. Zheng, Z. Chen, J. Xu [et al.] // Am. J. Ophthalmol. – 2017. - Vol.184. – P. 84-96.