

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

**Титаренко Елена Михайловна**

**Выбор тактики хирургического лечения пациентов с катарактой  
при высокой остроте зрения на основании объективной и субъективной  
оценки качества зрения**

3.1.5 Офтальмология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
Иванов Дмитрий Иванович,  
доктор медицинских наук

Самара – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. ОПТИЧЕСКИЕ АБЕРРАЦИИ ХРУСТАЛИКА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗРЕНИЕ: ДИАГНОСТИКА И КОРРЕКЦИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....</b>	<b>13</b>
1.1. Эпидемиология патологии хрусталика, классификация и клинические симптомы .....	13
1.2. Методы диагностики .....	17
1.3. Аберрометрические исследования.....	20
1.4. Оптические аберрации глаза в норме и при патологии хрусталика. Факторы, влияющие на их величину .....	29
1.5. Качество зрения. Субъективная и объективная характеристика .....	40
1.6. Методы коррекции оптических аберраций глаза .....	43
при патологии хрусталика .....	43
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>46</b>
2.1. Дизайн исследования.....	46
2.2. Материал и методы исследования .....	48
2.3. Инструментальные методы исследования анатомического и функционального состояния органа зрения.....	49
2.4. Хирургический подход.....	53
2.5. Методы статистической обработки материала.....	55
<b>Глава 3. КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ АББЕРАЦИЙ ПАЦИЕНТОВ БЕЗ КАТАРАКТЫ И ПАЦИЕНТОВ С НАЧАЛЬНОЙ КАТАРАКТОЙ И ВЫСОКОЙ ОСТРОТОЙ ЗРЕНИЯ .....</b>	<b>56</b>
3.1. Клинико-функциональные результаты обследования пациентов .....	56

3.2. Анализ aberrаций высшего порядка .....	59
3.3. Анкета для оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения .....	71
<b>ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ИНДИВИДУАЛИРОВАННОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАНИЙ К ХИРУРГИИ НАЧАЛЬНОЙ КАТАРАКТЫ С ВЫСОКОЙ ОСТРОТОЙ ЗРЕНИЯ .....</b>	<b>86</b>
4.1. Корреляционный анализ влияния aberrаций высшего порядка на субъективное качество зрения пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения .....	86
4.2. Алгоритм ведения пациента в зависимости от вида и уровня оптических aberrаций .....	90
4.3. Изменение aberrаций высшего порядка, .....	
возникающие после факоэмульсификации катаракты.....	
и имплантации интраокулярной линзы .....	92
4.3.1. Клинико-функциональные результаты обследования пациентов до и после факоэмульсификации катаракты .....	93
4.3.2. Анализ влияния aberrаций высшего порядка .....	105
на субъективное качество зрения пациентов после операции .....	105
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>110</b>
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>120</b>
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....</b>	<b>121</b>
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ .....</b>	<b>122</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>123</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>124</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность и степень разработанности темы

На сегодняшний день катаракта является одной из самых распространенных причин снижения зрения и слепоты во многих странах. Она представляет собой помутнение хрусталика, которое может развиваться постепенно и приводить к ухудшению зрительных функций [4, 6, 14, 16, 19, 22].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, доля катаракты среди всех заболеваний глаз составляет 47%, в мире насчитывается около 65 миллионов человек, имеющих различные нарушения зрительных функций вследствие катаракты [4, 10, 60]. В Российской Федерации катаракта составляет 6,8% в общей структуре офтальмопатологии. Заболеваемость катарактой составляет 1200 на 100 000 населения, что в абсолютном выражении эквивалентно 1 млн 750 000 больных [5]. Общий уровень распространённости катаракты среди городского населения 3,36%, среди сельского – 3,63% [14, 24]. Уровень распространенности возрастной катаракты увеличивается вдвое быстрее, чем растёт общая численность жителей. Среди пациентов с возрастными катарактами преобладают люди пожилого возраста, составляя примерно 76-80%. В это же время стала заметной явная тенденция роста количества пациентов среди лиц трудоспособного возраста [7].

При определении показаний к хирургии катаракты офтальмологи часто ориентируются на показатели снижения остроты зрения. Острота зрения обычно оценивается с помощью оптопов, таких как буквы или цифры на таблицах Снеллена, Сивцева-Головина, Бейли-Лоуви (ETDRS). Однако зачастую встречаются пациенты с начальной катарактой, которые имеют высокую остроту зрения, но жалуются на снижение качества изображения (рассеивание света, диплопию), плохую реакцию на изменения освещения и чувство дискомфорта при ярком свете [39]. Катаракта считается клинически

значимой, если снижение остроты и качества зрения существенно влияет на образ жизни пациента, что затрудняет выполнение повседневных задач, таких как чтение, вождение автомобиля или некоторые виды работ [19, 20, 93, 135].

Различные типы катаракты могут также приводить к многочисленным зрительным симптомам и по-разному влияют на остроту зрения. Например, легкая задняя субкапсулярная катаракта может вызвать серьезное снижение остроты зрения в результате сужения зрачка. Ядерная катаракта часто связана со снижением остроты зрения вдаль и относительно хорошей остротой вблизи. Кортикальная катаракта обычно не имеет клинического значения до поздней стадии ее прогрессирования, когда корковые спицы проецируются на зрительную ось [68]. Многие десятилетия стандартным методом диагностики катаракты является биомикроскопия. Этот метод высоко информативен, но субъективен, с его помощью сложно оценить динамику заболевания и влияние на качество зрения непосредственно данного пациента.

К объективным методам исследования хрусталика относится aberрометрия. Исследование абберационного фронта полезно для оценки качества зрения пациента, динамического наблюдения и принятия решения о хирургическом лечении [8, 86, 153]. При возникновении катаракты хрусталик теряет свою прозрачность, вызывая различные абберации, искажение изображения на сетчатке, ухудшая качество зрения. Такие абберации могут включать сферические абберации, астигматизм, кому и другие. Абберации высшего порядка являются более сложными формами искажений, которые влияют на более высокие частоты световых волн. При помутнении хрусталика, даже незначительном, они также могут способствовать ухудшению качества зрения. Среди пациентов, обратившихся к офтальмологу, в возрасте 55-64 лет, катаракта в начальной стадии наблюдается у 40% пациентов, зрелая – у 5%. В возрастной группе 64-74 года начальная катаракта диагностирована у 70%, зрелая – у 18% пациентов. Среди лиц старше 75 лет начальная стадия катаракты выявлена в 90% случаев, зрелая – у каждого второго (в 50% случаев) [16].

Однако влияние возрастной катаракты на aberrации высшего порядка может быть неоднозначным. С одной стороны, при помутнении хрусталика ухудшаются оптические свойства глаза и увеличиваются aberrации, в других случаях, катаракта может действовать как естественная линза, компенсируя часть aberrаций и улучшая зрение. Влияние возрастной катаракты на aberrации высшего порядка может зависеть от индивидуальных особенностей пациента, типа катаракты и ее степени тяжести. Для более точной оценки и определения влияния катаракты на aberrации высшего порядка проводится детальное обследование пациента, включая анкетирование. В литературе описано, что разные типы и степень тяжести возрастной катаракты могут давать разные паттерны aberrометрии волнового фронта [55, 77, 84, 110, 120]. Некоторые исследования указывают на то, что более выраженная катаракта может приводить к увеличению aberrаций высшего порядка [26]. В то же время другие авторы отмечают, что у пациентов с начальной катарактой aberrации высшего порядка могут быть выражены [77].

Анализ волнового фронта является важным инструментом для объективной и количественной оценки качества ретинального изображения, предоставляя клинически значимые данные при различных типах помутнения хрусталика.

Предоставленные факты подчеркивают актуальность и необходимость усовершенствования традиционных подходов к хирургическому лечению начальной катаракты с высокой остротой зрения. Проведенный анализ литературы указывает лишь на отдельные рекомендации, касающиеся учета данных волнового фронта для лечения указанной патологии.

На основании потенциальной перспективы применения aberrометрии и создания комплексного подхода к выработке показаний к хирургическому лечению у пациентов с начальной катарактой, имеющих высокую остроту зрения, была сформулирована цель диссертационного исследования.

### **Цель исследования**

Разработать и научно обосновать индивидуализированные показания к хирургическому лечению катаракт с высокой остротой зрения на основании субъективной и объективной оценки качества зрения.

### **Задачи исследования**

1. Провести ретроспективный сравнительный анализ клинических, морфометрических и абберрометрических показателей у пациентов с начальной катарактой и без ее признаков.

2. На основе объективных и субъективных методов исследования разработать методику для определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения.

3. На основании корреляционного анализа взаимосвязи аберраций высшего порядка и субъективного качества зрения разработать индивидуализированный подход к определению показаний к хирургии начальных катаракт с высокой остротой зрения.

4. Изучить эффективность предложенного подхода путем анализа функциональных и анатомических результатов лечения пациентов с начальной катарактой при высокой дооперационной остроте зрения.

### **Научная новизна результатов исследования**

1. Разработан и научно обоснован метод оценки субъективного качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой дооперационной остротой зрения.

2. Изучена корреляционная связь между данными абберрометрии и субъективной оценкой качества зрения.

3. Разработан способ анализа качества зрения для принятия решения о хирургии начальной катаракты на основании исследования показателей субъективного качества зрения и дооперационной абберрометрии.

4. Доказана эффективность предлагаемого подхода к определению

показаний к хирургическому лечению пациентов с начальной катарактой при высокой дооперационной остроте зрения.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Разработана и запатентована методика оценки степени снижения зрительных функций у пациентов с катарактой и высокой остротой зрения (патент РФ на изобретение № 2821655 от 25.06.2024 г. и патент РФ на промышленный образец № 139439 от 28.11.2023 г.). Внедрение данной методики в клиническую практику обеспечит объективизацию показаний к хирургическому лечению, оптимизирует принятие решений о целесообразности оперативного вмешательства.

2. На основании анализа абберационных характеристик и субъективной оценки зрительных функций разработан алгоритм отбора пациентов с катарактой и высокой остротой зрения для хирургического лечения. Предложенный алгоритм, учитывающий индивидуальные клинические особенности, позволяет оптимизировать тактику ведения данной категории пациентов.

3. Впервые продемонстрированная эффективность хирургического лечения данной категории пациентов с применением индивидуализированного подхода расширяет представления о возможностях улучшения зрительных функций на ранних этапах развития катаракты. Анализ послеоперационных результатов подтверждает эффективность разработанной методики, что обосновывает ее внедрение в клиническую практику.

### **Методология и методы исследования**

Методологической основой диссертационной работы послужило строгое соответствие выбранного дизайна исследования сформулированным цели и задачам. Реализация поставленных задач и достижение цели обеспечивались за счет использования системного научного подхода, принципов объективности, единства теории и практики, доказательной

медицины, практической реализуемости, а также принципов контролируемого исследования и статистического анализа полученных данных. Работа выполнена в формате проспективного интервенционного нерандомизированного исследования.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Разработанный алгоритм отбора пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения, основанный на комплексном научно обоснованном индивидуализированном подходе, учитывающем данные aberрометрии и разработанного опросника, обеспечивает возможность и обоснованность хирургического лечения катаракты при высокой остроте зрения.

2. Разработанный алгоритм отбора пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения на хирургическое лечение характеризуется высоким уровнем клинической эффективности, что подтверждается статистически значимым увеличением качества зрения и существенным снижением доли неудовлетворенных результатом операции пациентов.

### **Степень достоверности**

Наличие достаточного количества клинических наблюдений, использование современных методов исследования на сертифицированном оборудовании, наличие первичной документации, применение адекватных статистических методов и лицензированных статистических программ подтверждают достоверность полученных результатов.

### **Внедрение результатов исследования**

Результаты исследования внедрены в клиническую практику и используются при отборе пациентов с катарактой и высокой остротой зрения для хирургического лечения на базе офтальмологических

микрохирургических отделений №1, №2 и отделения функциональной диагностики и лечебного контроля АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза». Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты используются в преподавании врачам-ординаторам на кафедре офтальмологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

### **Апробация результатов исследования**

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на XXVII Научно-практической конференции офтальмологов Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» (Екатеринбург, 2019), Межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы офтальмологии» (Челябинск, 2021), 22-й Всероссийском конгрессе с международным участием «Современные технологии катарактальной, роговичной и рефракционной хирургии» (Москва, 2021), X Юбилейном международном междисциплинарном конгрессе по заболеваниям головы и шеи (Москва, 2022), Межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы офтальмологии» (Челябинск, 2023), XIII Съезде Общества офтальмологов России (Москва, 2024).

### **Личный вклад автора**

В ходе работы автором проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы, разработан дизайн исследования, сформулированы цель и задачи. Автором самостоятельно реализованы все этапы исследования, включая методы обследования, лечение и наблюдение пациентов. Клинический анализ результатов хирургического лечения, статистическая обработка и интерпретация данных выполнены автором лично. Подготовка текста диссертационной работы и научных публикаций по теме исследования осуществлена автором самостоятельно.

### **Связь темы диссертации с планом основных научно-исследовательских работ**

Исследование выполнено по плану научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России в соответствии с комплексной темой 13 «Совершенствование методов диагностики и лечения с социально значимой офтальмологической патологией». Номер государственной регистрации темы № 121121700220-7 от 17.12.2021 г.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационное исследование соответствует паспорту научной специальности 3.1.5. Офтальмология; п.п. 2 (Усовершенствование известных и разработка новых методов диагностики органа зрения и его придаточного аппарата), п.п. 5 (Совершенствование методов диспансеризации и динамического наблюдения пациентов с хроническими и прогрессирующими видами патологии глаза).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 3 научные работы в журнале, входящем в перечень рецензируемых журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Получены два патента на изобретение: патент РФ на изобретение № 2821655 от 25.06.2024 г. «Способ определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения»; патент РФ на промышленный образец № 139439 от 28.11.2023 г. «Бланк анкеты для оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения».

### **Структура и объем работы**

Работа написана на русском языке, изложена на 144 страницах компьютерного текста и состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследования, двух глав собственных исследований, выводов, практических рекомендаций, приложения и списка литературы, который включает 153 источника, из них 25 отечественных и 128 зарубежных. Диссертация иллюстрирована 19 таблицами и 40 рисунками.

Работа выполнена на базе АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза» под руководством генерального директора к.м.н. Шиловских О.В. и научного руководителя заведующего II хирургическим отделением, врача-офтальмохирурга, д.м.н. Иванова Д.И.

# **Глава 1. ОПТИЧЕСКИЕ АБЕРРАЦИИ ХРУСТАЛИКА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗРЕНИЕ: ДИАГНОСТИКА И КОРРЕКЦИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

## **1.1. Эпидемиология патологии хрусталика, классификация и клинические симптомы**

Катаракта – состояние, при котором прозрачность хрусталика частично или полностью нарушена, является одной из основных причин плохого зрения и обратимой слепоты в мире, от которой страдает каждый шестой человек старше 40 лет и подавляющее большинство людей к 80 годам [5, 10]. Ожидается, что в будущем спрос на хирургию катаракты резко увеличится из-за увеличения доли пожилых людей и растущей потребности в оптимальной зрительной функции [5, 4, 19, 20, 22].

Согласно информации, предоставленной экспертным советом по вопросам хирургического лечения катаракты, общий уровень распространенности этого заболевания в Российской Федерации составляет 3,36% среди городского населения и 3,63% – среди сельского. В единственном на настоящий момент популяционном исследовании, посвященном распространенности нарушения зрения от катаракты, выполненном по международному стандарту RAAB (Rapid Assessment Avoidable Blindness) и основанном на кластерном формировании рандомизированной выборки (в количестве 4,044 человека на 336,000 населения в возрасте старше 50 лет) снижение зрения от катаракты до уровня 0,3 и ниже встречали у 8,69% обследованных. При этом катаракту диагностировали в 2 раза чаще у женщин, чем у мужчин.

В настоящее время в Российской Федерации катаракта диагностируется у 1200 человек на 100 000 населения, что соответствует приблизительно 1 750 000 больных катарактой. Учитывая тот факт, что ежегодно проводится 460 000-480 000 операций по удалению катаракты, можно утверждать, что

удовлетворяется лишь от одной трети до четверти потребности в хирургическом лечении [24].

Анализ статистических данных демонстрирует значительную распространенность катаракты в Российской Федерации и указывает на существенный дефицит хирургического лечения. Для дальнейшего углубленного изучения данной патологии представляется целесообразным рассмотреть классификацию катаракт, основанную на различных критериях, что позволит систематизировать знания и оптимизировать подходы к диагностике и лечению [3, 4, 6, 60].

Катаракты классифицируют по времени возникновения и локализации, а приобретенные катаракты различают также по этиологии.

По времени возникновения катаракты подразделяют на врожденные и приобретенные. Врожденные катаракты являются стационарными (они не прогрессируют) и мягкими (не имеют ядра). Приобретенные катаракты характеризуются прогрессирующим течением и наличием ядра (т.е. они твердые) [15].

Для хрусталика человека в возрасте 45-50 лет характерно образование плотного ядра, отделившегося от корковых зон. С возрастом зоны разделения становятся более выраженными. Возрастную катаракту обычно делят на четыре группы в зависимости от стадии развития: начальную, незрелую, зрелую и перезрелую. Основным интересом представляют различные формы начальной катаракты, поскольку на поздних стадиях (зрелая, перезрелая) все они теряют свои специфические свойства. Помутнение может начаться в коре хрусталика (кортикальная катаракта), в ядре (ядерная катаракта) или под капсулой (субкапсулярная катаракта) [7, 13].

Одним из первых признаков катаракты является накопление жидкости внутри хрусталика. Данное состояние связано с увеличением влаги в корковом слое, что приводит к формированию водяных щелей и расхождению корковых швов. В случае ядерной катаракты начальные помутнения возникают во внутреннем эмбриональном ядре, при этом центральная область долго

остается ясной. Затем помутнение распространяется во все стороны и соединяется с зоной старческого ядра. Мутное ядро четко отделяется от прозрачного коркового вещества, и для этого типа катаракты характерно отсутствие разрушения хрусталикового материала. Дифференциация между начальной ядерной катарактой и факосклерозом иногда вызывает сложности. Здесь важно обратить внимание на цвет области ядра и состояние эмбриональных швов хрусталика. При ядерной катаракте внутренние части хрусталика имеют серовато-белый цвет и помутнения эмбриональных швов, тогда как при факосклерозе ядро может быть желтоватым, и швы остаются без изменений. Субкапсулярная катаракта же проявляется ранним и резким снижением остроты зрения. Для нее характерно наличие субкапсулярных вакуолей, между которыми находятся помутнения. По мере прогрессирования эти помутнения распространяются к экватору, и катаракта принимает форму чаши [7, 12].

Классификация LOCS III является общепринятой методикой оценки типа и тяжести катаракты, обычно используемая в исследованиях, которая основана на наборе стандартных фотографии кортикальной катаракты (С), задней субкапсулярной катаракты (Р), ядерной (NC) и опалесценция ядра (NO) в зависимости от степени выраженности для типа, т.е. С1-С5, Р0-Р5, NO0-NO6 и NC0-NC6 (Рисунок 1) [42, 91]. Клинически внешний вид катаракты оценивается через расширенный зрачок с помощью целевой лампы в сравнении с каждой из эталонных фотографий. Считается экономичным и быстрым методом оценки помутнения хрусталика, но на результаты может повлиять субъективная интерпретация, и отсутствует согласованность среди наблюдателей.

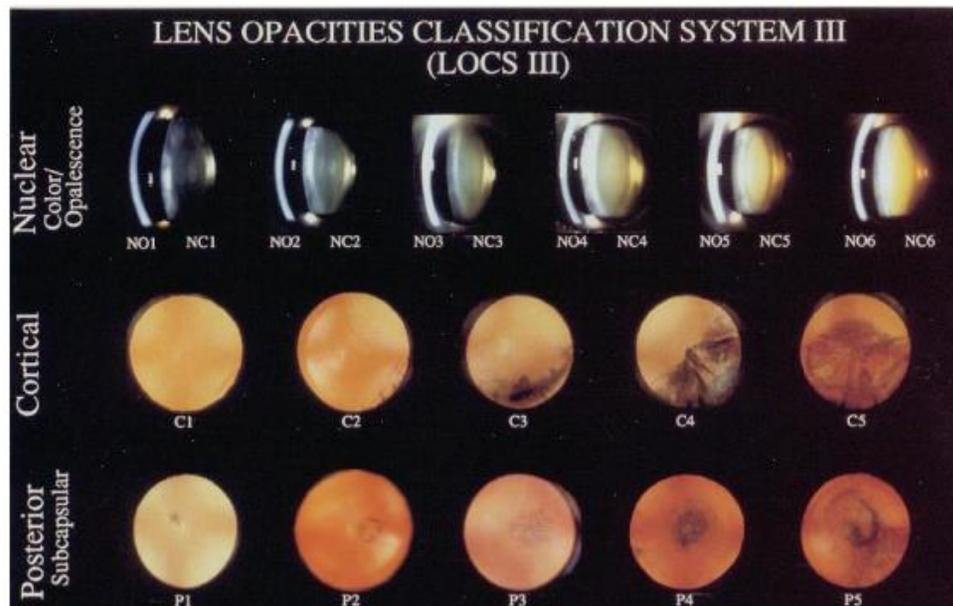


Рисунок 1 – Классификация помутнений хрусталика LOCS III

Пациенты с катарактой могут описывать множество симптомов, которые влияют на их зрительное восприятие, даже если острота зрения остается на высоком уровне. Среди наиболее часто встречающихся симптомов:

- размытость зрения. Несмотря на сохранение определенного уровня остроты, пациенты могут замечать, что изображения становятся менее четкими и более размытыми;

- снижение контрастности. Может возникать трудность в различении объектов на фоне, особенно при слабом освещении или в условиях низкой контрастности;

- гало и ореолы. Пациенты часто отмечают появление ореолов или гало вокруг светящихся объектов, таких как уличные фонари или автомобильные фары;

- чувствительность к свету. Повышенная чувствительность к яркому свету может вызывать дискомфорт, что усложняет нахождение в ярко освещенных помещениях или на улице;

- изменение восприятия цветов. Цвета могут казаться менее яркими или тусклыми, что затрудняет их различение;

- снижение зрения в ночное время. Ухудшение зрения в темное время суток, что может создавать проблемы при вождении или передвижении в условиях низкой освещенности;

- частые изменения в рецепте очков. Пациенты могут замечать, что им требуется новая коррекция зрения чаще, чем обычно, из-за изменений в качестве зрения;

- частые визиты к врачу для проверки зрения требуют времени и ресурсов;

- диплопия. В некоторых случаях может возникать ощущение двойного зрения, особенно при взгляде на объекты;

- психологические и социальные ограничения при выполнении повседневных и профессиональных задач. Также пациенты могут избегать социальных мероприятий, что может вызывать чувство изоляции и депрессию. Психологическое воздействие в виде стресса и тревоги также имеет место;

- снижение контрастности повышает риск травм, что делает пациентов более осторожными и ограничивает передвижение;

- изменения в восприятии окружающего мира, такие как тусклые цвета могут также вызывать дискомфорт.

Эти факторы подчеркивают важность своевременной диагностики и лечения катаракты для улучшения качества жизни пациентов.

## **1.2. Методы диагностики**

В 2020 году Министерство здравоохранения РФ утвердило «Федеральные клинические рекомендации для оказания офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой». Под руководством профессора Б.Э. Малюгина экспертный совет разработал детальный и четкий алгоритм обследования для этой категории пациентов, который должен соблюдать каждый офтальмолог. Согласно этим стандартам, предоперационное офтальмологическое обследование должно обязательно включать следующие

элементы: тщательный сбор анамнеза и жалоб пациента, выполнение визометрии, биомикроскопию переднего и заднего сегментов глаза, а также измерение внутриглазного давления (ВГД).

Золотым стандартом для измерения зрительных функций в клинической практике является острота зрения с коррекцией. Всемирная организация здравоохранения определяет остроту зрения с коррекцией от 0,7 и выше, как высокую остроту зрения и от 0,7 до 0,4 как легкую потерю зрения [44]. В последние годы в области офтальмологии наблюдается тенденция к более строгой классификации нарушений зрения. Ранее для определения уровня зрительных нарушений часто использовались более широкие диапазоны, но с ростом исследований и накоплением данных ученые начали осознавать, что даже незначительное снижение остроты зрения может существенно влиять на качество жизни и повседневное функционирование человека. Однако острота зрения предоставляет лишь частичную оценку зрительных функций, полученную в искусственных условиях.

Недостаточно научных данных, которые могли бы помочь офтальмологу решить, какие пациенты с наибольшей вероятностью получат результат от хирургического вмешательства. Чтобы преодолеть эту нехватку данных, в мире было разработано множество систем для диагностики катаракты [11, 57, 77, 91, 108]. Катаракту диагностируют клинически с помощью биомикроскопии на щелевой лампе. Объективные измерения могут помочь офтальмологу в постановке диагноза. Большинство объективных систем измеряют степень рассеяния света, например, метод динамического рассеяния света [45] или измерения рассеянного света [39, 115].

Система Scheimpflug (Pentacam HR70990; OCULUS, Германия) представляет собой метод объективного анализа, который широко используется, поскольку он может определять степень помутнения хрусталика. Описана значительная корреляция между помутнением хрусталика и энергией факоэмульсификации катаракты [79]. Система Шаймпфлюга опирается на оптическую систему формирования изображения,

и на качество результатов может влиять ряд факторов, таких как прозрачность преломляющей среды и размер зрачка [63, 65, 92, 91]. Из-за ограничений технологии оптической визуализации задняя кора и задняя капсула хрусталика не могут быть полностью отображены. Таким образом, большинство клинических исследований в основном сосредоточены только на возрастной ядерной катаракте.

Традиционная оптическая когерентная томография переднего отрезка (AS-OCT) также используется для изучения помутнения хрусталика, но она может захватывать только переднюю или заднюю половину хрусталика одновременно, в конечном итоге объединяя изображения в одно целое, поэтому результаты анализа могут быть ошибочными [54, 56, 64]. Как и Pentacam, это также оптическое устройство формирования изображения, поэтому на изображение легко влияет размер зрачка и четкость преломляющей среды.

С появлением ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) офтальмологи могут получать более полную и объективную информацию о хрусталике и связанных с ним заболеваниях в неинвазивных условиях [129, 142]. В настоящее время УБМ широко используется в клинической диагностике и обеспечивает высокое разрешение и проникновение. Поскольку фокус ультразвука в основном находится в плоскости хрусталика, с его помощью можно получить полную и точную информацию о поражениях хрусталика. Таким образом, этот метод может быть применим для изучения морфологических особенностей помутнения хрусталика при возрастной катаракте. В исследовании Zhao F. et al. (2019) сообщается о положительной линейной корреляции между степенью помутнения хрусталика, полученной при УБМ, и значением кумулятивной энергии (CDE) при факоэмульсификации возрастной катаракты [149].

### 1.3. Аберрометрические исследования

Новейшие технологии позволяют определить aberrации высшего порядка, индуцированные катарактой и влияющие на остроту и качество зрения [2, 117, 118, 146]. Главными направлениями клинической аберрометрии в хирургии катаракты являются: детальная диагностика интенсивности и локализации помутнений естественного хрусталика (включая корковую и ядерную катаракты), а также аберрометрические исследования, направленные на оценку качества интраокулярной коррекции. Это включает в себя разработку показаний для имплантации различных видов интраокулярных линз (ИОЛ) и оценку качества оптических сред глаза в зависимости от особенностей методики факоэмульсификации. Для эффективного применения клинической аберрометрии в оценке качества факоэмульсификации и оптики глаза при имплантации различных типов ИОЛ необходимо, безусловно, исследование аберрометрии естественного хрусталика при его помутнении [2, 3, 21]. Аберрометры являются важным инструментом для понимания работы оптической системы зрительного анализатора пациента. В настоящее время эти устройства становятся все более распространенными, и на рынке появляется всё больше доступных моделей.

Аберрометрия волнового фронта – это объективный метод измерения преломляющей способности с использованием инструмента для измерения прохождения светового луча через оптические среды глаза.

Таким образом, его можно использовать для диагностики аномалий рефракции как высокого, так и низкого порядка. Подходящее оборудование зависит главным образом от практики офтальмолога. Практическое сравнение среди доступных устройств – непростая задача из-за разнообразия используемых принципов работы.

В настоящее время существует ряд доступных аберрометров, основанных на разных принципах работы:

- OPD-scan (ARK 10000; Nidek; Япония): на основе автоматической ретиноскопии;
- Zywave (Bausch & Lomb; США): на основе системы Hartmann-Shack;
- WASCA (Carl Zeiss Meditec; Германия). Датчик Hartmann-Shack MultiSpot 250-AD9;
- Анализатор волнового фронта Allegretto Wave (WaveLight; Германия): устройство Чернинга.
- Анализатор зрительных функций (VFA; Tracey; США): трассировка лучей.

Аберрометры можно классифицировать в зависимости от того, является ли измерение субъективным или объективным методом, при котором все измерения выполняются без требования ответа от пациента. Другая классификация основана на последовательности, либо параллельности измерения, т. е. единичные измерения в последовательных точках или одновременное измерение во всех точках. Третья классификация основывается на принципе одно- или двухпроходного измерения, который определяет количество проходов измерительного луча через оптическую систему. Далее классификация делится на прямую проекцию измерений (т.е. измерение света, попадающего в глаз) и обратную проекцию (т.е. измерение света, выходящего из глаза) [43].

Принцип работы автоматического ретиноскопа основан на последовательном двухпроходном методе для проведения измерений (Рисунок 2). В этом приборе применяется другое фокусное смещение. Сетчатка рассматривается как сферическое вогнутое зеркало, которое отражает около 4% падающего света. В случае близорукости луч отражается в его первоначальном направлении, в то время как в дальнозорком глазу отражение идет в противоположную сторону. Разница в направлениях и соотношении между скоростью падающего луча и скоростью его отражения может быть использована для оценки рефракции глаза в пределах данного меридиана. В автоматическом ретиноскопе используется светодиодный

источник, расположенный за экраном с быстро движущейся щелью. С помощью линзы изображение щели проецируется на плоскость зрачка, где часть света проходит через зрачок. В зависимости от рефракции глаза на сканируемом меридиане, отраженный луч движется с определенной скоростью и направлением. Процесс регистрируется, и создается карта аметропии (в диоптриях), которая преобразуется в карту волнового фронта (в микронах). У динамической скиаскопии есть «недостаток» — тот факт, что ей приходится интерполировать результаты вокруг слепого пятна размером 2 мм в центре поля измерения. У пациентов с катарактой центральные 2 мм имеют важное значение, и это делает общие данные ненадежными и трудными для использования в качестве основы для принятия важных решений [136].

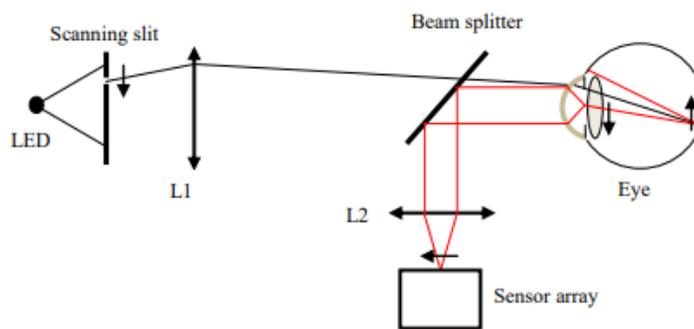


Рисунок 2 – Принцип работы автоматического ретиноскопа

Принцип Хартмана-Шака представляет собой параллельный метод двойного прохода с применением обратной проекции (Рисунок 3). В основе данного метода лежит использование узконаправленного лазерного луча, который проецируется вдоль оптической оси глаза и отражается от сетчатки. После отражения, исходящий свет проходит через систему релейных линз, формирующих пучок, который, проходя через зрачок и вновь отражаясь от сетчатки, разделяется на дискретные световые пятна, регистрируемые камерами [91, 134, 147]. Анализ волнового фронта осуществляется путем измерения смещения этих пятен относительно заданных референтных позиций.

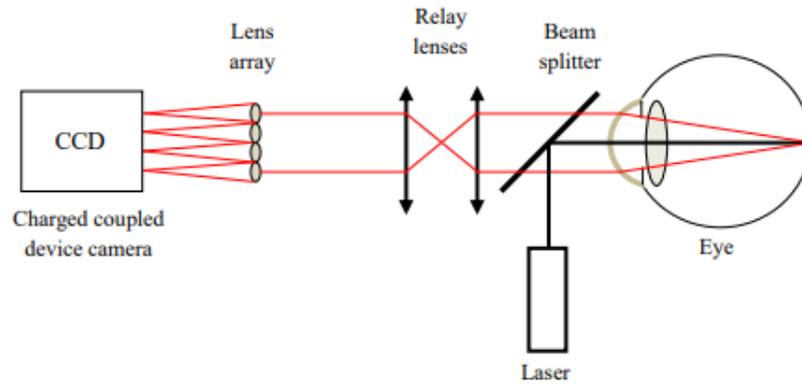


Рисунок 3 – Принцип Хартмана-Шака

Принцип Чернинга. Это параллельный двухпроходный метод с использованием прямой проекции (Рисунок 4). В отличие от метода Хартмана-Шака, абберометр Чернинга использует не один, а группу лазерных лучей, которые попадают в глаз. Эти лучи генерируются с использованием широкого лазерного луча, проходящего через экран с большим количеством круглых отверстий. В результате чего образуются пятна, напоминающие паттерн Хартмана-Шака, где пятна снова смещены из-за смещения фокуса. Затем отражение от сетчатки получают с помощью светоделиителя и линзы и анализируют камерами [90, 100, 136].

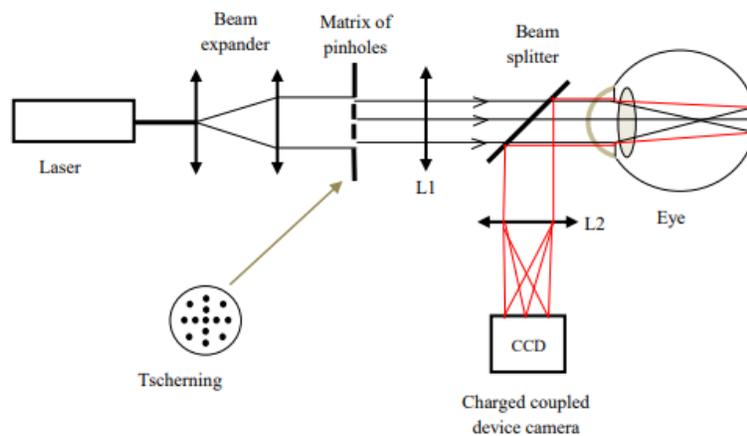


Рисунок 4 – Принцип Чернинга

Принцип трассировки лучей. Это последовательный, двухпроходный метод с использованием прямой проекции (Рисунок 5). Этот метод является

наилучшим в приближении к основному принципу сдвига фокуса. Трассировка лучей использует узкий лазерный луч, направленный в глаз параллельно оптической оси с помощью X-Y сканера. Попав в глаз, локальные aberrации в луче вызывают фокальное смещение изображения на сетчатке по отношению к определенной референтной позиции. С помощью светоделителя и линзы изображение на сетчатке захватывается фотоприемником и обрабатывается. Трассировка лучей — это простой и очень гибкий метод. Он позволяет идентифицировать и картировать aberrации высшего и низшего порядков во всем переднем сегменте глаза. Используются объективные показатели для оценки прогрессирования дисфункции роговицы и хрусталика [86, 136].

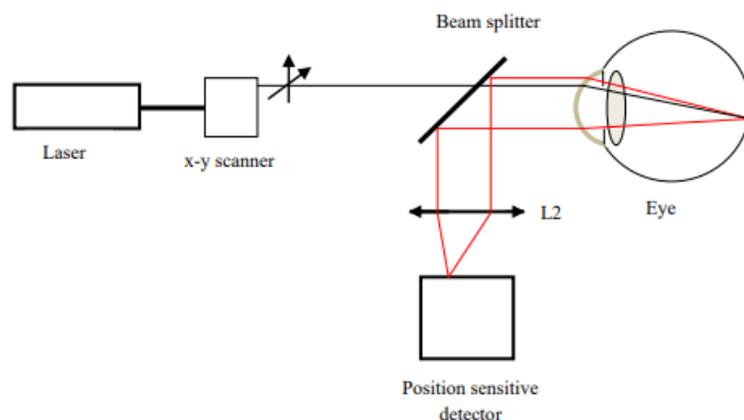


Рисунок 5 – Принцип трассировки лучей

В настоящее время отсутствует единый стандарт для измерения aberrаций глаза, поэтому необходимо регулярно оценивать согласованность данных aberрометров, чтобы обеспечить надежность данных о волновом фронте. Уровень согласованности различных устройств может быть полезен для врачей при измерении, коррекции и наблюдении за aberrациями после рефракционной и катарактальной хирургии. В литературе описана оценка сопоставимости измерений четырех aberрометров (Zywave, OPD-Scan III, iDesign и GALILEI™ G2) и их взаимозаменяемость в клинической практике.

Результаты указывают на то, что пары устройств обладают высокой степенью сходства в своих измерительных функциях [43]. В другом исследовании были сопоставлены три устройства (Pentacam AXL Wave, iTrace и OPD-Scan III), которые продемонстрировали хорошую согласованность в измерениях аберраций [87].

Разнообразие офтальмологических приборов, созданных с учетом новейших технологий и основанных на различных принципах действия, делает реальным не только качественную, но и количественную оценку аберрации низших и высших порядков, а также влияющих на них факторов [7, 49, 52, 74]. Таким образом, изучение аберраций человеческого глаза позволяет дать дополнительную оценку оптическому аппарату глаза, что расширяет возможности для более углубленной и полноценной диагностики, адекватной коррекции и эффективного лечения большинства офтальмологических заболеваний, сопровождающихся снижением корригированной остроты зрения, появлением астигматических жалоб [7, 71, 72, 75, 85].

Помимо данных аберраций волнового фронта, датчики волнового фронта также обеспечивают метрики качества изображения, такие как функция передачи модуляции (ФПМ) и коэффициент Штреля, являющихся взаимосвязанным дополнением к набору инструментов для описания оптического качества зрения. Функция передачи модуляции показывает, как система воспроизводит различные частоты, коэффициент Штреля дает более обобщенное представление о качестве изображения, принимая во внимание как разрешение, так и контраст.

### **Функция передачи модуляции**

Функция передачи модуляции описывает качество изображения оптической системы и измеряет передачу модуляции (контрастности) от объекта к изображению, т. е. насколько достоверно оптическая система воспроизводит (передает) различные уровни детализации (пространственные частоты) от объекта к изображению (Рисунок 6). Как правило, это выражается

в снижении контраста от объекта к изображению по соотношению модуляции изображения к объекту модуляция решетки на заданной пространственной частоте по формуле:

$$MTF(\nu) = M_i/M_o,$$

где:  $\nu$  — пространственная частота,

$M_i$  — контрастность изображения,

$M_o$  — контрастность изображения - стимул (предмет).

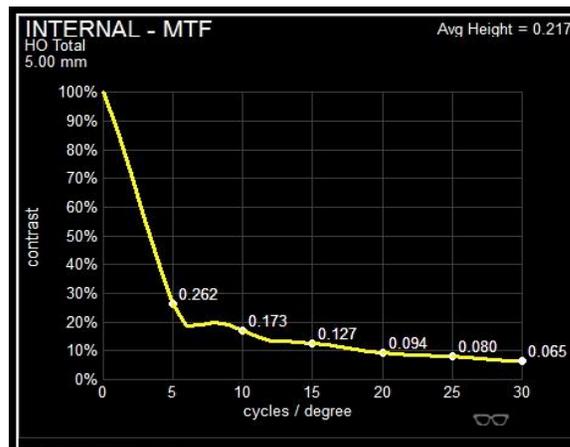


Рисунок 6 – График функции передачи модуляции при диаметре зрачка 5 мм

Функция передачи модуляции аналогична контрастной чувствительности глаза, но не включает нервные факторы, которые также определяют контрастную чувствительность [53, 58, 122]. Пространственный контраст – это физическое измерение, относящееся к переходу границы или края изображения от светлого к темному, что указывает на существование объекта. Контрастная чувствительность относится к мере того, сколько контраста требуется человеку, чтобы увидеть цель. Измерения контрастной чувствительности отличаются от измерений остроты зрения; острота зрения – это мера пространственной разрешающей способности зрительной системы в условиях высокой контрастности, тогда как контрастная чувствительность – это мера порогового контраста при видении цели. Сегодня наиболее распространенными методами измерения контрастной чувствительности являются системы на основе диаграмм, которые можно закрепить на стене. В

этих диаграммах используются тестовые мишени, которые представляют собой либо синусоидальные решетки, либо буквы. Тесты на контрастную чувствительность могут предоставить полезную информацию, помогают выявить проблемы со зрением, которые могут не проявляться при стандартной проверке остроты зрения. Острота зрения измеряет лишь способность различать детали, но не учитывает, насколько хорошо различаются объекты на фоне различных уровней контрастности [27, 34, 37, 75].

### **Функция светорассеивания**

Функция рассеивания точки (ФРТ) представляет собой распределение интенсивности света на сетчатке, формируемое при прохождении волнового фронта от точечного источника через оптическую систему глаза. Она определяет, как оптическая система отображает точку света и описывает реакцию системы визуализации на точечный источник или точечный объект, являясь инструментом для описания визуальных эффектов.

Когда оптическая система обладает круглой апертурой и свободна от aberrаций, функция рассеивания точки (ФРТ) принимает форму диска Эйри. При использовании монохроматического света диск Эйри становится точкой с наибольшей интенсивностью, окруженную чередующимися кругами света и темноты, что происходит из-за усиления и интерференции дифрагированных лучей. Дифракционный диск служит основой для оценки разрешающей способности идеальной линзовой системы. Диаметр диска в значительной степени зависит от размера зрачка. Из-за дифракции наименьший размер, до которого можно сфокусировать пучок света с помощью линзы, равен величине диска Эйри. В идеальной системе формирования изображения разрешающая способность будет ограничена только дифракцией, что обозначается термином «дифракционно-ограниченный». В таких условиях свет, достигающий сетчатки, будет иметь сферическую форму. Для дифракционно-ограниченного «идеального глаза» с увеличением размера зрачка каждая точка будет представлять собой диск Эйри, при этом с увеличением диаметра зрачка

размер диска Эйри уменьшается (Рисунок 7). В типичном аберрированном глазу с маленьким зрачком ФРТ представляет собой диск Эйри, но по мере увеличения размера зрачка aberrации воздействуют на источник, и ФРТ расширяется и принимает различные неправильные формы (Рисунок 8) [45, 48, 136].

1 мм    2 мм    3 мм    4 мм    5 мм    6 мм    7 мм



Рисунок 7 – Функция рассеивания точки при увеличении размера зрачка для дифракционно-ограниченного («идеального глаза»)

1 мм    2 мм    3 мм    4 мм    5 мм    6 мм    7 мм



Рисунок 8 – Функция рассеивания точки глаза с aberrациями

Коэффициент Штреля – показатель, демонстрирующий соотношение между пиком интенсивности функции светорассеяния точки определенного глаза и глаза без aberrаций, который позволяет оценивать качество оптической системы. Коэффициент Штреля варьирует от 0 до 1, где 1 – лучший визуальный результат, 0 – наихудший. Исходя из данных этого коэффициента можно прогнозировать остроту зрения, моделируя изменения изображения привычных опто типов на сетчатке. Применение коэффициента Штреля в клинической практике может быть полезным для разделения оптического и нейронного восприятия изображения [70, 88, 121].

Функция передачи модуляции и коэффициент Штреля помогут выявить скрытые проблемы со зрением. Например, начальная катаракта может еще не

влиять на остроту зрения, но существенно снижать способность различать объекты с низким контрастом, что может быть критичным в повседневной (вождение автомобиля) или профессиональной деятельности.

Эти методы диагностики также помогают отслеживать прогрессирование катаракты, индивидуализировать подход к каждому пациенту и оценивать эффективность хирургического лечения. [1, 46, 98, 133, 131].

#### **1.4. Оптические aberrации глаза в норме и при патологии хрусталика.**

##### **Факторы, влияющие на их величину**

Волновой фронт и коррекция aberrаций волнового фронта высших порядков – одна из наиболее актуальных тем в современной офтальмологии. Aberrации органа зрения возникают в те моменты, когда волны света, попадающие в глаз, ускоряют или замедляют свое движение в силу аметропии и/или флуктуаций плотности или формы на передней или задней поверхности роговицы или хрусталика. Оставленные без коррекции, aberrации могут негативно влиять на качество зрения, вызывая ухудшение четкости изображения и контрастности, а также появление различных визуальных искажений [17, 82, 100]. Aberrациями называют ошибки фокусирования, не позволяющие сформировать четкое изображение на сетчатке. Существует несколько методов для описания aberrаций, возникающих в оптической системе. В геометрической оптике часто используют трассировку лучей, чтобы вычислить путь светового пучка, исходящего от точечного источника, и преломляющегося при взаимодействии с поверхностями линз или других оптических элементов. В этом случае aberrации определяются путем расчета расстояния от места, куда лучи попали после преломления, до необходимой точки их фокусировки.

Оптическая система здорового человеческого глаза не является идеальной и подвержена различным оптическим искажениям. Для описания

распространения света от источника в физике используют концепцию волнового фронта. В идеальной оптической системе волновой фронт преломляется в роговице или хрусталике и точно фокусируется на сетчатке, что обеспечивает четкость изображения объекта. Разница между фактической и идеальной формой волнового фронта называется ошибкой волнового фронта. В любой точке апертуры оптической системы (зрачка глаза) ошибка волнового фронта – это разница между длиной оптического пути реального волнового фронта и соответствующего идеального фронта. Эту разницу обычно выражают в микронах ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ).

Форма искаженного абберациями волнового фронта может быть математически описана на основе результатов измерений ошибок волнового фронта с помощью полиномов (т.е. многочленов). Наиболее часто в офтальмологии для аппроксимации волнового фронта применяют полиномы Цернике, которые эффективно характеризуют абберации волнового фронта (Рисунок 9). Графически их можно представить в виде пирамиды. При этом каждая мода полинома Цернике (одночлен) связан с определенным типом аббераций волнового фронта. Это позволяет количественно представить ошибки волнового фронта в виде набора более простых оптических аббераций, некоторые из которых уже хорошо знакомы офтальмологам. Каждая мода Цернике имеет коэффициент  $C_n^m$ , который определяет вклад этой конкретной моды в общий волновой фронт для конкретного размера зрачка. Т.е. каждый коэффициент определяет величину (высоту пиков и впадин) конкретной абберационной моды (одночлена) в полиноме Цернике. Это позволяет представить волновой фронт сложной формы в виде набора абберационных мод определенной величины.

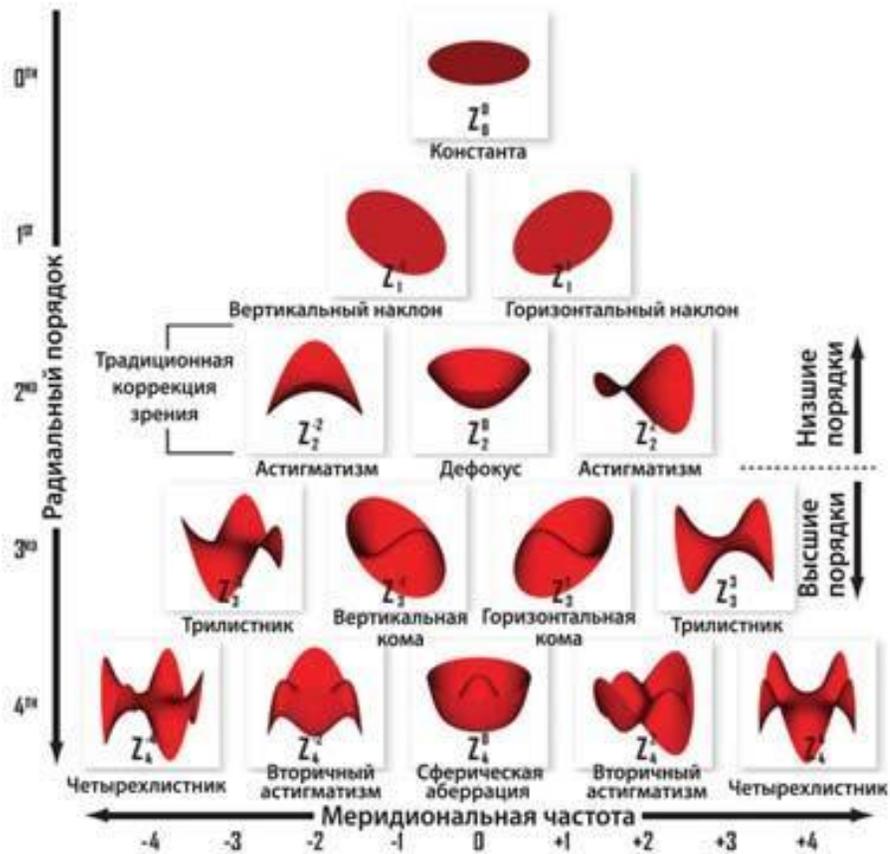


Рисунок 9 – Полиномы Цернике

Существуют однозначные метрики для описания величины aberrаций волнового фронта как одного числа. Например, среднеквадратичное значение (RMS – Root Mean Square). Чтобы проанализировать конкретное влияние, которое aberrации высшего порядка оказывают на оптическую систему, можно использовать среднеквадратичное значение более высокого порядка. Среднеквадратичное значение aberrаций высшего порядка равно квадратному корню из квадратов коэффициентов Цернике. Эта ошибка включает все aberrации и позволяет оценить их вклад в оптическую систему глаза. Этот показатель увеличивается с увеличением диаметра зрачка, а также с возрастом. Эта взаимосвязь частично объясняет, почему людям сложнее видеть в условиях слабого освещения, когда их зрачки расширены, по сравнению с ярко освещенным окружением. Хотя среднеквадратичное значение aberrаций высшего указывает величину и конкретные aberrации в оптической системе, он не может описать, как aberrации взаимодействуют,

улучшая или ухудшая качество зрения человека. Например, два человека могут иметь одинаковый набор aberrаций, что может создать ложное впечатление о том, что их зрение одинаково. Взаимодействие aberrаций у одного человека может способствовать улучшению остроты зрения, тогда как у другого – ухудшению. Результаты различаются из-за особенностей взаимодействия между aberrациями.

Обычно офтальмологи и оптометристы хорошо знакомы с проявлением aberrаций волнового фронта низших порядков. Некорригированные aberrации второго порядка, такие как дефокус и астигматизм, вызывают размытие изображения и снижение остроты зрения, которые зависят от величины рефракционной ошибки. Aberrации низшего порядка – еще один способ описания аномалий рефракции: близорукости, дальнозоркости и астигматизма, корректируемый с помощью очков, контактных линз или хирургии. Aberrации низшего порядка составляют около 85% всех aberrаций в глазах.

Интерпретировать влияние aberrаций высших порядков на зрение более сложно. Если предположить, что моды Цернике с одинаковыми ошибками волнового фронта в равной степени ухудшают зрение, то можно связать любую моду Цернике с дефокусом второго порядка. Это позволяет выразить любую aberrационную моду в «сферическом эквиваленте» (SE) в диоптриях с помощью выражения:

$$SE = -4\sqrt{3}/p^2 * C_n^m$$

где  $C_n^m$  – коэффициент интересующей моды Цернике в мкм,

$p$  – радиус зрачка (мм), при котором этот коэффициент был получен.

Различные моды Цернике оказывают разное влияние на зрение. Поэтому результат, полученный по приведенному выше уравнению, следует интерпретировать с осторожностью. Aberrационные моды с большими меридианными частотами, расположенные далеко от центральной оси пирамиды Цернике, часто оказывают меньшее влияние на качество зрения,

чем моды с меньшей частотой. Кроме того, моды Цернике с одинаковыми меридианными частотами, но с разными радианными порядками, могут взаимодействовать друг с другом, ухудшая или улучшая качество зрения. Аберрации высших порядков влияют сильнее при больших размерах зрачка, или когда аберрации низших порядков полностью скорректированы.

Аберрации в центре пирамиды Цернике оказывают наибольшее влияние на качество зрительного восприятия по сравнению с аберрациями на ее краю [9].

Кома – оптическая аберрация третьего порядка. С коэффициентами Цернике  $Z_3^{-1}$ , и  $Z_3^1$  – это вертикальная и горизонтальная кома соответственно (Рисунок 10). Как и астигматизм, кома в человеческом глазу часто присутствует в оси. Осевая кома возникает из-за присущего смещения основных оптических компонентов глаза: роговица и хрусталик глаза наклонены относительно зрительной оси (которая, по сути, является главным лучом), при этом хрусталик также несколько наклонен относительно роговицы и децентрирован [2, 7].

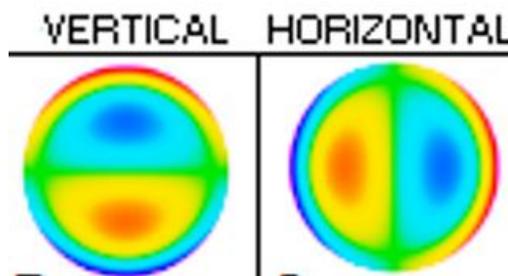


Рисунок 10 – Оптическая аберрация – кома

Кома проявляется в том, что симметричный относительно главного луча пучок, входящий в оптическую систему, становится асимметричным по выходе из нее. Нарушение симметрии в вышедшем пучке лучей объясняется неодинаковыми условиями преломления лучей, входящих в систему на различных зонах входного зрачка. Эта не симметрия плоского меридионального пучка называется меридиональной комой. Кома часто

рассматривается как проблематичная aberrация из-за асимметрии, которую она создает в изображениях. Визуально люди с этим типом aberrации могут испытывать размытие и двоение изображения, так что у изображений может появиться хвост, как у кометы [8, 21].

Сферическая aberrация – это aberrация оптической системы, из-за которой происходит несовпадение фокусов для лучей света, проходящих на разных расстояниях от оптической оси (Рисунок 11). Приводит к нарушению гомоцентричности пучков лучей от точечного источника без нарушения симметрии строения этих пучков (в отличие от комы и астигматизма). В результате сферической aberrации параллельные лучи после преломления линзой получают вид не конуса, а некоторой воронкообразной фигуры, наружная поверхность которой вблизи узкого места называется каустической поверхностью. При этом изображение в фокусе имеет вид круга с неоднородным распределением освещенности, а форма каустической кривой позволяет судить о характере распределения освещенности. В общем, форма изображения при наличии сферической aberrации представляет собой систему концентрических окружностей с радиусами, пропорциональными третьей степени координат на входном (или выходном) зрачке [13,100].

### SPHERICAL

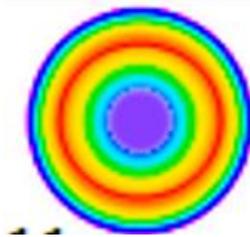


Рисунок 11 – Оптическая сферическая aberrация

Aberrация четвертого порядка с коэффициентом  $Z_4$ . Степень этой aberrации в человеческом глазу также варьируется индивидуально. В целом сферическая aberrация сводится к минимуму за счет асферической формы его оптических поверхностей, а также за счет уменьшения показателя преломления по направлению к внешней зоне хрусталика глаза. Среднее

значение сферической аберрации варьируется от положительной до отрицательной. В молодом глазу хрусталик компенсирует положительную сферическую аберрацию роговицы, тем самым уменьшая общую аберрацию [31]. Величина сферической аберрации увеличивается с возрастом, в основном из-за увеличения сферической аберрации внутренней оптики с уменьшением отрицательной сферической аберрации роговицы [25, 29]. Эта потеря баланса между роговичными и хрусталиковыми сферическими аберрациями в значительной степени ответственна за ухудшение оптического качества зрения стареющего глаза. Сферические аберрации могут вызывать ореолы вокруг точечных источников света и снижение контрастной чувствительности.

Исправление сферической аберрации – это необходимое условие получения высокого качества изображения предметной точки, расположенной на оптической оси. Однако коррекция сферической аберрации не обеспечивает требуемого качества изображения для точек вне оси, если не исправлена кома [9].

Трефоил – аберрация третьего порядка (или эллиптическая кома) (Рисунок 12), коэффициент Цернике обозначается  $Z$  (вертикальный) и  $Z$  (наклонный) с соответствующими коэффициентами разложения  $Z_3^{-3}$ , и  $Z_3^3$ . Трефоил возникает при иррегулярности оптической поверхности и обычно близок по величине к первичной коме и сферической аберрации. Подобно им, он может иметь какое-то значение только при больших размерах зрачка, после исправления основных аберраций глаза – миопии, гиперметропии и астигматизма. Трефоил, классифицируемый как аберрация третьего порядка, оказывает более незначительное влияние на качество изображения по сравнению с равной комой, вызывая оптический феномен, в виде лучистости [2, 7].

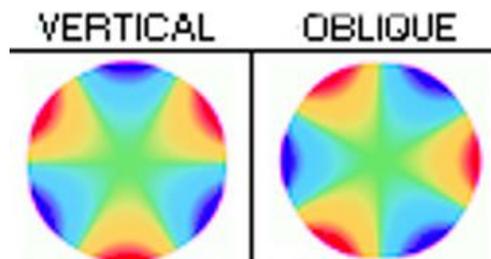


Рисунок 12 – Оптическая aberrация трейлоил

Оптическая система считается правильной, если коэффициенты Цернике близки к нулю и, следовательно, среднеквадратичное значение ошибок волнового фронта меньше  $1/14$  длины волны (критерий Марешаля).

Количество и распределение aberrаций значительно различаются у здоровых пациентов. В исследовании Kalikivayi V. et al. (2021) aberrации измеряли датчиком волнового фронта Хартмана-Шака на 100 глазах здоровых людей в возрасте от 23 лет до 31 года. Наиболее распространенными aberrациями были миопия и астигматизм (2-го порядка). Сравнение aberrаций волнового фронта между глазами человека показало хорошее совпадение для большинства aberrаций, с тенденцией к зеркальной симметрии между глазами [83, 124, 148]. В исследовании Goebels S. et al. (2006) с использованием абберметра Nidek OPD на 140 глазах 140 человек (в возрасте 17-77 лет) описано, что внутренние, роговичные и общие aberrации волнового фронта сильно различались у разных людей [61].

Молодой глаз, как правило, менее подвержен влиянию aberrаций высокого порядка. Это происходит в результате механизма частичной компенсации aberrаций между передней поверхностью роговицы и внутренней оптикой, в основном хрусталика [29, 40, 73, 81]. В исследованиях сообщается, что в глазах без катаракты общие aberrации высшего порядка составляют от 0,27 до 0,58 мкм, кома – от 0,14 до 0,21 мкм [96, 144] и сферическая aberrация – от 0,02 до 0,22 мкм [114, 55, 97].

У пожилых людей наблюдается тенденция к увеличению сферической aberrации. Так же сообщается о значительном увеличении горизонтальной комы и других aberrаций третьего порядка. В работе Artal P. et al. (2002)

показано, что прогрессивное нарушение баланса роговичных и внутренних aberrаций было основным источником увеличения глазных aberrаций у пожилых пациентов. Что касается асимметричных aberrаций, то степень компенсации комы роговицы внутренней оптикой увеличивается с расстоянием между центром зрачка и оптической осью [29, 31]. Кома, возникающая из-за начальной катаракты, зависит от кривизны поверхностей хрусталика, возрастные изменения которого могут оказать влияние на величину этой aberrации и на возможности ее компенсации. Хорошо известно, что естественный процесс старения вызывает изменения в оптике глаза, которые имеют тенденцию к увеличению количества aberrаций высокого порядка за счет помутнения в хрусталике [30, 91, 124, 125, 127, 151]. Понимание причин ухудшения зрения с возрастом важно не только для фундаментального научного интереса, но и для разработки улучшенных способов оптических коррекций для пациентов.

Aberrации высшего порядка увеличиваются с возрастом [152]. Скорость увеличения общих aberrаций высшего порядка и роговичных aberrаций, измеренная с помощью абберметра Hartmann-Shack, составляет 0,0032 мкм в год и 0,0015 мкм в год соответственно [55]. В качестве альтернативы, в другом исследовании сообщается, что нет корреляции между возрастом и общими aberrациями высшего порядка или между возрастом и каждой из внутренних, роговичных или общих aberrаций, измеренных с помощью абберметра Nidek OPD [61].

Несмотря на то, что внутренние aberrации увеличиваются с возрастом, важно отметить, что это увеличение не обязательно оказывает клинически значимое влияние на зрительную функцию, поскольку с возрастом также происходят изменения размера зрачка [52, 141, 145]. Таким образом, несмотря на возрастные изменения сферической aberrации, эти изменения не ухудшают зрительные функции в глазах с узким зрачком [99]. При диаметре зрачка 3,0 мм общие и сферические aberrации высшего порядка не изменяются с возрастом, тогда как кома демонстрирует слабую, но статистически значимую

корреляцию. Однако для зоны диаметром 7,0 мм общие аберрации и кома значительно увеличивались с возрастом, но сферические аберрации не демонстрировали каких-либо возрастных изменений.

Кроме того, с возрастом снижаются зрительная работоспособность и нейронная обработка информации, поэтому важно проводить оценку зрительных характеристик с помощью объективных методов [18, 104]. Старение хрусталика по-разному влияет на функцию контрастной чувствительности в зависимости от уровня освещения или аберраций высшего порядка [38]. Определение контрастной чувствительности клинически полезно для оценки субъективной зрительной функции. Было обнаружено, что контрастная чувствительность ухудшается при отсутствии коррекции аберраций высшего порядка, это характерно для пациентов с наличием начальной катаракты и при этом высокой остротой зрения [69, 111, 150].

Анализ внутренних аберраций высшего порядка, возникших из-за незначительного помутнения хрусталика, играет важную роль в оценке влияния непрозрачности оптических сред на аберрации волнового фронта. Однако внутренние аберрации высшего порядка не были полностью исследованы, поскольку большинство аберрометров, которые использовались ранее, измеряют только общие аберрации волнового фронта. Появление нового диагностического оборудования помогает исследовать изолированно внутренние оптические аберрации. По мнению разных авторов, показатели аберраций высшего порядка (0,88-1,31 мкм) и кома (0,47-0,76 мкм) значительно увеличены у пациентов с катарактой и при этом с хорошей остротой зрения по сравнению с пациентами без катаракты, указывающие на ухудшение зрения у этих пациентов [113, 132, 153]. Это может объяснить выраженные зрительные симптомы у пациентов с ранней катарактой и относительно хорошей остротой зрения.

Разные виды помутнения хрусталика могут создавать уникальные аберрации и изменять качество зрения. В литературе встречается описание взаимосвязей: кома преобладает в группе кортикальной катаракты,

сферическая аберрация – в группе ядерной катаракты, по сравнению с глазами без помутнений в хрусталике [89, 100, 120]. Кома может быть более выраженной при кортикальной катаракте, где помутнение затрагивает кортикальную зону хрусталика, что приводит к искажениям в восприятии. Это тип аберрации, который может создавать оптические феномены, особенно при просмотре объектов, находящихся вне центра поля зрения. Сферическая аберрация возникает, когда лучи света, проходящие через края хрусталика, фокусируются в точке, отличной от тех, которые проходят через центр. Она чаще наблюдается при ядерной катаракте, где помутнение сосредоточено в центральной части хрусталика. Это может приводить к ухудшению контрастности и четкости изображения [47, 51, 84]. В исследовании Sachdev N. et al. (2004) кортикальная катаракта показала тенденцию к большей коме и трефоилу, это может объяснить наличие жалоб у пациента уже с ранней катарактой, которые демонстрируют относительно хорошую остроту зрения по Снеллену с высокой контрастностью [120].

В глазу с легкой ядерной катарактой присутствовали сферические аберрации и трефоил, вызывающие симптомы и жалобы на монокулярную триплопию [84, 94]. Аналогичные результаты были обнаружены у шести человек, которые также жаловались на монокулярную триплопию и имели легкую ядерную катаракту. У этих людей также наблюдались повышение сферической аберрации и трефоила [89]. Сферическая аберрация и вторичный астигматизм высшего порядка присутствовали в глазу с кортикальной катарактой, вызывающей монокулярную диплопию. После операции по удалению катаракты диплопия исчезла, а сферическая аберрация и вторичный астигматизм значительно уменьшились [33,100]. Важно отметить, что эти аберрации могут быть серьезными факторами, влияющими на зрительное восприятие, и их коррекция может требовать хирургического вмешательства.

## 1.5. Качество зрения. Субъективная и объективная характеристика

Помимо численного увеличения внутренних аберраций, клиническая значимость этих параметров определяется их влиянием на зрительную работоспособность. Несмотря на то, что внутренние аберрации увеличиваются с возрастом, важно отметить, что это увеличение не обязательно имеет клинически важное значение на зрительную работоспособность, поскольку с возрастом также происходят изменения в размере зрачка [141]. Таким образом, даже несмотря на то, что с возрастом наблюдается изменение сферической аберрации, это изменение не ухудшает зрительную работоспособность в глазах с малым диаметром зрачка. Кроме того, нейронные изменения в зрительных путях пожилого человека, могут играть роль в снижении зрительной работоспособности и эта роль, по-видимому, менее значима по сравнению с влиянием оптических аберраций стареющего глаза [18, 69, 104, 107]. Поэтому важно проводить оценку зрительной работоспособности так же с помощью объективных способов с учетом нейронной обработки изображения. Более того, прогнозирование возможного улучшения зрения после операции невозможно, пока не будет разработана клиническая система оценки качества зрения у пациентов после хирургии катаракты.

Свет рассеивается, когда попадает в глаз из-за оптических дефектов или отсутствия прозрачности оптических сред, и является основной причиной бликов [115]. Рассеивание не следует путать с оптическими аберрациями: в то время как оптические аберрации отклоняют свет на малые углы ( $<1^\circ$ ), рассеяние света создает посторонний свет под большими углами ( $>1^\circ$ ). Существует два метода оценки рассеяния света: прямое и обратное рассеяние. Оценка помутнения хрусталика с помощью щелевой лампы основана на обратном рассеянии; однако важно отметить, что обратное рассеяние представляет собой свет, который не достигает сетчатки [48].

Золотым стандартом для измерения зрительных функций в клинической практике является острота зрения. По мнению некоторых авторов, внутренние

абберации высшего порядка увеличиваются с возрастом и всегда связаны со снижением остроты зрения [99, 151]. Однако увеличение внутренних аббераций, вызывающих жалобы на оптические феномены, не всегда связано с ухудшением остроты зрения [120]. Аналогичным образом, увеличение рассеивания света показало слабую, хотя и статистически значимую корреляцию с остротой зрения [108, 136]. Таким образом, острота зрения показывает не полную оценку зрительных функций, и другие клинические исследования, такие как контрастная чувствительность или функция светорассеивания, должны быть добавлены в клиническую оценку степени развития катаракты [34]. Несмотря на то, что острота зрения по-прежнему остается золотым стандартом для получения водительских прав, некоторые исследователи утверждают, что требуется учитывать и другие показатели, которые демонстрируют более высокий риск попасть в автомобильную аварию, такие как контрастная чувствительность или функция светорассеивания [80, 82, 105].

Жалобы на появление нежелательных оптических феноменов также могут указывать на снижение контрастной чувствительности и функции светорассеивания. Рядом автором проведены исследования, в которых говорится, что низкие значения контрастной чувствительности и функции светорассеивания были связаны с жалобами на гало эффекты, изображение в виде звезды, нечеткое зрение, диплопию, низкое ночное зрение, а операция по удалению катаракты может значительно улучшить показатели [39, 53]. Исследования так же обнаружили улучшение зрительных функций, сопровождающееся увеличением контрастной чувствительности и функции светорассеивания [25, 78, 115, 131].

Качество зрения является субъективной оценкой, основанной на восприятии человеком своего зрения. Это восприятие является многофакторным и состоит не только из визуальных факторов, но и психологических [50]. Острота зрения может быть проверена, однако не объясняет, как пациент субъективно воспринимает свое зрение. Восприятие

пациентом качества своего зрения может быть важным показателем результата, но измерение восприятия требует тщательно разработанной и проверенной анкеты. Было разработано множество анкет, связанных со зрением, но ни одна из них не измеряет только качество зрения.

Известен способ определения качества зрения при патологии переднего и заднего отрезка глаза – опросная анкета VF-14 (Visual Function) [Alonso J. International applicability of the VF-14. An index of visual function in patients with cataracts.; Kishimoto F., Ohtsuki H. Comparison of VF-14 scores among different ophthalmic surgical interventions]. VF-14 – это широко используемый в офтальмологии инструмент оценки качества зрения пациента, который был разработан в 1994 году. Первоначально этот опросник применяли для оценки функционального состояния глаза при патологии хрусталика и влияния оперативного лечения после удаления хрусталика с имплантацией интраокулярной линзы на повседневную деятельность пациента. Опросная анкета VF-14 состоит из 18 вопросов, касающихся 14 видов повседневной деятельности: чтения мелкого шрифта, чтения шрифта обычной величины, чтения газеты или книги, узнавания других людей, дорожных знаков и указателей, шитья, заполнения квитанции, возможности играть в настольные игры, заниматься спортом, самостоятельно готовить пищу, а также просмотра телевизионных передач, вождения автомобиля в условиях нормальной и сниженной освещенности. На основании ответов респондентов рассчитывают суммарный рейтинг, отражающий взгляд больного на состояние своих зрительных функций. Данный вид опросной анкеты не полностью отражает качество зрения пациентов. В данной опросной анкете нет вопросов, касающихся выполнения повседневных работ в разных условиях освещенности, наличие или отсутствие диплопии, наличие оптических феноменов, а также наличие или отсутствие светорассеяния. Данные жалобы являются специфическими и влияют на качество зрения пациентов. Устранение или уменьшение данных симптомов значительно улучшает качество жизни пациентов, особенно у лиц трудоспособного возраста.

Другой существующий способ оценки качества зрения пациентов – опросник качества зрения (QoV) – the Quality of Vision (QoV) questionnaire [50]. Способ подходит для использования в клинической практике, клинических испытаниях и научных исследованиях для измерения качества зрения у пациентов с коррекцией рефракции и без нее в виде очков, контактных линз, лазерной рефракционной хирургии, внутриглазной рефракционной хирургии с различными типами ИОЛ и для пациентов с заболеваниями глаз, например, катаракта. Авторы разработали опросник из 30 пунктов, проведена оценка по каждой из трех шкал с точки зрения частоты (10 пунктов), тяжести (10 пунктов) и беспокойства симптомов (10 пунктов). Данный опросник не устанавливает связь указанных симптомов с данными объективного тестирования и так же неизвестно, как различные визуальные аспекты комбинируются, чтобы обеспечить общее визуальное восприятие качества зрения пациента.

### **1.6. Методы коррекции оптических aberrаций глаза при патологии хрусталика**

Пациентам с хорошей дооперационной остротой зрения, но плохим качеством зрения может помочь операция по удалению катаракты [22,32,41]. Аналогичные результаты были получены Eric C. Amesbury et al. (2009), которые обнаружили, что качество зрения было значительно улучшено после операции по удалению катаракты у пациентов с дооперационной максимально скорректированной остротой зрения (МКОЗ), равной 1,0 [23, 113].

Суммарные aberrации высшего порядка факического глаза состоят из aberrаций, возникающих на передней поверхности роговицы, задней поверхности роговицы, в хрусталике и сетчатке. Анализ волнового фронта оптической системы глаза расширил наши знания об aberrациях в глазу, помимо сферы и цилиндра, которые значительно влияют на зрительную

функцию. В афакичном глазу 98,2% аберраций возникают на передней поверхности роговицы. Поскольку речь идет об артификации, то аберрации роговицы обязательно имеют значение [128].

Коэффициенты Цернике аберраций высокого порядка могут быть получены из топографических данных роговицы. По данным литературы известно, что при современной хирургии катаракты с малым разрезом средняя послеоперационная топография роговицы существенно не отличается от таковой до операции [62, 87, 143]. Таким образом, у пациентов с катарактой можно измерить роговичные сферические аберрации с помощью топографии роговицы перед операцией, а затем использовать эти данные для подбора оптимальной интраокулярной коррекции и как следствие с максимальной контрастной чувствительностью после операции. Другие исследователи тоже изучали эту концепцию, были представлены исследования, подтверждающие работоспособность этой теории [66, 97, 106].

Измерение сферических аберраций передней поверхности роговицы показало, что среднее значение составляет 0,27 мкм с большим стандартным отклонением 0,10 мкм [28, 36, 72,76]. Из-за этого значение должно измеряться для каждого пациента перед хирургией катаракты.

Для оптимизации хирургических результатов необходимо минимизировать рефракционную ошибку и оптические аберрации. В хирургии катаракты не только правильный расчет оптической силы ИОЛ оказывает влияние на конечную остроту зрения, но и характер сферических аберраций. Таким образом, хирурги должны оптимизировать формулы для расчета оптической силы ИОЛ и попытаться скорректировать сферическую аберрацию. ИОЛ улучшают качество зрения, обеспечивая хорошую контрастную чувствительность, не за счет увеличения остроты зрения. Положительная сферическая аберрация вызывает снижение контрастной чувствительности [68,120]. Многие исследователи за целевое значение остаточной сферической аберрации 0,10 мкм, недавние исследования показали, что лучше стремиться к полному устранению сферических

аббераций (0,00 мкм) [35]. Аберрация проявляется, когда зрачок больше более 4 мм, следовательно, он оказывает наибольшее влияние в мезопических или скотопических условиях и у более молодых пациентов. Аномалии рефракции могут компенсировать остаточную сферическую аберрацию. Положительная сферическая аберрация вызывает миопический сдвиг, а отрицательная сферическая аберрация вызывает гиперметропический сдвиг рефракции [37]. Хотя рефракционная ошибка не зависит от размера зрачка, сферическая аберрация зависит от него; для маленьких зрачков она может быть незначительной, но для более крупных зрачков это имеет большое значение. Асферические ИОЛ уменьшают сферическую аберрацию после операции по удалению катаракты [25, 67, 116, 128]. Однако, по мнению ряда авторов, польза с точки зрения зрительных характеристик минимальна и не очевидна для пациента [106, 120, 124, 140].

## **Резюме**

Опираясь на литературные данные, можно констатировать, что начальная катаракта может значительно увеличивать внутренние аберрации высокого порядка. В свою очередь, это ухудшает качество зрения даже при сохранении высокой остроты зрения. Для понимания обозначенного влияния необходимо расширение научных знаний о взаимосвязи начальной катаракты и аберраций высокого порядка. Целесообразно разработать улучшенные методы диагностики данных аберраций и создать рекомендации по оптимизации методов их коррекции, направленные на улучшение качества зрения у пациентов с начальной катарактой.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Дизайн исследования

Диссертационное исследование представляет собой комплексное исследование, сосредоточенное на разработке, обосновании и клинической апробации персонализированного подхода к ведению пациентов, а также на определении индивидуальных показаний к хирургическому вмешательству при начальных катарактах с высокой остротой зрения, основанных на оценке как субъективного, так и объективного качества зрения пациента. Дизайн исследования представлен на Рисунке 13.

На первом этапе были изучены клинико-функциональные данные у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения в сравнении с контрольной группой без признаков катаракты. Проведено исследование, направленное на изучение аберраций волнового фронта и оценке влияния аберраций на качество зрения пациента. Для оценки субъективного качества зрения была разработана анкета. На основании корреляционного анализа взаимосвязи аберраций высшего порядка и субъективного качества зрения разработан индивидуализированный подход к определению показаний к хирургии начальных катаракт с высокой остротой зрения. На основе проведенного анализа определялись показания для хирургического вмешательства при катаракте.

На втором этапе была проверена эффективность разработанного подхода в клинической практике с внедрением предложенного алгоритма. После выполнения факоемульсификации начальной катаракты с высокой остротой зрения проводили анализ клинико-функциональных результатов.

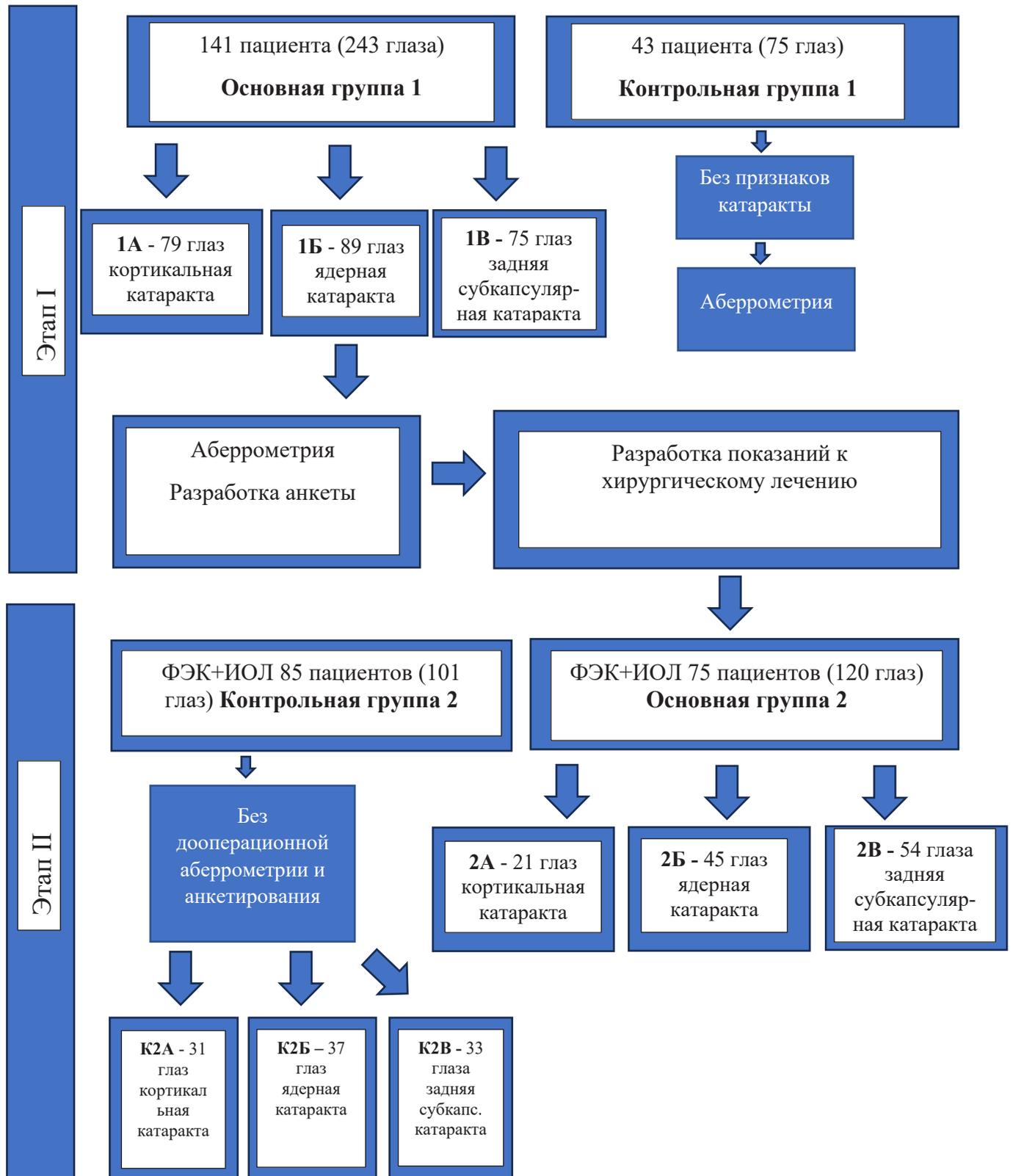


Рисунок 13 – Дизайн исследования

## 2.2. Материал и методы исследования

Работа выполнена на базе АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза». Группа лиц для исследования была сформирована на добровольных началах, в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (1964 г. с поправками 2000 г.) и Федеральным законом Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. N 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Всего обследованы 269 пациентов на базе АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза». Основная группа 1 – это пациенты с начальной катарактой – 141 человек (243 глаза). Пациенты основной группы были разделены на три подгруппы по типу катаракты: с кортикальной катарактой подгруппа 1А – 79 глаз, с ядерной катарактой подгруппа 1Б – 89 глаз, с задней субкапсулярной катарактой подгруппа 1В – 75 глаз. Контрольная группа 1 без признаков катаракты – 43 человека (75 глаз). Возраст в основной группе 1 варьировал от 42 до 85 лет, 59 мужчин (41,8%), 82 женщины (58,2%). Возраст в контрольной группе 1 варьировал от 43 до 65 лет, 22 мужчины (51,1%) и 21 женщина (48,9%).

Критерии включения пациентов в исследования:

- наличие начальной катаракты, определенной по биомикроскопии;
- высокая острота зрения с коррекцией, не менее 0,7;
- отсутствие предшествующих хирургических вмешательств на глазном яблоке.

Критерии исключения пациентов из исследования:

- катаракта травматической этиологии;
- заболевания роговицы, ранее выполненные кераторефракционные операции;
- дистрофические заболевания макулярной области;

- глаукома;
- острые и хронические воспалительные заболевания глаза;
- жалобы на сухость, резь, жжение, покраснение глаз;
- соматические заболевания в стадии обострения (гипертония, инфаркт миокарда, острая коронарная недостаточность, инсульт);
- аллергические реакции к используемым фармакологическим препаратам.

До начала обследования проводили сбор анамнеза о наличии ранее проводимых хирургических вмешательств, капельном режиме, аллергических реакциях, перенесённых инфекционных и наличии хронических заболеваний. У всех пациентов имелись заключения терапевта, отоларинголога и стоматолога на предмет отсутствия патологических изменений и разрешения к проведению офтальмологической операции.

Из основной группы 1 (141 пациент – 243 глаза) была сформирована основная группа 2, в которую вошли 75 пациентов (120 глаз), направленные на основании диагностики на факоемульсификацию катаракты с имплантацией сферической ИОЛ. Средний возраст в основной группе 2, пациентам которой проведена факоемульсификация катаракты с имплантацией ИОЛ, варьировал от 43 до 75 лет, 32 мужчины (42,6%), 43 женщины (57,4%).

Для сравнения степени удовлетворенности пациентов после операции сформирована контрольная группа сравнения 2, в которую вошли пациенты без дооперационной оценки аберрометрии и анкетирования. В данной группе обследованы 85 пациентов (101 глаз). Средний возраст варьировал от 46 до 77 лет, 39 мужчин (46%), 46 женщин (54%).

### **2.3. Инструментальные методы исследования анатомического и функционального состояния органа зрения**

Всем пациентам в пред- и послеоперационном периоде на всех сроках наблюдения проводили комплексное офтальмологическое обследование,

которое включало в себя стандартные и специальные диагностические методы, направленные на углубленное изучение аберраций и биометрических параметров глаза.

Объем стандартного обследования включал: визометрию, автокератометрию, тонометрию, динамическую периметрию, оптическую биометрию, ультразвуковое В-сканирование, биомикроскопию, офтальмоскопию с использованием бесконтактных высокодиоптрийных линз для осмотра центральных и периферических отделов глазного дна:

- остроту зрения оценивали по десятичной системе на форопторе Торсон CV 5000 (Япония) без коррекции и с максимально возможной коррекцией;
- кератометрию и рефрактометрию проводили при помощи автоматического кераторефрактометра KR 8900 Торсон (Япония);
- бесконтактную оптическую биометрию, пахиметрию, определение глубины передней камеры и толщины хрусталика выполняли на оптическом биометре IOL Master 700 Zeiss (Германия);
- тонометрию проводили при помощи портативного офтальмологического тонометра Icare ic100 (Финляндия), оснащенного системой интеллектуального позиционирования и работающего по возвратно-рикошетному принципу;
- периметрию проводили на настольном офтальмологическом периметре (ПНА-002, МНТК «Микрохирургия глаза», Россия), работающем по принципу динамической периметрии в полуавтоматическом режиме;
- ультразвуковое В-сканирование выполняли на аппарате Tomey UD8000 (Япония). В ходе исследования оценивали состояние стекловидного тела (наличие грубых помутнений), состояние внутренних оболочек глаза (наличие отслойки сетчатки, внутриглазных новообразований);
- биомикроскопию проводили с использованием щелевой лампы «SL 130» (Carl Zeiss, Германия). В ходе исследования оценивали состояние

конъюнктивы, роговицы, глубину передней камеры, состояние ее влаги, пигментной каймы зрачка, его реакцию на свет, структуру радужной оболочки, наличие и локализацию помутнений в хрусталике, состояние стекловидного тела;

- офтальмоскопию глазного дна выполняли в обратном виде при помощи щелевой лампы и бесконтактной высокодиоптрийной линзы Ocular MaxField 78D (Ocular Instruments, США). Оценивали макулярный рефлекс, состояние макулярной области, диска зрительного нерва и периферии сетчатки: наличие или отсутствие дистрофических изменений. При обнаружении изменений пациентов исключали из исследования.

После проведения хирургического вмешательства биомикроскопически оценивали:

- состояние роговицы (наличие или отсутствие отека, складок десцеметовой мембраны, пигмента на эндотелии);
- глубину и влагу передней камеры (наличие феномена Тиндаля, экссудативной реакции),
- состояние радужной оболочки (реакция зрачка на свет);
- положение ИОЛ (центральное или децентрация ИОЛ);
- состояние стекловидного тела (наличие и выраженность его деструкции).

Специальные методы дополнительного исследования включали:

- определение количества эндотелиальных клеток роговицы на приборе Specular Microscope EM-4000 (Tomey, Япония);
- определение aberrаций волнового фронта проводили на абберометре ITrace (Tracey technology, США), работающем по принципу трассировки лучей и позволяющем дифференцировать роговичные и внутренние aberrации (Рисунок 14).



Рисунок 14 – Абберометр ITrace (Tracey technology, США)

Абберометр выдает данные измерений в виде карты волнового фронта (Рисунок 15). Аберрации измеряются в зоне зрачка, для проведения исследования в циклоплегических условиях использовали глазные капли «Мидримакс» (фенилэфрина гидрохлорид – 50,0 мг, тропикамид – 8,0 мг).

В работе оценивали роговичные, внутренние и общие аберрации высшего порядка при ширине зрачка 5 мм в условиях циклоплегии. Помимо указанных аберраций, оценивали два показателя их влияния на оптическое качество зрения – функцию передачи модуляции (MTF – modulation transfer function) и коэффициент Штреля.

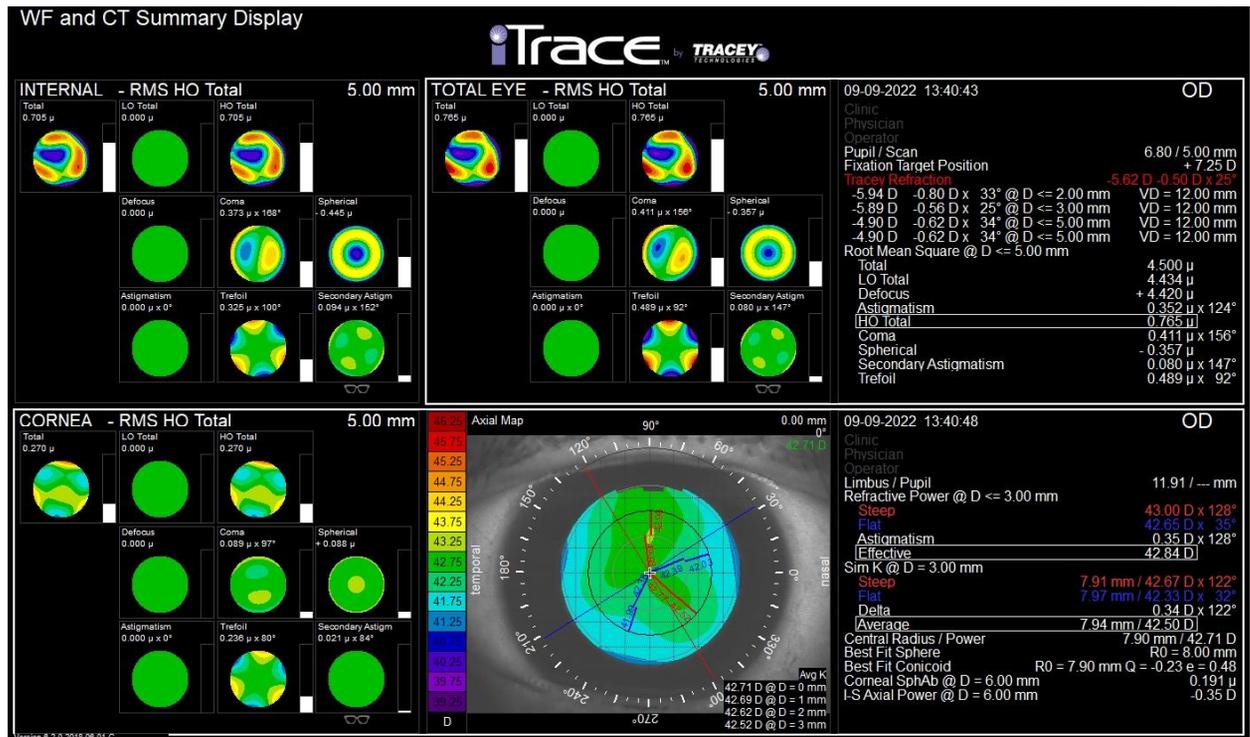


Рисунок 15 – Данные aberрометрии, исследование общих, роговичных, внутренних aberrаций высшего порядка волнового фронта

## 2.4. Хирургический подход

### Предоперационная подготовка пациента

Всем исследуемым пациентам за день до операции было проведено полное диагностическое обследование глаз, осмотр офтальмолога и анестезиолога. Пациенты были госпитализированы в стационар АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза».

Для качественной визуализации структур глазного дна во время операции необходимо достижение максимального мидриаза. Для этого за 15-20 минут до приглашения пациента в предоперационную проводили инстилляцию каплей фенилэфрин 5,0 % + тропикамид 0,8% (Мидримакс, «Sentiss Pharma Pvt.Ltd.», Индия), расширяющих зрачок. Далее в предоперационной повторно выполняли инстилляцию этих же капель.

В ходе операций проводили мониторинг артериального давления, пульса и сатурации.

### **Обработка операционного поля**

Обработку конъюнктивальной полости проводили в следующей последовательности: анестетик оксибупрокаин (Бенокси, Unimed Pharma spol. s r.o., Республика Словения) 1-2 капли, колларгол 2% (Россия) с экспозицией 1 минута. Далее веки, ресницы, надбровные дуги, кожу скуловой области обрабатывали стерильным марлевым тампоном, смоченным раствором повидон-йод 7,5% (Б. Браун Медикал АГ, Германия) или 0,5% спиртовым раствором хлоргексидина биглюконата (РОСБИО, Россия). Затем операционное поле укрывали стерильной одноразовой офтальмологической простыней и защитным липким слоем «Здравмедтех-М» (Россия), который накладывали на ресничный край век и брови таким образом, чтобы ресницы не попадали в операционное поле. Далее устанавливали блефаростат для расширения и фиксации век и повторяли инстилляцию в конъюнктивальную полость анестетика оксибупрокаина.

Все операции выполнены двумя опытными хирургами.

### **Ход операции**

В субтеноново пространство через прокол конъюнктивы устанавливали катетер таким образом, чтобы он оказывался за экватором глазного яблока, то есть на глубину 2,5-3,0 см и вводили 2%-ный раствор лидокаина или 0,75%-ный раствор бупивакаина. Далее роговичный вспомогательный разрез выполняли ножом для парацентеза с шириной лезвия 1,0 мм под манипулятор на трех часах. Основной роговичный разрез 2,2 мм выполнен на одиннадцати часах. После формирования основного тоннельного разреза и парацентеза выполняли передний круговой непрерывный капсулорексис. С целью защиты эндотелия роговицы и выполнения переднего капсулорексиса использованы адгезивные вискоэластики. Далее проводили гидродиссекцию и гидроделинеацию хрусталика. Затем с помощью ультразвукового факонконечника выполняли эмульсификацию ядра и плотных кортикальных масс хрусталика. Более эластичные и мягкие части хрусталиковых масс удаляли при помощи канюли по Симко.

Имплантацию заднекамерной эластичной сферической ИОЛ Hanita (Израиль) проводили с помощью картриджа, который предварительно заполняли когезивным вискоэластиком. Затем вискоэластик из передней камеры тщательно вымывали. После окончания операции эпибульбарно закапывали раствор антибиотика. На глаз накладывали стерильную монокулярную повязку.

## **2.5. Методы статистической обработки материала**

В работе использовали основные, наиболее часто используемые статистические процедуры: средства описательной статистики, критерии различия, корреляционные и другие методы, позволяющие проводить необходимый статистический анализ клинического типа данных. Статистическая обработка результатов исследования осуществлена в программе «Statistica 10.0» (StatSoft Inc., США) и Microsoft Excel. Подавляющее большинство выборочных данных согласовались с нормальным распределением согласно критерию Колмогорова-Смирнова, поэтому рассчитывались среднее значение показателей и его ошибку ( $M \pm m$ ). Для оценки значимости различий использовали параметрический критерий – двусторонний t-критерий Стьюдента. Критический уровень достоверности ( $p$ ) при проверке статистических гипотез принимали равными 0,05 ( $p < 0,05$ ) с учетом оценки возможного  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$ . Дополнительно определяли корреляционную зависимость между внутренними абберациями высшего порядка и данными анкетирования. Для этого рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ ).

### **Глава 3. КЛИНИКО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ АББЕРАЦИЙ ПАЦИЕНТОВ БЕЗ КАТАРАКТЫ И ПАЦИЕНТОВ С НАЧАЛЬНОЙ КАТАРАКТОЙ И ВЫСОКОЙ ОСТРОТОЙ ЗРЕНИЯ**

Целью данной главы стала оценка клинико-функциональных результатов исследования пациентов с начальной катарактой с высокой остротой зрения и без признаков таковой до операции, для определения показаний для хирургии катаракты.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) сравнительный анализ клинического статуса пациентов в сравниваемых группах;
- 2) анализ аберраций высшего порядка волнового фронта, функции передачи модуляции, коэффициента Штреля;
- 3) анализ результатов анкетирования по разработанному опроснику.

#### **3.1. Клинико-функциональные результаты обследования пациентов**

Клинический статус в сравниваемых группах достоверно не различался по всем характеристикам: возрасту и полу, кератометрии, длине оси глаза, остроте зрения, уровню внутриглазного давления ( $p > 0,05$ ). Возраст в основной группе 1 варьировал от 42 до 85 лет (в среднем 62 года  $\pm$  8,7), 59 мужчин (41,8%), 82 женщины (58,2%). Возраст в контрольной группе 2 варьировал от 43 до 65 лет (в среднем 58  $\pm$  5,8 года), 22 мужчины (51,1%) и 21 женщина (48,9%).

Некорригированная острота зрения (НКОЗ) в подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой колебалась от 0,05 до 0,9 (в среднем 0,32  $\pm$  0,22), максимально корригированная острота зрения (МКОЗ) – от 0,7 до 0,95 (в среднем 0,78  $\pm$  0,07). В подгруппе пациентов 1Б с ядерной катарактой НКОЗ колебалась от 0,01 до 1,0 (в среднем 0,36  $\pm$  0,25), МКОЗ – от 0,7 до 1,0 (в

среднем  $0,84 \pm 0,09$ ). В подгруппе пациентов 1В с задней субкапсулярной катарактой НКОЗ колебалась от 0,1 до 0,9 (в среднем  $0,48 \pm 0,24$ ), МКОЗ – от 0,7 до 1,0 (в среднем  $0,84 \pm 0,07$ ).

В контрольной группе 1 НКОЗ колебалась от 0,1 до 1,0 (в среднем  $0,59 \pm 0,29$ ), МКОЗ – от 0,8 до 1,0 (в среднем  $0,93 \pm 0,06$ ).

Таблица 1 – Предоперационная клиническая характеристика пациентов основной и контрольной группы исследования ( $M \pm m$ )

Характеристики	Основная группа, n=243 подгруппы по типу катаракты			Контрольная группа 1, n=75
	подгруппа 1А кортикальная, n= 79	подгруппа 1Б ядерная, n= 89	подгруппа 1В задняя субкапсулярная, n= 75	
Возраст (лет)	$67,9 \pm 8,75$	$66,5 \pm 11,71$	$48,6 \pm 11,76$	$58 \pm 5,8$
Острота зрения без коррекции (НКОЗ)	$0,32 \pm 0,22$	$0,36 \pm 0,25$	$0,48 \pm 0,24$	$0,59 \pm 0,29$
Острота зрения с коррекцией (МКОЗ)	$0,78 \pm 0,07$	$0,84 \pm 0,09$	$0,84 \pm 0,07$	$0,93 \pm 0,06$
ПЗО (мм)	$23,4 \pm 0,87$	$22,8 \pm 0,96$	$23,5 \pm 0,59$	$23,3 \pm 0,85$
Кератометрия (дптр)	$43,64 \pm 0,76$	$42,57 \pm 0,9$	$43,42 \pm 0,85$	$43 \pm 0,62$
Сферический эквивалент рефракции	$1,25 \pm 2,5$	$-2,0 \pm 3,25$	$0,75 \pm 2,0$	$-0,75 \pm 1,25$
ВГД (Рi, мм рт.ст.)	$14,1 \pm 1,5$	$16,3 \pm 2,3$	$15,2 \pm 1,9$	$13,2 \pm 1,1$
Эндотелиальная микроскопия (кл/мм <sup>2</sup> )	$2450 \pm 53,3$	$2299 \pm 42,5$	$2515 \pm 36,8$	$2745 \pm 28,8$

Длина передне-задней оси (ПЗО) глазного яблока в основной группе 1 составляла от 21,27 до 25,06 мм (в среднем  $23,11 \pm 0,15$ ). Среднее значение длины передне-задней оси в подгруппе 1А с кортикальной катарактой –  $23,4 \pm 0,87$  мм, с ядерной катарактой 1Б –  $22,8 \pm 0,96$  мм, с задней субкапсулярной катарактой 1В –  $23,5 \pm 0,59$  мм, в контрольной группе 1 –  $23,3 \pm 0,85$  мм.

Среднее значение кератометрии в подгруппе с ядерной катарактой 1А –  $43,64 \pm 0,76$  дптр, с кортикальной катарактой 1Б –  $42,57 \pm 0,9$ , с задней субкапсулярной катарактой 1В –  $43,42 \pm 0,85$ , в контрольной группе 1 –  $43 \pm 0,62$  дптр. Сферический эквивалент рефракции в подгруппе с кортикальной катарактой 1А составил  $1,25 \pm 2,5$ , с ядерной катарактой 1Б –  $-2,0 \pm 3,25$ , сдвиг в миопическую рефракцию, с задней субкапсулярной катарактой 1В –  $-0,75 \pm 1,25$ . У 4 человек плотность эндотелиальных клеток роговицы от 1900 до 2199 клеток/мм<sup>2</sup>, в остальных случаях от 2200 до 2800 клеток/мм<sup>2</sup> (Таблица 1).

### Тип и тяжесть катаракты в основной группе 1

Плотность катаракты оценивали согласно классификации LOCS III (Lens Opacities Classification System – системная классификация помутнений хрусталика), состоящей из оценки по шести степеням цвета ядра (NC) и опалесценции ядра (NO) на щелевой лампе для ядерной катаракты, оценки по пяти степеням изображений с ретроиллюминацией для кортикальной катаракты (C) и оценки по пяти степеням изображений с ретроиллюминацией для задней субкапсулярной (P) катаракты.

Таблица 2 – Распределение типа и степени плотности катаракты по классификации LOCS III

Кортикальная катаракта (подгруппа 1А)	Кол-во случаев n = 79 (%)	Ядерная катаракта (подгруппа 1Б)	Кол-во случаев n = 89 (%)	Задняя субкапсулярная катаракта (подгруппа 1В)	Кол-во случаев n = 75 (%)
C1	3 (3,8%)	NO1NC1	5 (5,6%)	P1	2 (2,6%)
C2	14 (17,7%)	NO2NC2	15 (16,8%)	P2	31 (41,3%)
C3	27 (34,1%)	NO3NC3	31 (34,8%)	P3	28 (37,3%)
C4	31 (39,2%)	NO4NC4	32 (35,9%)	P4	10 (13,3%)
C5	4 (5%)	NO5NC5	5 (5,6%)	P5	4 (5,3%)
		NO6NC6	0		

### 3.2. Анализ аберраций высшего порядка

Анализ внутренних аберраций высшего порядка, возникших в результате незначительного помутнения хрусталика, имеет важное значение для определения влияния непрозрачности сред на общие аберрации волнового фронта. Значения аберраций высшего порядка в мезопических условиях в исследуемых группах представлены в Таблице 3.

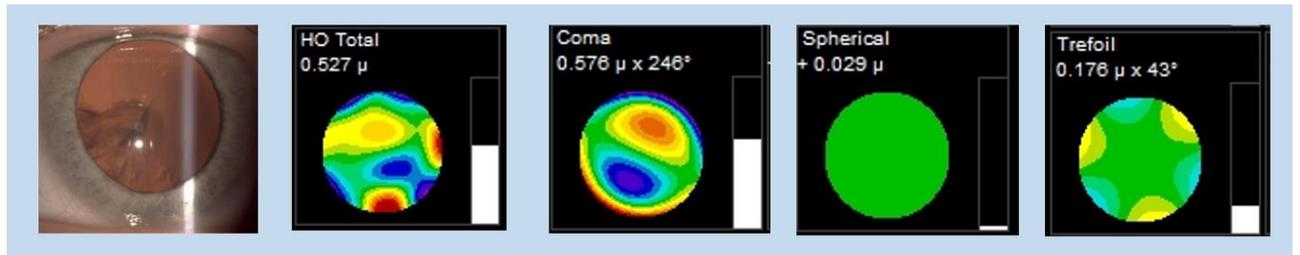
Таблица 3 – Значения аберраций высшего порядка в исследуемых группах

Тип катаракты	Значение аберраций по группам (M±m)			
	кортикальная (подгруппа 1А, n=79)	ядерная (подгруппа 1Б, n=89)	задняя субкапсулярная (подгруппа 1В, n=75)	Контрольная группа 1 (n=43)
<b>Внутренние аберрации (мкм)</b>				
НОА RMS	0,42 ±0,23 p <0,05	0,57 ±0,38 p <0,05	0,9 ±0,31 p <0,05	0,10 ±0,08
Кома	0,6 ±0,33 p <0,05	0,31 ±0,27 p <0,05	0,45 ±0,24 p <0,05	0,05 ±0,02
Сферическая	0,20 ±0,02 p <0,05	-0,63 ±0,12 p <0,05	0,26 ±0,17 p <0,05	0,005 ±0,01
Трефоил	0,42 ±0,13 p <0,05	0,05 ±0,13 p >0,05	0,59 ±0,21 p <0,05	0,05 ±0,01
<b>Общие аберрации (мкм)</b>				
НОА RMS	0,48 ±0,27 p <0,05	0,69 ±0,31 p <0,05	0,89 ±0,32 p <0,05	0,18 ±0,04
Кома	0,75 ±0,13 p <0,05	0,22 ±0,24 p <0,05	0,31 ±0,17 p <0,05	0,09 ±0,02
Сферическая	0,25 ±0,11 p <0,05	0,21 ±0,12 p <0,05	0,29 ±0,09 p <0,05	0,04 ±0,01
Трефоил	0,24 ±0,19 p =0,05	0,20 ±0,05 p =0,05	0,32 ±0,14 p <0,05	0,14 ±0,04
<b>Роговичные аберрации (мкм)</b>				
НОА RMS	0,09 ±0,03 p >0,05	0,19 ±0,08 p >0,05	0,04 ±0,01 p >0,05	0,17 ±0,02
Кома	0,02 ±0,001 p >0,05	0,03 ±0,01 p >0,05	0,05 ±0,01 p >0,05	0,05 ±0,01
Сферическая	0,01 ±0,005 p >0,05	0,09 ±0,02 p >0,05	0,14 ±0,03 p >0,05	0,08 ±0,01
Трефоил	0,09 ±0,06 p >0,05	0,04 ±0,01 p >0,05	0,07 ±0,02 p >0,05	0,03 ±0,02

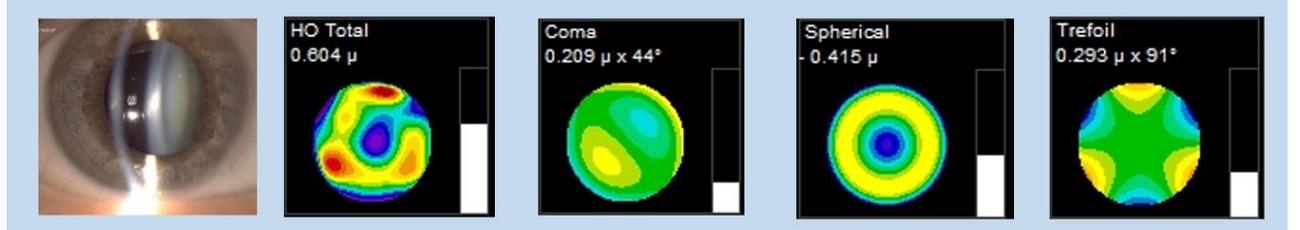
Общие и внутренние aberrации высшего порядка были достоверно больше в основной группе 1 по сравнению с контрольной группой 1, в то время как роговичные aberrации высшего порядка статистически не различались. Но на качество зрения влияет совокупность всех aberrаций. Таким образом, соотношение между внутренними и роговичными aberrациями может резко измениться после фактоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ. Поэтому роговичные и внутренние aberrации учитывались изолированно, для возможности оценки оптимального рефракционного результата.

При сравнении общих и внутренних aberrаций при различных видах катаракты был выявлен более высокий уровень aberrаций в подгруппе пациентов 1В с заднекапсулярной катарактой. Глаза с кортикальной катарактой в подгруппе 1А показали незначительное преобладание во внутренней оптике комоподобных aberrаций по сравнению с двумя другими группами катаракт как в общих, так и во внутренних aberrациях ( $p < 0,05$ ). В подгруппе с ядерной катарактой 1Б значительно отличались сферические aberrации (отрицательный сдвиг), чем в подгруппах с кортикальной и заднекапсулярной катарактой во внутренних aberrациях высшего порядка ( $p < 0,05$ ). В подгруппе 1В с заднекапсулярной катарактой значительно более высокие aberrации трефоил в общих aberrациях и во внутренних aberrациях высшего порядка по сравнению с двумя другими подгруппами ( $p > 0,05$ ).

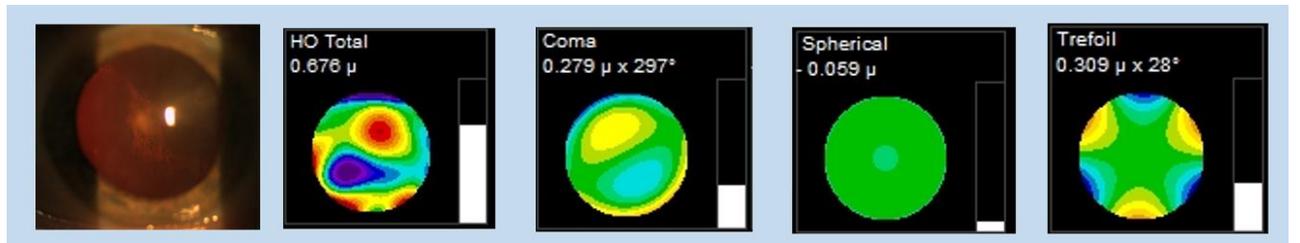
На Рисунке 16 продемонстрированы клинические примеры распределения значений внутренних aberrаций высшего порядка при различных видах катаракт.



А



Б



В

А – значения внутренних aberrаций высшего порядка при кортикальной катаракте (подгруппа 1А)

Б – значения внутренних aberrаций высшего порядка при ядерной катаракте (подгруппа 1Б)

В – значения внутренних aberrаций высшего порядка при задней субкапсулярной катаракте (подгруппа 1В)

Рисунок 16 – Значения внутренних aberrаций высшего порядка при различных видах катаракт

В исследовании пациенты были разделены на группы на основе классификации LOCS III. Для каждой группы измерены внутренние aberrации глаза при диаметре зрачка 5 мм, что соответствует мезопическим условиям, при которых aberrации проявляются наиболее выражено.

Значение вероятности связи между типом и плотностью катаракты и внутренней aberrационной модой показано в Таблице 4.

Таблица 4 – Значение вероятности связи между данным типом и плотностью катаракты и внутренней абберационной модой при диаметре зрачка 5 мм

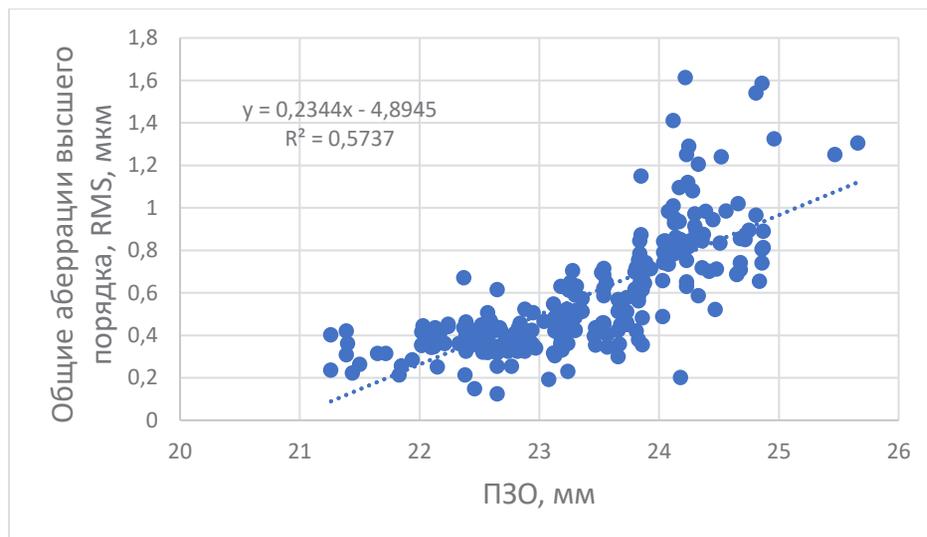
Тип катаракты	Кома	Сферическая абберация	Трефоил
<b>Кортикальная катаракта</b>			
C1	>0,1	>0,1	>0,1
C2	>0,1	>0,1	>0,1
C3	0,05	>0,1	>0,1
C4	<0,01	<0,1	>0,1
C5	<0,01	<0,1	>0,1
<b>Ядерная катаракта</b>			
NO1NC1	>0,1	>0,1	>0,1
NO2NC2	>0,1	>0,1	>0,1
NO3NC3	<0,1	0,05	>0,1
NO4NC4	<0,1	0,05	>0,1
NO5NC5	<0,1	<0,05	<0,1
NO6NC6	0,05	<0,01	0,05
<b>Задняя субкапсулярная катаракта</b>			
P1	>0,1	>0,1	>0,1
P2	>0,1	>0,1	<0,1
P3	>0,1	>0,1	<0,05
P4	<0,1	>0,1	<0,01
P5	0,05	<0,1	<0,01
Контрольная группа 1	>0,1	>0,1	>0,1

Выявлена связь между увеличением плотности кортикальной катаракты ( $p < 0,01$ ) и увеличением внутренней комы. Статистическая значимость задней субкапсулярной и ядерной катаракты в сочетании с увеличением внутренней комы почти достигла значимости ( $p=0,05$ ). Сферическая абберация увеличивалась с увеличением плотности ядерной катаракты ( $p < 0,01$ ) и с

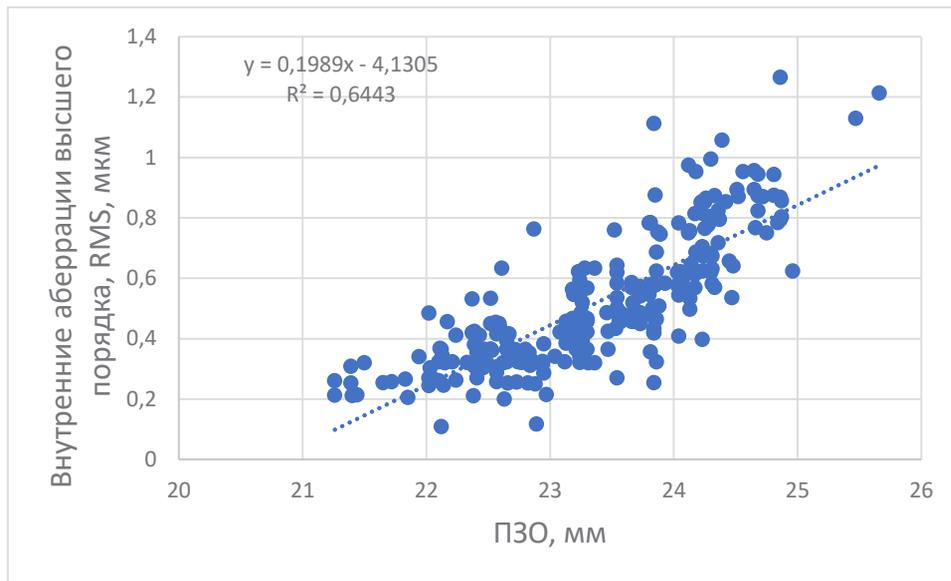
меньшим уровнем значимости при кортикальной катаракте ( $p < 0,1$ ). Сильная положительная ассоциация присутствовала для задней субкапсулярной катаракты и внутреннего трефоила ( $p < 0,01$ ). Некоторая положительная связь была выявлена при ядерной катаракте и увеличении внутренней aberrации трефоил ( $p = 0,05$ ).

Таким образом, каждый тип катаракты характеризовался преобладанием определенного вида aberrации.

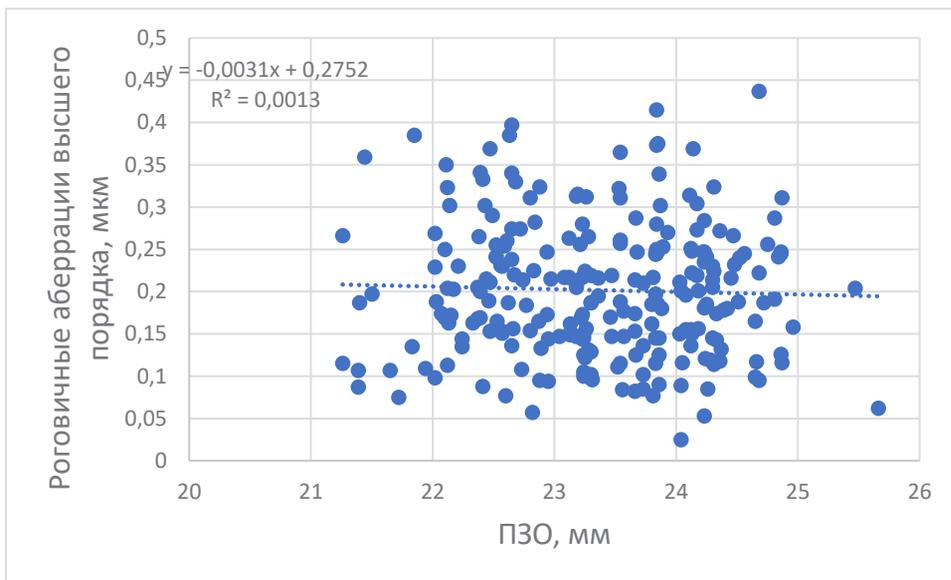
Величина передней-задней оси (ПЗО) глаза была тесно связана как с общими, так и с внутренними aberrациями высшего порядка (оба  $p < 0,001$ ) (Рисунок 17). Оба компонента увеличивались с увеличением осевой длины ( $R^2 = 0,5744$  и  $R^2 = 0,6449$  соответственно). Роговичные aberrации высшего порядка не зависели от осевой длины ( $p = 0,157$ ,  $R^2 = 0,0013$ ). Следовательно, по мере увеличения степени миопии и аксиальной длины глаза достоверно увеличиваются общие и внутренние aberrации высшего порядка.



А



Б



В

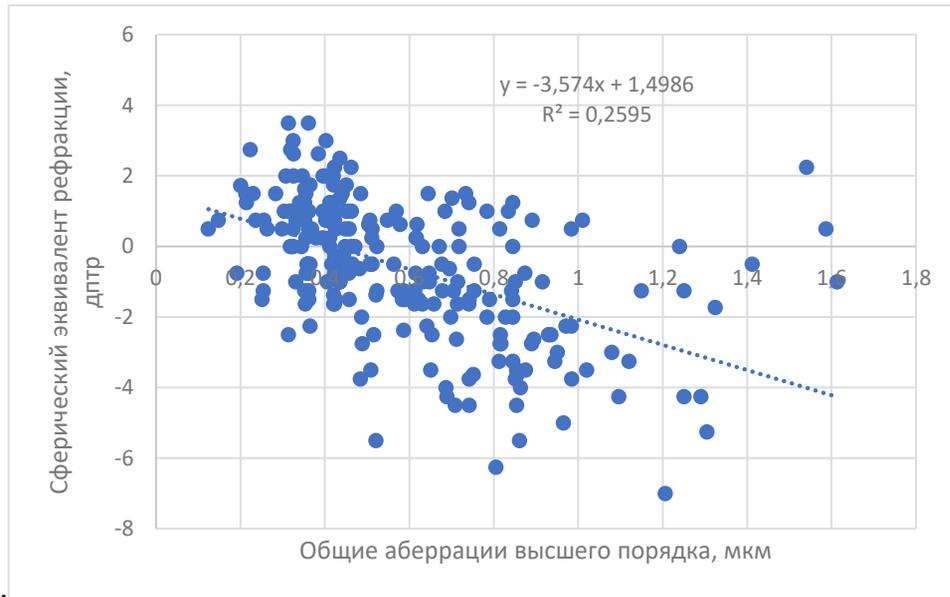
А – зависимость общих aberrаций высшего порядка от ПЗО

Б – зависимость внутренних aberrаций высшего порядка от ПЗО

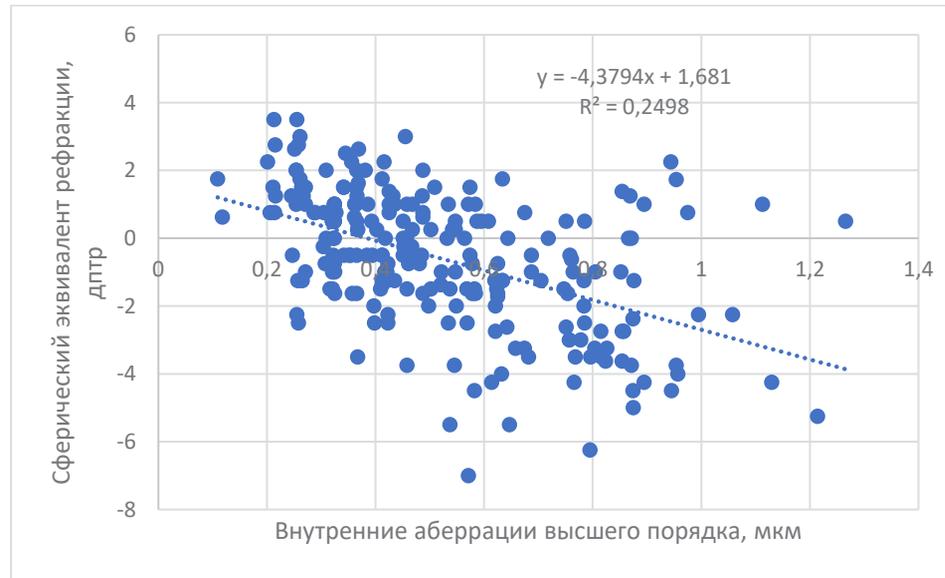
В – зависимость роговичных aberrаций высшего порядка от ПЗО

Рисунок 17 – Данные общих, внутренних и роговичных aberrаций высшего порядка в зависимости от величины ПЗО

Сферический эквивалент рефракции был слабо связан как с общими ( $p < 0,1$ ,  $R^2 = 0,2595$ ), так и с внутренними ( $p < 0,1$ ,  $R^2 = 0,2498$ ) aberrациями высшего порядка и не зависел от роговичного компонента ( $p > 0,1$ ,  $R^2 = 0,0004$ ). Никакой связи между сферической эквивалентной рефракцией и каждой aberrационной модой обнаружено не было (Рисунок 18).



А



Б



В

А – зависимость общих аберраций высшего порядка от сферического эквивалента рефракции

Б – зависимость внутренних aberrаций высшего порядка от сферического эквивалента рефракции

В – зависимость роговичных aberrаций высшего порядка от сферического эквивалента рефракции

Рисунок 18 – Данные общих, внутренних и роговичных aberrаций высшего порядка в зависимости от сферического эквивалента рефракции

Сферический эквивалент рефракции и величина ПЗО тесно связаны с общими и внутренними aberrациями высшего порядка. Общая сферическая aberrация демонстрирует связь с величиной сферического эквивалента рефракции.

Результаты исследования показали, что отсутствовала связь между плотностью эндотелиальных клеток роговицы и каждой из трех aberrаций высшего порядка. Кривизна роговицы показала тесную связь с роговичными aberrациями высшего порядка ( $p < 0,05$ ) и более слабую связь со сферической aberrацией и трефоилом ( $p = 0,05$ ) (Таблица 5).

Таблица 5 – Значение вероятности для связи между величиной каждой из структурных переменных и каждого из трех видов aberrаций

Параметры	Общие aberrации высшего порядка	Кома	Сферическая aberrация	Трефоил
Кератометрия	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
Сферический эквивалент рефракции	$p < 0,001$		$p < 0,05$	$p > 0,05$
ПЗО	$p < 0,001$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$
Плотность эндотелиальных клеток	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$

Параметры	Внутренние абerrации высшего порядка	Кома	Сферическая абerrация	Трефоил
Кератометрия	p >0,05	p >0,05	p >0,05	p >0,05
Сферический эквивалент рефракции	p <0,001	p >0,05	p >0,05	p >0,05
ПЗО	p <0,001	p >0,05	p >0,05	p >0,05
Плотность эндотелиальных клеток	p >0,05	p >0,05	p >0,05	p >0,05

Параметры	Роговичные абerrации высшего порядка	Кома	Сферическая абerrация	Трефоил
Кератометрия	p <0,05	p >0,05	p =0,05	p =0,05
Сферический эквивалент рефракции	p >0,05	p >0,05	p >0,05	p >0,05
ПЗО	p >0,05	p >0,05	p >0,05	p >0,05
Плотность эндотелиальных клеток	p >0,05	p >0,05	p >0,05	p >0,05

Примечание: Значения вероятности при  $p \leq 0,05$  выделены серым цветом.

### Функция передачи модуляции

Функция передачи модуляции описывает качество изображения оптической системы и измеряет передачу модуляции (контрастности) от объекта к изображению. Проведена оценка функции передачи модуляции (ФПМ) при диаметре зрачка 5 мм в подгруппах кортикальной, ядерной и заднекапсулярной катаракты и контрольной группе 1 (Рисунок 19).

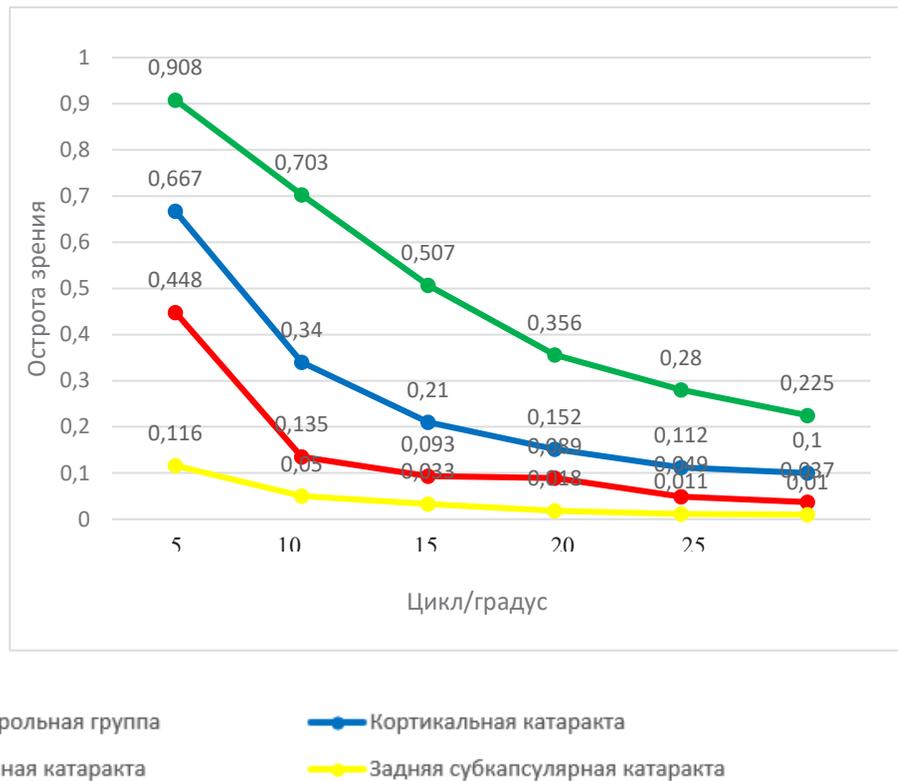


Рисунок 19 – Функция передачи модуляции (ФПМ) в исследуемых группах

Среднее значение функции передачи модуляции в подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой составила  $0,263 \pm 0,2$ , в подгруппе пациентов 1Б с ядерной катарактой –  $0,142 \pm 0,1$ , в подгруппе пациентов 1В с задней субкапсулярной катарактой –  $0,039 \pm 0,04$ . В контрольной группе 1 ФПМ в среднем составила  $0,496 \pm 0,2$ . Пациенты с заднекапсулярной катарактой продемонстрировали значительно более низкие показатели ( $p < 0,05$ ) по сравнению с подгруппами с кортикальной и ядерной катаракт и контрольной группой 1 в диапазоне пространственных частот от 5 до 30 цикл/градусов. При этом статистически значимых различий между подгруппами кортикальной и ядерной катаракты на всех исследуемых пространственных частотах не было выявлено ( $p > 0,05$ ) (Таблица 6).

Таблица 6 – Функция передачи модуляции (ФПМ) в исследуемых группах

Функция передачи модуляции	5 цикл/г рад	10 цикл/г рад	15 цикл/г рад	20 цикл/г рад	25 цикл/г рад	30 цикл/г рад	Среднее значение
Контрольная группа 1	0,908± 0,03	0,703 ±0,02	0,507 ±0,02	0,356 ±0,03	0,280 ±0,02	0,225 ±0,01	0,496 ±0,2
Кортикальная катаракта (подгруппа 1А)	0,667 ± 0,2	0,340 ± 0,03	0,210 ± 0,1	0,152 ± 0,03	0,112 ± 0,08	0,10 ± 0,2	0,263 ±0,2 p<0,05
Ядерная катаракта (подгруппа 1Б)	0,448 ± 0,01	0,135 ± 0,03	0,093 ± 0,05	0,089 ± 0,04	0,049 ± 0,1	0,037 ± 0,3	0,142 ±0,1 p<0,05
Задняя субкапсулярная катаракта (подгруппа 1В)	0,116 ± 0,02	0,05 ± 0,05	0,033 ± 0,03	0,018 ± 0,02	0,011 ± 0,02	0,01 ± 0,03	0,039 ±0,04 p<0,05

Функция передачи модуляции позволяет анализировать, как зрительная система человека реагирует на различные визуальные стимулы, например, на изменения яркости, контрастности и частоты пространственных структур. В связи с тем, что пациенты с задней субкапсулярной катарактой демонстрируют наиболее низкие показатели функции передачи модуляции, они часто становятся кандидатами на хирургическое вмешательство раньше, чем пациенты с другими типами катаракты.

### **Функция светорассеивания. Коэффициент Штреля**

Зрительный коэффициент Штреля также был исследован во всех группах при диаметре зрачка от 1 до 5 мм (Рисунок 20). Коэффициент Штреля варьирует от 0 до 1, где 1 – лучший визуальный результат, 0 – наихудший.

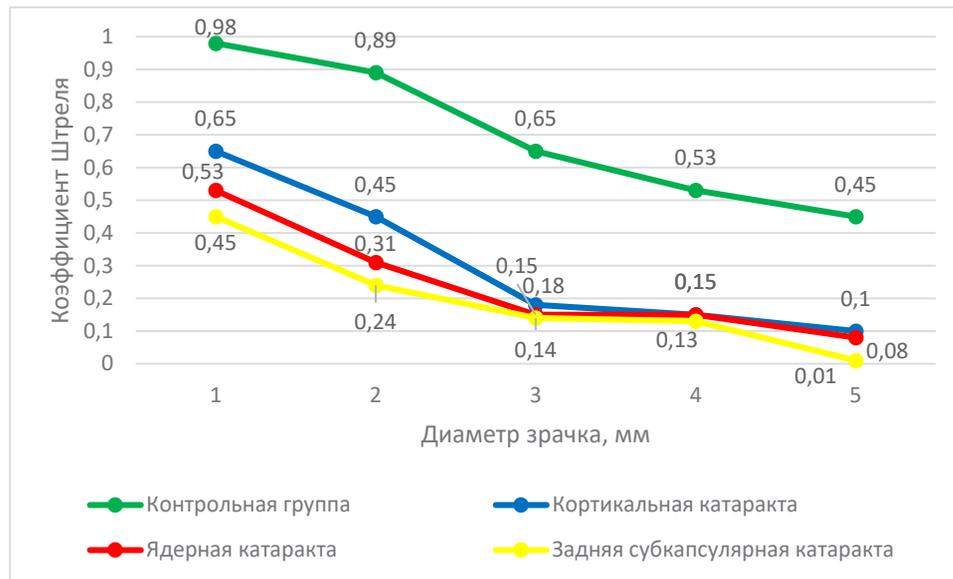


Рисунок 20 – Коэффициент Штреля в исследуемых группах

Среднее значение коэффициента Штреля в подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой составило  $0,306 \pm 0,23$  (1мм – 0,65, 2 мм – 0,45, 3 мм – 0,18, 4 мм – 0,15, 5 мм – 0,1), в подгруппе пациентов 1Б с ядерной катарактой –  $0,238 \pm 0,16$  (1 мм – 0,5, 2 мм – 0,31, 3 мм – 0,15, 4 мм – 0,15, 5 мм – 0,08), в подгруппе пациентов 1В с задней субкапсулярной катарактой –  $0,19 \pm 0,15$  (1 мм – 0,43, 2 мм – 0,24, 3 мм – 0,14, 4 мм – 0,13, 5 мм – 0,01). В контрольной группе 1 коэффициент Штреля в среднем составил  $0,7 \pm 0,22$  (1 мм – 0,98, 2 мм – 0,89, 3 мм – 0,65, 4 мм – 0,53, 5 мм – 0,45). Низкие показатели были выявлены во всех подгруппах исследуемых пациентов с катарактой по сравнению с контрольной группой 1 ( $p < 0,05$ ). Кроме того, показатели уменьшаются при увеличении диаметра зрачка, что свидетельствует о ухудшении качества зрения в мезопических условиях (Таблица 7).

Таблица 7 – Значение коэффициента Штреля в исследуемых группах

Группы исследования	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	Среднее значение
Контрольная группа 1	0,98 ±0,06	0,89 ±0,05	0,65 ±0,04	0,53 ±0,07	0,45 ±0,02	0,7 ±0,04
Кортикальная катаракта (подгруппа 1А)	0,65 ± 0,05	0,45 ± 0,03	0,18 ± 0,09	0,15 ± 0,027	0,1 ± 0,07	0,306 ± 0,02 p<0,05
Ядерная катаракта (подгруппа 1Б)	0,5 ± 0,03	0,31 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,06	0,08 ± 0,03	0,238 ± 0,03 p<0,05
Задняя субкапсулярная катаракта (подгруппа 1В)	0,43 ± 0,05	0,24 ± 0,05	0,14 ± 0,04	0,13 ± 0,02	0,01 ± 0,03	0,19 ± 0,03 p<0,05

Коэффициент Штреля позволяет измерить, насколько эффективно зрительная система может различать различные уровни яркости и контрастности. Во всех случаях наблюдалось уменьшение коэффициента Штреля, что является объективным показателем ухудшения качества зрения у пациентов с катарактой (основная группа 1) в сравнении с контрольной группой 1. Из Таблицы 7 следует, что у пациентов с задней субкапсулярной катарактой при ширине зрачка 5 мм наблюдается значительное снижение показателя, что указывает на низкое качество зрения. В подобных случаях пациенты могут сталкиваться с трудностями при чтении, вождении и выполнении других зрительных задач. В связи с этим такие пациенты чаще становятся кандидатами на хирургическое вмешательство раньше, чем пациенты с другими типами катаракты.

### **3.3. Анкета для оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения**

Качество зрения – это субъективная величина, основанная на восприятии человеком своего зрения. Это восприятие многофакторное и состоит не только из визуальных, но и из психологических факторов.

Результаты объективных исследований не всегда коррелируют с тем, как пациент оценивает свое зрение. Два пациента могут иметь идентичные зрительные функции с точки зрения объективного и субъективного тестирования, но совершенно разное восприятие их качества зрения. Таким образом, восприятие пациентом качества своего зрения может быть важным показателем, для понимания которого требуется тщательно разработанная анкета.

Был разработан оригинальный способ определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения на основе объективной и субъективной оценки, включающий оценку нарушения качества зрения посредством определения внутренних аберрации высшего до операции и после операции (Патент РФ на изобретение № 2821655 от 18.10.2023 г., авторы: Титаренко Е.М., Иванов Д.И.). Определяют внутренние аберрации высшего порядка: кома, сферическая аберрация, трефоил. Оценку проводят в баллах: аберрации кома, сферическая аберрация, трефоил при значении  $>0,5$  мкм – 5 баллов,  $0,5-0,4$  мкм – 4 балла,  $0,4-0,3$  мкм – 3 балла,  $0,3-0,2$  мкм – 2 балла,  $0,2-0,1$  мкм – 1 балл,  $<0,1$  мкм – 0 баллов.

Дополнительно используется оригинальная опросная анкета «Оценка качества зрения пациентов», представленная на Рисунке 21 (патент РФ на промышленный образец № 139439 от 31.05.2023г., авторы: Титаренко Е.М., Иванов Д.И.): Бланк анкеты для оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения. Опросник содержит 6 изображений, оригинальное изображение и изображения описывающие основные оптические феномены: лучистость, двоение, расплывчатость, ослепление, гало-эффект; при этом обследуемому пациенту предлагают по каждому вопросу ответить по 5-балльной системе (от 0 до 4).

Анкета для определения степени нарушения  
качества зрения у пациентов с начальной катарактой  
и высокой остротой зрения |

ФИО \_\_\_\_\_  
№ карты \_\_\_\_\_  
Возраст \_\_\_\_\_  
Диагноз \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

	Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда
1.	4	3	2	1	0
2.	4	3	2	1	0
3.	4	3	2	1	0
4.	4	3	2	1	0
5.	4	3	2	1	0

А



Оригинальное изображение



1. Двоение



2. Расплывчатость



3. Лучистость



4. Ослепление



5. Гало эффект

Б

А – лицевая сторона анкеты, предназначенная для заполнения данных о пациенте; оценка, выставленная пациентом по пятибалльной шкале

Б – изображение оптических феноменов на фотографиях

Рисунок 21 – Опросная анкета «Оценка качества зрения пациентов»

При величине интегрального балла 0-10 определяют легкую степень нарушения качества зрения до операции и улучшения качества зрения после операции, 10-15 – среднюю, выше 15 – высокую.

Далее приведены клинические примеры по определению показаний и хирургическому лечению пациентов с высокой остротой зрения на основе aberromетрии и анкетирования.

**Клинический пример № 1.** Пациентка С. 67 лет. Обратилась по поводу хирургического лечения катаракты с диагнозом заднекапсулярная катаракта на оба глаза. Острота зрения на OD = 0,95 н/кор., на OS = 1,0 (Рисунки 22, 23).

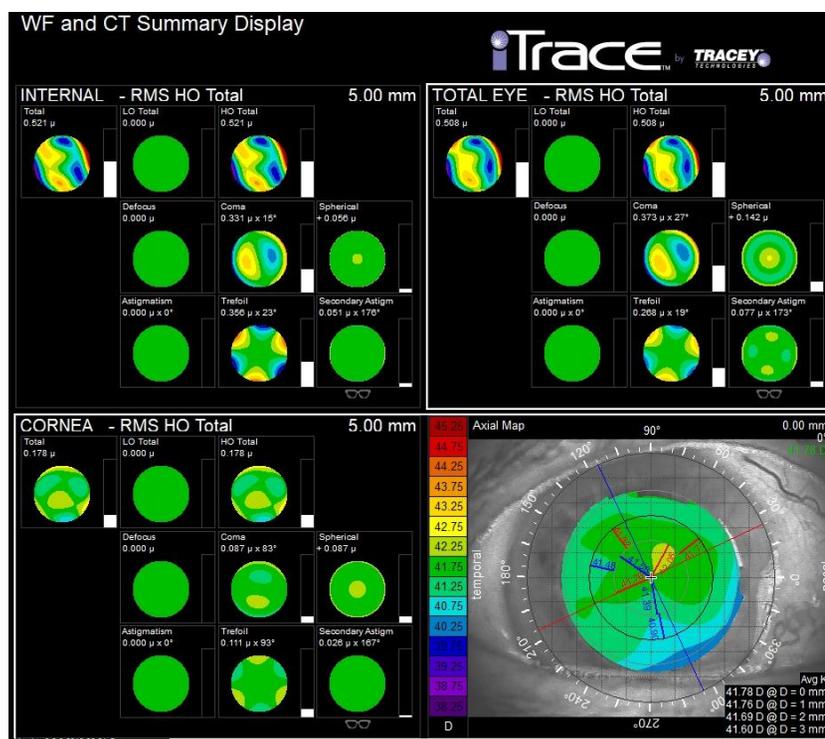


Рисунок 22 – Данные aberromетрии правого глаза пациентки С.

ФИО _____ Сг. <span style="background-color: blue; color: black;">[REDACTED]</span> _____ № карты _____ <span style="background-color: blue; color: black;">[REDACTED]</span> _____ Возраст _____ 67 лет _____ Диагноз _____ <u>Заднекапсулярная катаракта</u> _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; color: white;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Все время</th> <th>Часто</th> <th>Регулярно</th> <th>Редко</th> <th>Никогда</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td style="background-color: red;">4</td> <td style="background-color: orange;">3</td> <td style="background-color: yellow;">2</td> <td style="background-color: lightgreen;">1</td> <td style="background-color: green;">0</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td style="background-color: red;">4</td> <td style="background-color: orange;">3</td> <td style="background-color: yellow;">2</td> <td style="background-color: lightgreen;">1</td> <td style="background-color: green;">0</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td style="background-color: red;">4</td> <td style="background-color: orange;">3</td> <td style="background-color: yellow;">2</td> <td style="background-color: lightgreen;">1</td> <td style="background-color: green;">0</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td style="background-color: red;">4</td> <td style="background-color: orange;">3</td> <td style="background-color: yellow;">2</td> <td style="background-color: lightgreen;">1</td> <td style="background-color: green;">0</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td style="background-color: red;">4</td> <td style="background-color: orange;">3</td> <td style="background-color: yellow;">2</td> <td style="background-color: lightgreen;">1</td> <td style="background-color: green;">0</td> </tr> </tbody> </table>		Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда	1.	4	3	2	1	0	2.	4	3	2	1	0	3.	4	3	2	1	0	4.	4	3	2	1	0	5.	4	3	2	1	0
	Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда																																
1.	4	3	2	1	0																																
2.	4	3	2	1	0																																
3.	4	3	2	1	0																																
4.	4	3	2	1	0																																
5.	4	3	2	1	0																																

А
Б

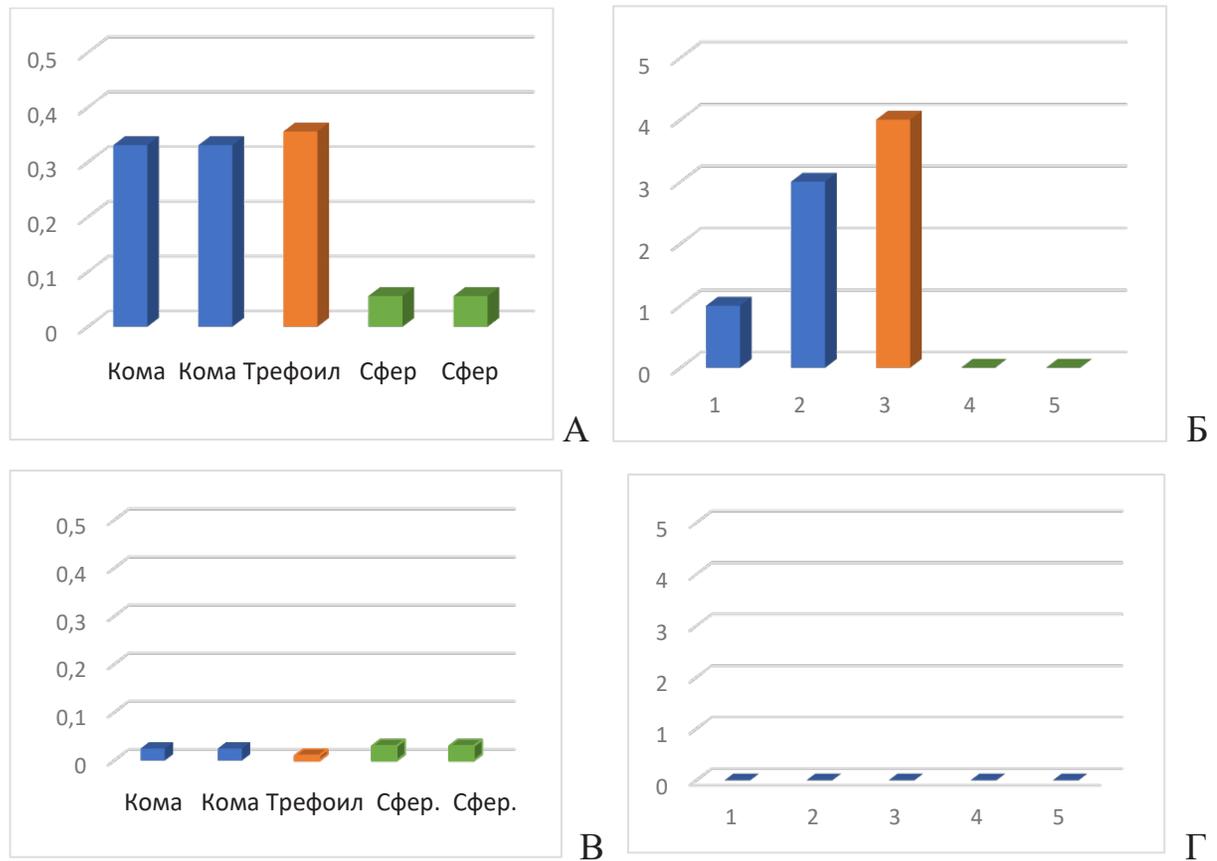
А – лицевая сторона анкеты, предназначенная для заполнения данных о пациенте

Б – оценка, выставленная пациентом по пятибалльной шкале

Рисунок 23 – Данные опросной анкеты пациентки С.

До операции и через 3 месяца после операции на правом глазу определяли внутренние aberrации высшего порядка и для оценки качества зрения использовали предложенную опросную анкету. Внутренняя aberrация высшего порядка кома составила 0,331 мкм до операции, 0,03 мкм – после операции, aberrация высшего порядка трефоил составила 0,356 мкм до операции, 0,01 мкм – после операции, значения сферической aberrации 0,04 мкм до и после операции.

По данным анализа внутренних aberrаций высшего порядка суммарный балл до операции – 11, после операции – 0. По данным опросной анкеты суммарный балл до операции – 8, после операции – 0 баллов. Так же обращает на себя внимание соответствие определенной внутренней aberrации высшего порядка определенному оптическому феномену опросной анкеты. Интегральный балл до операции – 19, что соответствует высокой степени нарушения качества зрения и 0 баллов после операции (Рисунок 24).



А – данные внутренних aberrаций высшего порядка до операции

Б – данные опросной анкеты до операции

В – данные внутренних aberrаций высшего порядка через 3 месяца после операции

Г – данные опросной анкеты после операции

Рисунок 24 – Данные внутренних aberrаций высшего порядка и опросной анкеты до и после операции пациентки С.

**Клинический пример № 2.** Пациентка Д. 58 лет. Обратилась по поводу хирургического лечения катаракты с диагнозом ядерная катаракта на оба глаза. Острота зрения на OD = 0,15 с кор sph -2,5 = 0,95, на OS = 0,25 с кор sph -3,0 = 1,0 (Рисунки 25, 26).

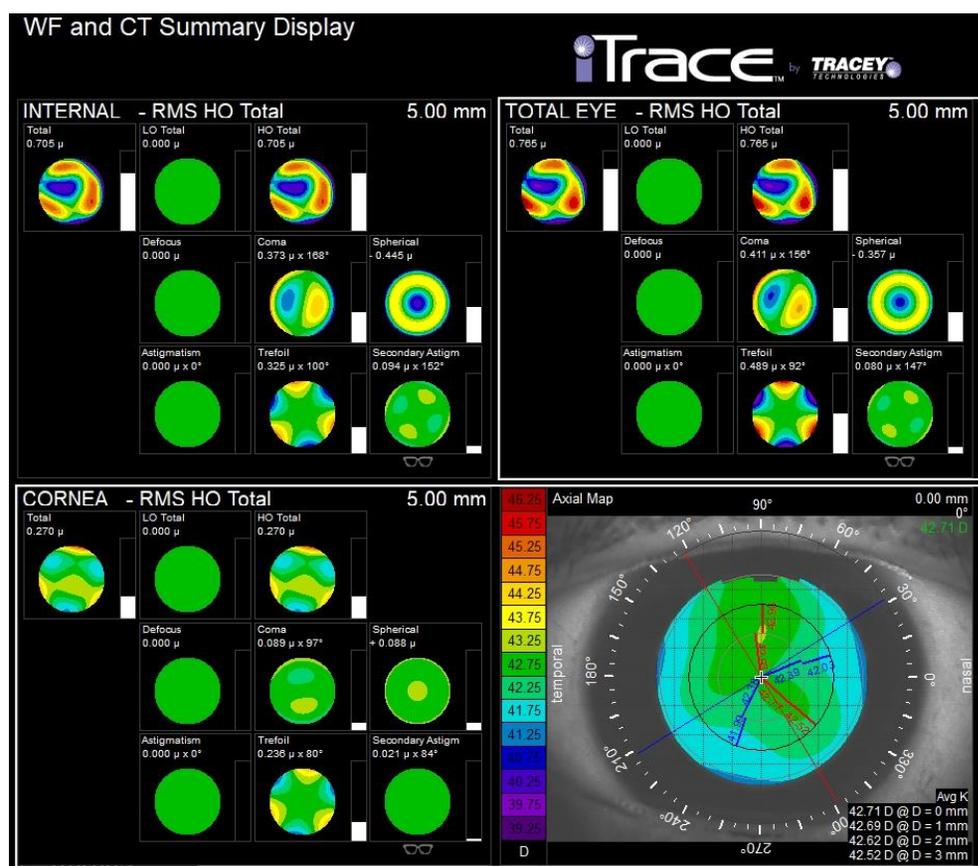


Рисунок 25 – Данные aberрометрии левого глаза пациентки Д.

ФИО Де [REDACTED]

№ карты [REDACTED]

Возраст 58 лет

Диагноз Ядерная катаракта

А

	Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда
1.	4	3	2	1	0
2.	4	3	2	1	0
3.	4	3	2	1	0
4.	4	3	2	1	0
5.	4	3	2	1	0

Б

А – лицевая сторона анкеты, предназначенная для заполнения данных о пациенте

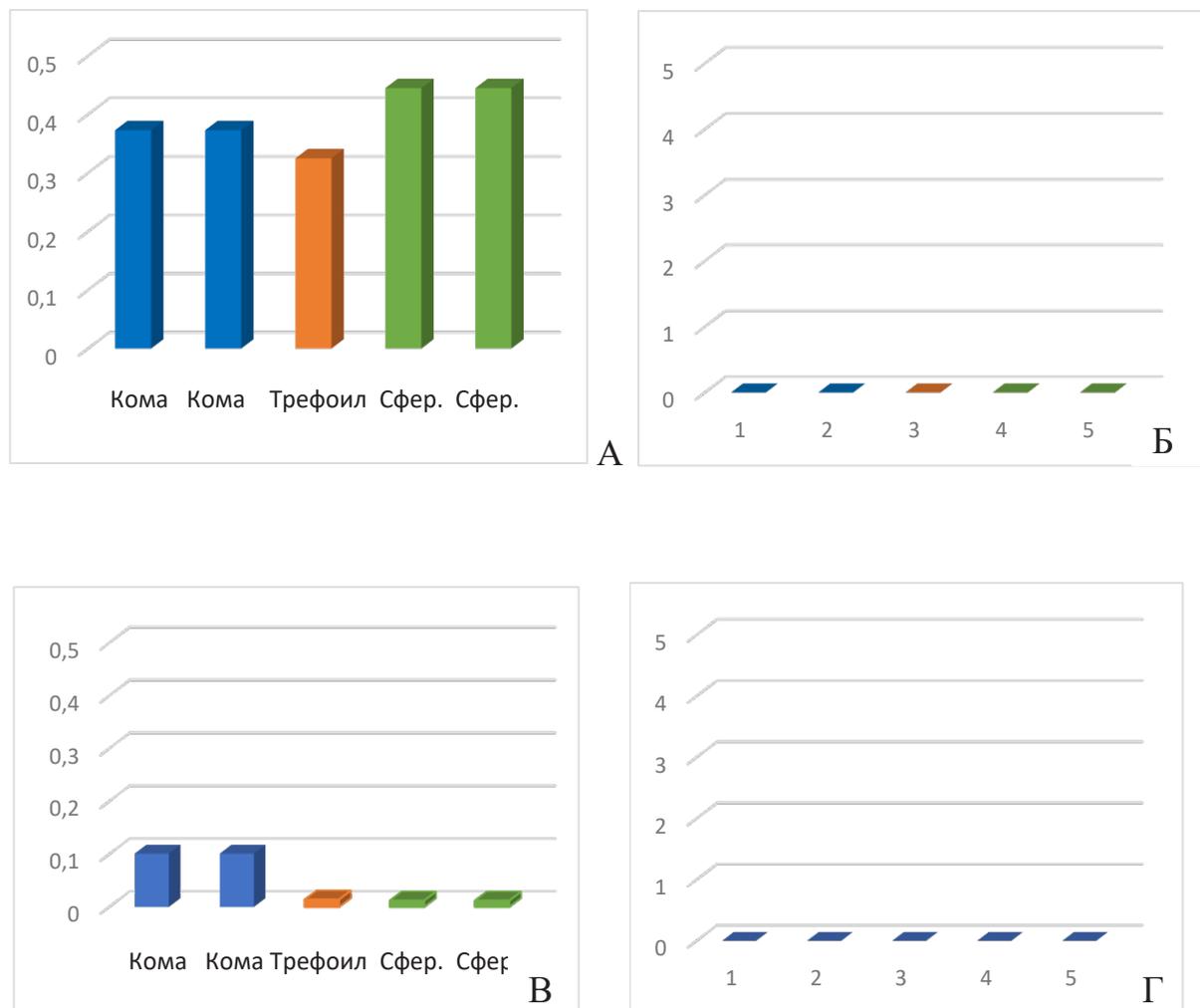
Б – оценка, выставленная пациентом по пятибалльной шкале

Рисунок 26 – Данные опросной анкеты пациентки Д. до операции

До операции и через 3 месяца после операции на левом глазу определяли внутренние aberrации высшего порядка и для оценки качества зрения использовали предложенную опросную анкету. Внутренняя aberrация

высшего порядка кома составила 0,373 мкм до операции, 0,08 мкм – после операции, абберрация высшего порядка трефоил составила 0,325 мкм до операции и после операции, сферической абберрации  $-|0,445|$  мкм до и 0,02 мкм – после операции.

По данным анализа внутренних абберраций высшего порядка до операции суммарный балл – 10, после операции – 0. По данным опросной анкеты суммарный балл до операции – 10, после операции – 0 баллов. Так же обращает на себя внимание соответствие определенной внутренней абберрации высшего порядка определенному оптическому феномену опросной анкеты. Интегральный балл до операции – 20, что соответствует высокой степени нарушения качества зрения и 0 баллов после операции.



А – данные внутренних абберраций высшего порядка до операции

Б – данные опросной анкеты до операции

В – данные внутренних aberrаций высшего порядка через 3 месяца после операции

Г – данные опросной анкеты после операции

Рисунок 27 – Данные внутренних aberrаций высшего порядка и опросной анкеты до и после операции пациентки Д.

**Клинический пример № 3.** Пациент М. 69 лет. Обратилась по поводу хирургического лечения катаракты с диагнозом кортикальная катаракта на оба глаза. Острота зрения на OD=0,9 н/кор., на OS=0,8 с кор sph +1,0 =1,0 (Рисунки 28, 29).

До операции на левом глазу определяли aberrации высшего порядка и для оценки качества зрения использовали предложенную опросную анкету. Внутренняя aberrация высшего порядка кома составила 0,155 мкм, aberrация высшего порядка трефоил – 0,124 мкм, сферическая aberrация – 0,094 мкм.

По данным внутренних aberrаций высшего порядка суммарный балл до операции – 4. По данным анализа опросной анкеты суммарный балл до операции – 3 балла. Интегральный балл до операции – 7, что соответствует легкой степени нарушения качества зрения.

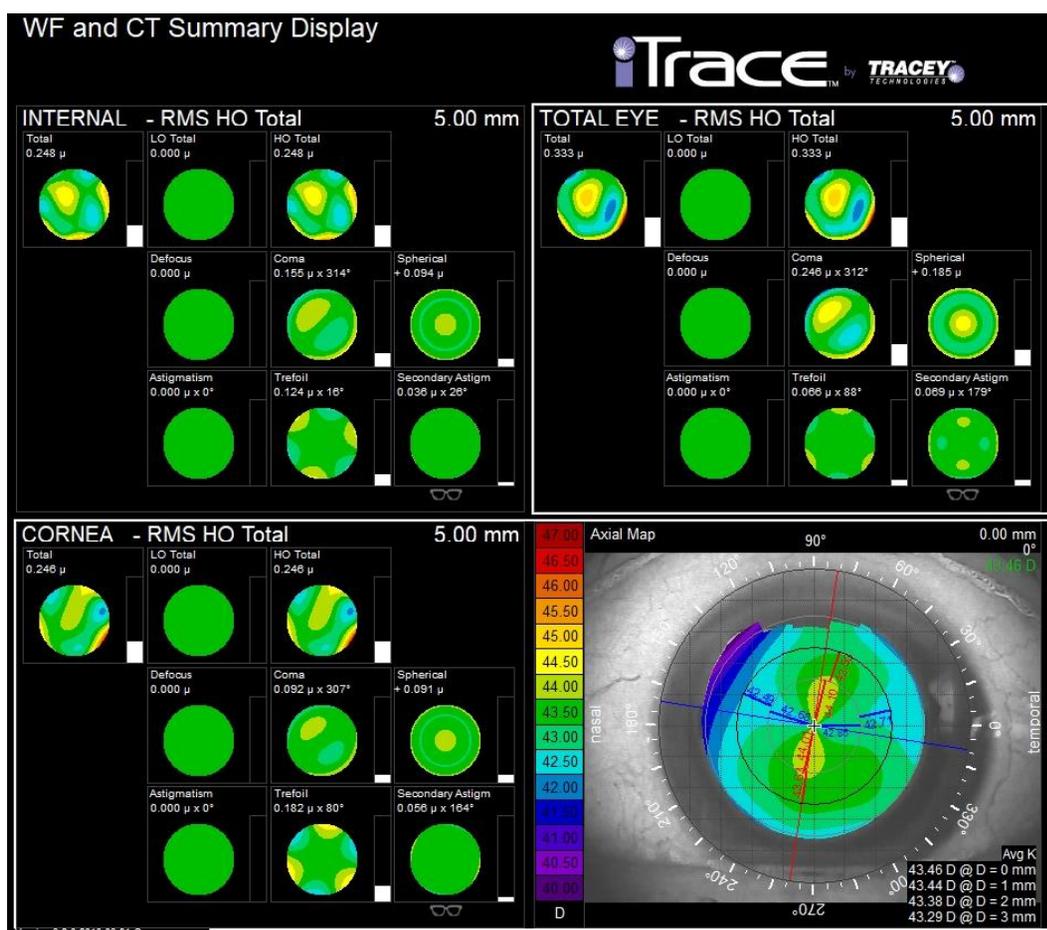


Рисунок 28 – Данные aberрометрии левого глаза пациента М. 69 лет

ФИО М. [redacted]

№ карты [redacted]

Возраст 69 лет

Диагноз Кортикальная катаракта

	Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда
1.	4	3	2	1	0
2.	4	3	2	1	0
3.	4	3	2	1	0
4.	4	3	2	1	0
5.	4	3	2	1	0

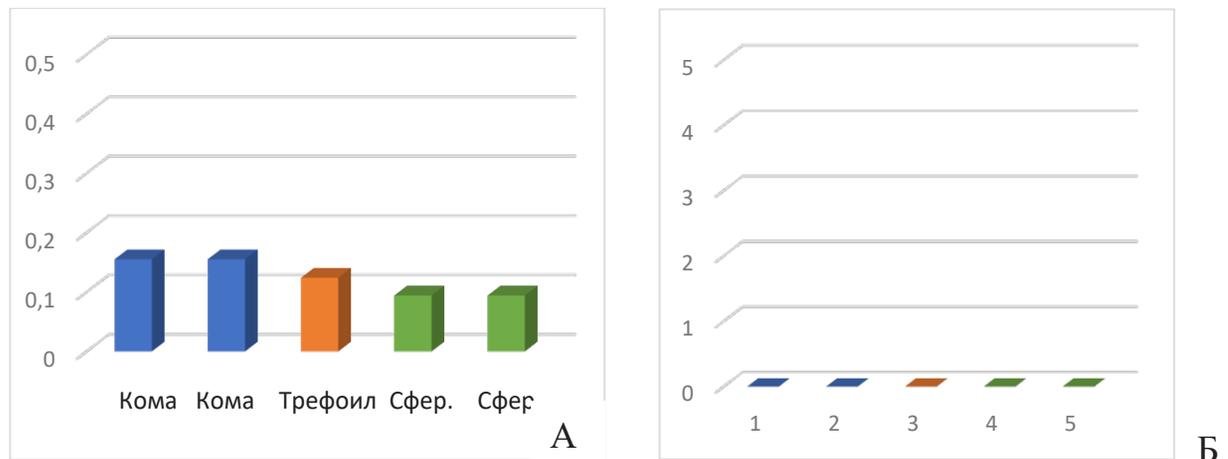
А Б

А – лицевая сторона анкеты, предназначенная для заполнения данных о пациенте

Б – оценка, выставленная пациентом по пятибалльной шкале

Рисунок 29 – Данные опросной анкеты пациента М.

На основании данных обследования и анкетирования пациенту предложено динамическое наблюдение катаракты.



А – Данные aberrаций высшего порядка до операции

Б – Данные опросной анкеты до операции

Рисунок 30 – Данные внутренних aberrаций высшего порядка и опросной анкеты до операции пациента М.

Пациент М. обратился повторно через 1 год. Острота зрения на OD = 0,5 с кор суl +1,5 = 0,8, на OS = 0,7 н/к.

До операции на левом глазу определяли aberrации высшего порядка и для оценки качества зрения использовали предложенную опросную анкету. Внутренняя aberrация высшего порядка кома составила 0,606 мкм, aberrация высшего порядка трефоил – 0,155 мкм, сферическая aberrация – 0,059 мкм.

По данным анализа внутренних aberrаций высшего порядка суммарный балл до операции – 6. По данным опросной анкеты суммарный балл до операции – 9 баллов. Интегральный балл – 15 баллов, что соответствует средней степени нарушения качества зрения (Рисунки 31-33).

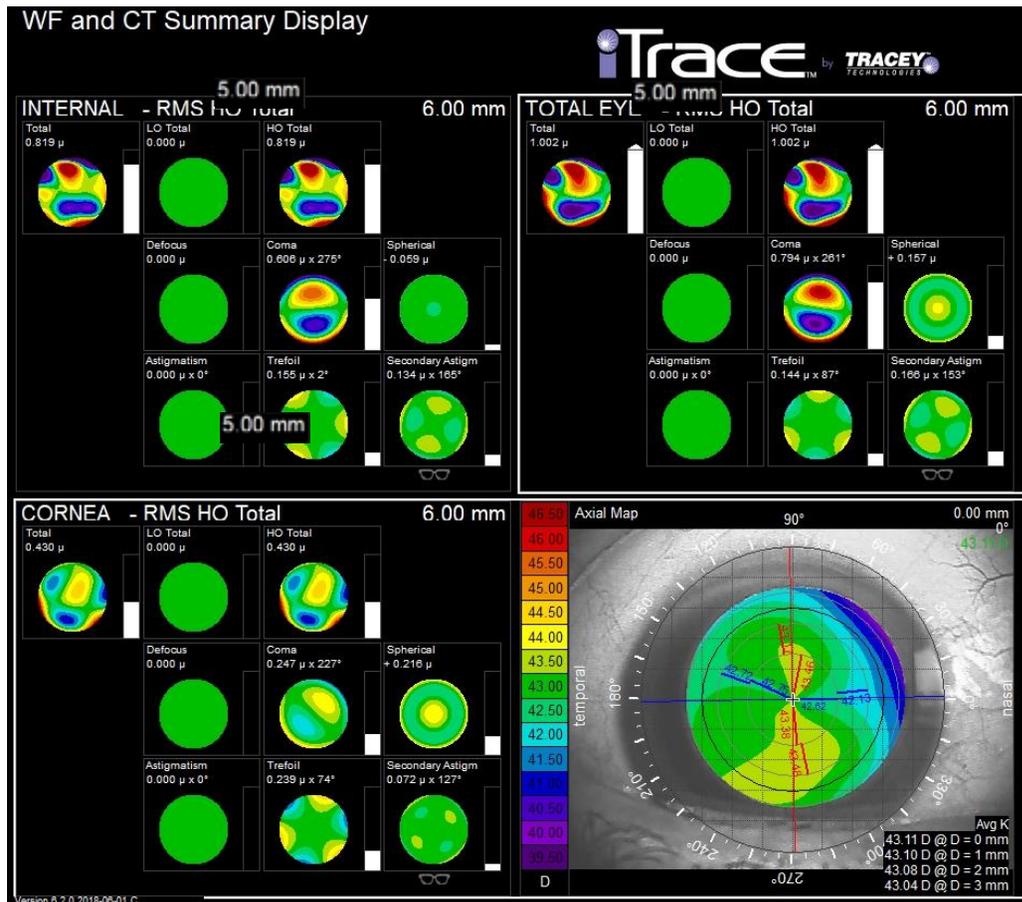


Рисунок 31 – Данные aberрометрии левого глаза пациента М. при повторном обращении

Ф.И.О. М. [redacted]

№ карты [redacted]

Возраст 69 лет

Диагноз Кортикальная катаракта

А

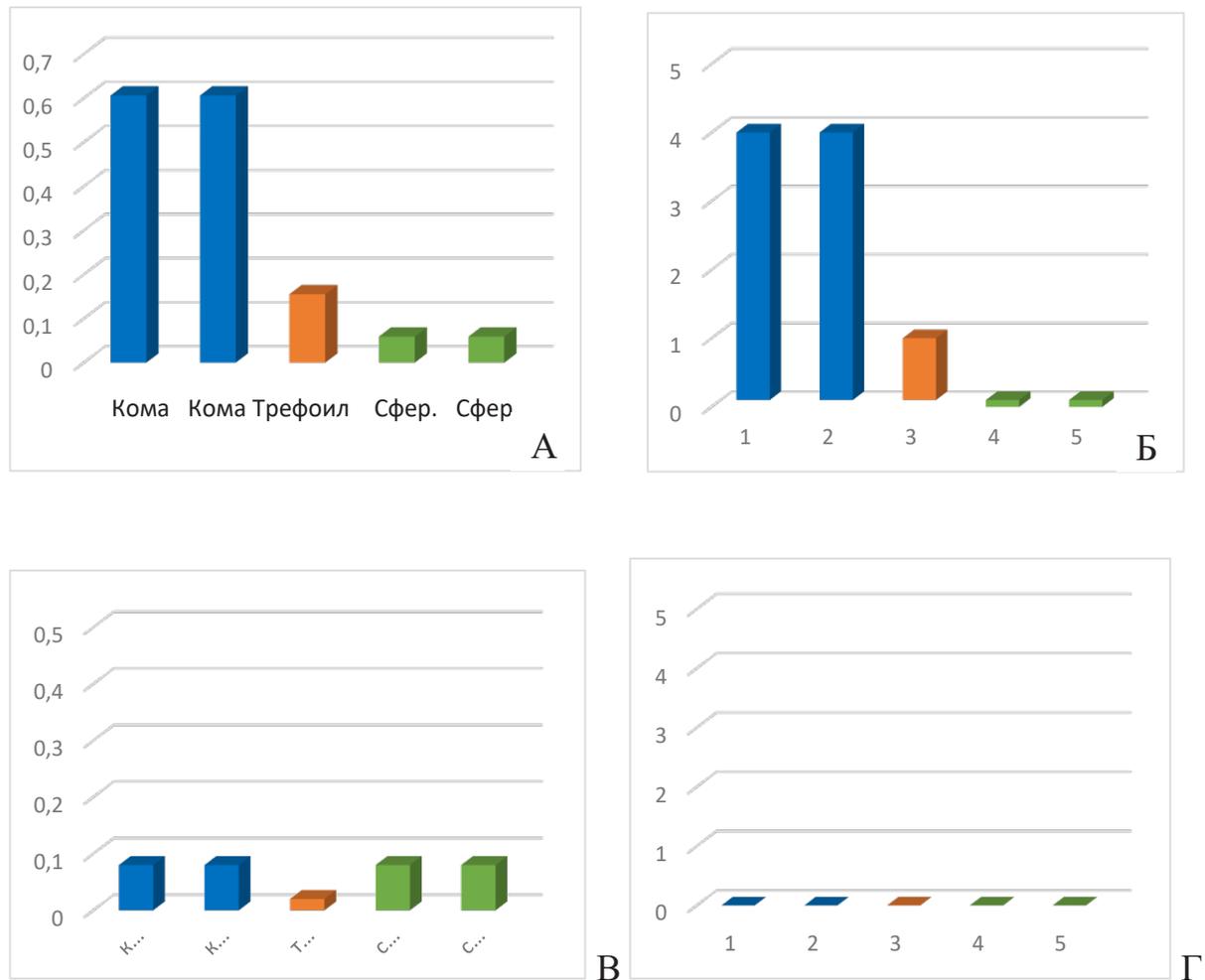
	Все время	Часто	Регулярно	Редко	Никогда
1.	4	3	2	1	0
2.	4	3	2	1	0
3.	4	3	2	1	0
4.	4	3	2	1	0
5.	4	3	2	1	0

Б

А – лицевая сторона анкеты, предназначенная для заполнения данных о пациенте

Б – оценка, выставленная пациентом по пятибалльной шкале

Рисунок 32 – Данные опросной анкеты пациента М. при повторном обращении



А – данные aberrаций высшего порядка до операции

Б – данные опросной анкеты до операции

В – данные aberrаций высшего порядка после операции

Г – данные опросной анкеты после операции

Рисунок 33 – Данные внутренних aberrаций высшего порядка и опросной анкеты пациента М. при повторном обращении до и после операции

На основании полученных данных рекомендовано хирургическое лечение катаракты. После операции через 3 месяца внутренняя aberrация высшего порядка кома составила 0,08 мкм, aberrация высшего порядка трефоил составила 0,02 мкм, сферической aberrации 0,08 мкм. По данным опросной анкеты суммарный балл после операции – 0 баллов. Интегральный балл – 0 баллов.

Таким образом, представленные клинические случаи иллюстрируют качество зрения пациентов как до, так и после фактоэмульсификации катаракты с имплантацией интраокулярной линзы по поводу начальной катаракты.

### **Резюме**

Сравнительный клинико-функциональный анализ данных выявил тесную связь величины ПЗО с общими, внутренними абберрациями высшего порядка (оба  $p < 0,001$ ). Оба компонента увеличивались с увеличением осевой длины ( $R^2=0,5744$  и  $R^2=0,6449$  соответственно). Роговичные абберрации высшего порядка не зависели от величины ПЗО ( $p = 0,157$ ,  $R^2 = 0,0013$ ). Следовательно, по мере увеличения степени миопии и аксиальной длины глаза достоверно увеличиваются общие и внутренние абберрации высшего порядка.

Присутствовала связь между увеличением плотности кортикальной катаракты ( $p < 0,01$ ) и увеличением внутренней комы. Статистическая значимость задней субкапсулярной и ядерной катаракты в сочетании с увеличением внутренней комы почти достигла значимости ( $p=0,05$ ). Плотность ядерной катаракты статистически значимо коррелировала с увеличением сферической абберрации ( $p < 0,01$ ). Кортикальная катаракта также демонстрировала тенденцию к увеличению сферической абберрации, однако уровень значимости этой связи был ниже ( $p < 0,1$ ). Сильная положительная ассоциация присутствовала для задней субкапсулярной катаракты и внутреннего трефоила ( $p < 0,01$ ). Некоторая положительная связь была выявлена при ядерной катаракте и увеличении внутренней абберрации трефоил ( $p = 0,05$ ).

При оценке функции передачи модуляции подгруппа пациентов с заднекапсулярной катарактой имела более низкие показатели ( $p < 0,05$ ), чем в подгруппах кортикальной, ядерной катаракты и контрольной группе 1 от 5 до 30 цикл/градусов. Статистически значимых различий между подгруппами кортикальной и ядерной катаракты на всех пространственных частотах обнаружено не было ( $p > 0,05$ ). Низкие показатели коэффициента Штреля выявлены во всех подгруппах исследуемых пациентов с катарактой, в

сравнении с контрольной группой 1 ( $p < 0,05$ ). Пациенты с задней субкапсулярной катарактой обладают наиболее низкими показателями функции передачи модуляции и коэффициента Штреля, поэтому они в первую очередь становятся кандидатами на хирургическое вмешательство.

Таким образом, можно ожидать, что внутренние aberrации будут уменьшаться, а функция передачи модуляции и коэффициент Штреля увеличиваться после экстракции задней субкапсулярной, ядерной или кортикальной катаракты.

## **ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ИНДИВИДУАЛИРОВАННОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАНИЙ К ХИРУРГИИ НАЧАЛЬНОЙ КАТАРАКТЫ С ВЫСОКОЙ ОСТРОТОЙ ЗРЕНИЯ**

Цель данной главы – разработка индивидуализированного алгоритма отбора пациентов для хирургического лечения по поводу катаракты с высокой остротой зрения, а также оценка клинико-функциональных результатов исследования пациентов после операции.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

1) проанализированы результаты корреляционного анализа между абберрациями высшего порядка и субъективным качеством зрения у пациентов с катарактой, имеющих высокую остроту зрения;

2) на основе анализа абберраций высшего порядка и результатов анкетирования проведена оценка качества зрения пациентов с катарактой и высокой остротой зрения, определены показания для хирургического лечения и разработан алгоритм их ведения;

3) проведен анализ послеоперационных результатов.

### **4.1. Корреляционный анализ влияния абберраций высшего порядка на субъективное качество зрения пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения**

Для выявления влияния объективных признаков (внутренних абберраций высшего порядка на субъективное качество зрения пациентов с различными видами начального помутнения хрусталика и высокой остротой зрения проведен корреляционный анализ с расчетом коэффициента Спирмена. В результате определена корреляционная зависимость между значениями внутренних абберраций высшего порядка (кома, трфоил, сферическая абберрация) и данными разработанной опросной анкеты. Для этого рассчитан коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ ) для каждого типа катаракты и выявлена связь между исследуемыми признаками.

В подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой выявлена прямая связь между внутренней абберацией кома и первым и вторым изображениями в опросной анкете (двоение, расплывчатость), теснота (сила) связи заметная (0,673 и 0,515 соответственно, зависимость признаков статистически значима  $p < 0,05$ ). То есть, чем выше показатель внутренней абберации кома, тем более выражены жалобы пациента на двоение и расплывчатость изображения. Так же выявлена прямая связь между внутренней сферической абберацией и четвертым изображением в опросной анкете (ослепление), теснота связи умеренная (0,312, зависимость признаков статистически не значима  $p > 0,05$ ). Это позволяет предположить, что у некоторых пациентов с кортикальной катарактой, может отмечаться повышенная чувствительность к ослеплению от ярких источников света (Таблица 8).

Таблица 8 – Кортикальная катаракта. Коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ )

Абберации высшего порядка	1 – двоение	2 – расплывчатость	3 – лучистость	4 – ослепление	5 – гало-эффекты
Кома	0,673 $p < 0,05$	0,515 $p < 0,05$	0,162 $p > 0,05$	0,259 $p > 0,05$	0,170 $p > 0,05$
Трефоил	0,115 $p > 0,05$	0,119 $p > 0,05$	0,105 $p > 0,05$	0,205 $p > 0,05$	0,118 $p > 0,05$
Сферическая абберация	0,128 $p > 0,05$	0,103 $p > 0,05$	0,222 $p > 0,05$	0,312 $p > 0,05$	0,241 $p > 0,05$

В подгруппе пациентов 1Б с ядерной катарактой выявлена прямая связь между внутренней сферической абберацией и четвертым и пятым изображениями (ослепление и гало-эффекты) в опросной анкете, теснота (сила) связи заметная (0,715 и 0,682 соответственно, зависимость признаков статистически значима  $p < 0,05$ ). Таким образом, при увеличении внутренней сферической абберации, пациенты жалуются на ослепление и гало-эффекты, особенно в условиях низкой освещенности. Так же выявлена прямая связь

между внутренней аберрацией кома и первым и вторым изображениями (двоение и расплывчатость) в опросной анкете, теснота связи умеренная (для первого изображения коэффициент корреляции Спирмена 0,415, зависимость признаков статистически не значима  $p > 0,05$ , для второго изображения – 0,459, зависимость признаков статистически значима  $p < 0,05$ ). Эти данные говорят о том, что ряд пациентов могут жаловаться на двоение изображения и иногда на расплывчатость (Таблица 9).

Таблица 9 – Ядерная катаракта. Коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ )

Аберрации высшего порядка	1 – двоение	2 – расплывчатость	3 – лучистость	4 – ослепление	5 – гало-эффекты
Кома	0,415 $p > 0,05$	0,459 $p < 0,05$	0,105 $p > 0,05$	0,118 $p > 0,05$	0,107 $p > 0,05$
Трефоил	0,114 $p > 0,05$	0,101 $p > 0,05$	0,270 $p > 0,05$	0,105 $p > 0,05$	0,212 $p > 0,05$
Сферическая аберрация	0,101 $p > 0,05$	0,200 $p > 0,05$	0,202 $p > 0,05$	0,715 $p < 0,05$	0,682 $p < 0,05$

В подгруппе пациентов 1В с задней субкапсулярной катарактой выявлена прямая связь между внутренней аберрацией трефоил и третьим изображением (лучистость) в опросной анкете, теснота (сила) связи заметная (0,717, зависимость признаков статистически значима  $p < 0,05$ ). Пациенты с высоким показателем внутренней аберрации трефоил жалуются на лучистость изображения. И выявлена прямая связь между внутренней аберрацией кома и вторым изображением (расплывчатость) в опросной анкете, теснота связи умеренная (0,421, зависимость признаков статистически не значима  $p > 0,05$ ). Полученные данные говорят о том, что ряд пациентов могут жаловаться на расплывчатость изображения (Таблица 10).

Таблица 10 – Задняя субкапсулярная катаракта. Коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ )

Аберрации высшего порядка	1 – двоение	2 – расплывчатость	3 – лучистость	4 – ослепление	5 – гало-эффекты
Кома	0,318 $p>0,05$	0,421 $p>0,05$	0,137 $p>0,05$	0,148 $p>0,05$	0,152 $p>0,05$
Трефоил	0,102 $p>0,05$	0,121 $p>0,05$	0,717 $p<0,05$	0,119 $p>0,05$	0,118 $p>0,05$
Сферическая аберрация	0,205 $p>0,05$	0,185 $p>0,05$	0,107 $p>0,05$	0,117 $p>0,05$	0,135 $p>0,05$

С помощью оригинальной разработанной анкеты «Способ определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения» по величине интегрального балла определяли степень нарушения качества зрения до операции.

Из 141 обследованного пациента легкая степень нарушения качества зрения преобладала в подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой – 85%, средняя степень нарушения качества зрения преобладала в подгруппах с ядерной катарактой 1Б – 47% и задней субкапсулярной катарактой 1 В – 42%, высокая степень доминирует в подгруппе 1В с задней субкапсулярной катарактой – 73% (Рисунок 34).

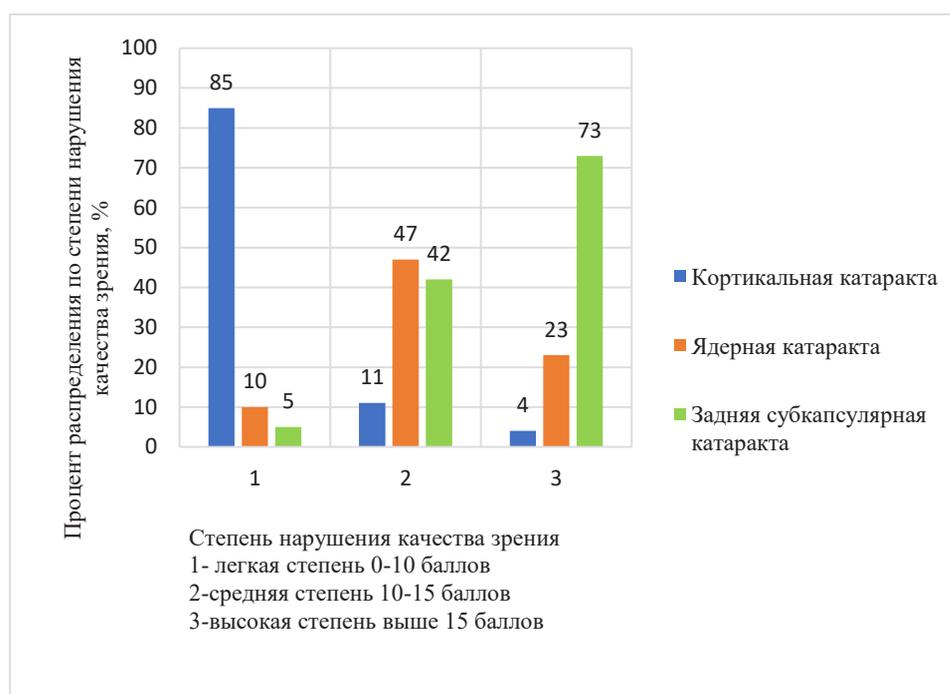


Рисунок 34 – Распределение по степени нарушения качества зрения у пациентов с различными видами катаракт

При величине интегрального балла выше 15 констатировалась высокая степень нарушения качества зрения и всем пациентам была предложена хирургия катаракты. При средней степени нарушения качества зрения хирургия катаракты предложена в 63% случаев и при низкой степени – в 30% случаев.

#### 4.2. Алгоритм ведения пациента в зависимости от вида и уровня оптических аберраций

Ведение пациента с оптическими аберрациями требует системного подхода, который включает несколько этапов. Ниже представлен разработанный алгоритм действий, который можно адаптировать в зависимости от вида и уровня оптических аберраций.

##### 1. Обследование:

- сбор анамнеза и жалоб: установить, когда возникли симптомы, их характер и степень выраженности;

- офтальмологическое обследование: включает проверку остроты зрения, биомикроскопию для определения наличия и типа катаракты, офтальмоскопию, тонометрию, периметрию.

2. Анкетирование. Если суммарный балл по итогам анкетирования более 5, выполнить аберрометрию.

3. Аберрометрия:

- оценка аберраций низшего порядка: возможна ли коррекция с помощью очков или контактных линз;

- оценка аберраций высшего порядка: выявить преобладание аберраций высшего порядка изолированно в роговице, во внутренней оптике и общий уровень. Если преобладают внутренние аберрации перейти на следующий этап;

- высокий уровень внутренних аберраций: оценка вида и уровня аберрационной моды. Определить, какие моды аберрации наиболее выражены и в каких условиях они проявляются;

- сравнить полученные данные с эталонными значениями прибора. Оценить, насколько сильно аберрации влияют на качество изображения. При значении любой внутренней аберрации (кома, сферическая аберрация, трефоил) более 0,3 мкм при диаметре зрачка более 5 мм перейти к разработанной опросной анкете.

4. Оценка степени нарушения качества зрения по данным аберрометрии и опросной анкеты по интегральному баллу:

- от 0-10 баллов – легкая степень нарушения качества зрения. Рекомендована оптическая коррекция и динамическое наблюдение;

- от 10-15 баллов – средняя степень. Заметные проблемы с качеством зрения, рекомендовано рассмотреть вариант хирургического лечения;

- выше 15 баллов – высокая степень. Значительное ухудшение зрения, требующее хирургического вмешательства.

5. Выбор метода коррекции:

- оптическая коррекция: очки или контактные линзы, соответствующие типу аберраций;

- хирургическое вмешательство: факоемульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы.

#### 6. Мониторинг и контроль:

- регулярные осмотры: для оценки эффективности выбранного метода коррекции;

- корректировка лечения: при необходимости изменение метода коррекции в зависимости от динамики состояния пациента.

#### 7. Образовательные мероприятия:

- обучение пациента: информирование о природе аберраций, методах их коррекции и важности соблюдения рекомендаций врача.

Каждый случай индивидуален, и алгоритм может быть адаптирован в зависимости от конкретных обстоятельств и состояния пациента. Важно также учитывать сопутствующие заболевания и общий статус здоровья пациента.

### **4.3. Изменение аберраций высшего порядка, возникающие после факоемульсификации катаракты и имплантации интраокулярной линзы**

Из основной группы 1 (141 пациент, 243 глаза) была сформирована основная группа 2, в которую вошли 75 пациентов (120 глаз). По результатам абберрометрии и анкетирования они были направлены на факоемульсификацию катаракты с имплантацией сферической ИОЛ.

Пациенты в основной группе 2 также были разделены на три подгруппы по типу катаракты: 2А – пациенты с кортикальной катарактой; 2Б – с ядерной катарактой; 2В – с субкапсулярной катарактой.

#### 4.3.1. Клинико-функциональные результаты обследования пациентов до и после факоэмульсификации катаракты

Основная цель данного этапа исследования – определить изменения между дооперационными и послеоперационными клинико-функциональными показателями: кривизна роговицы, плотность эндотелиальных клеток роговицы, сферический эквивалент; острота зрения, функция передачи модуляции и коэффициент Штреля; и соответствующие изменения величины каждой аберрационной моды, полученной с помощью аберрометра.

Средний возраст в основной группе 2 варьировал от 43 до 75 лет (в среднем  $56,5 \pm 6,5$ ), 32 мужчины (42,6%), 43 женщины (57,4%). Возраст в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой варьировал от 49 до 70 лет (в среднем  $59,5 \pm 7,15$ ), в подгруппе 2Б с ядерной катарактой – от 52 до 75 лет (в среднем  $63,5 \pm 9,52$ ), в подгруппе 2В с задней субкапсулярной катарактой – от 43 до 56 лет (в среднем  $48,7 \pm 5,41$ ).

НКОЗ в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой колебалась от 0,1 до 0,9 (в среднем  $0,45 \pm 0,15$ ), МКОЗ – от 0,7 до 0,95 (в среднем  $0,75 \pm 0,05$ ). В подгруппе пациентов 2Б с ядерной катарактой НКОЗ колебалась от 0,05 до 1,0 (в среднем  $0,25 \pm 0,25$ ), МКОЗ – от 0,75 до 1,0 (в среднем  $0,8 \pm 0,06$ ). В подгруппе пациентов 2В с задней субкапсулярной катарактой НКОЗ колебалась от 0,15 до 0,8 (в среднем  $0,4 \pm 0,35$ ), МКОЗ – от 0,75 до 1,0 (в среднем  $0,75 \pm 0,09$ ).

Среднее значение длины передне-задней оси глазного яблока в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой –  $23,8 \pm 0,75$  мм, в подгруппе 2Б с ядерной катарактой –  $23,5 \pm 1,2$  мм, в подгруппе 2В с задней субкапсулярной катарактой –  $23,2 \pm 0,65$  мм.

Среднее значение кератометрии в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой –  $43,75 \pm 1,1$  дптр, в подгруппе 2Б с ядерной катарактой –  $43,62 \pm 0,8$ , в подгруппе 2В с задней субкапсулярной катарактой –  $42,9 \pm 0,95$  дптр. Сферический эквивалент рефракции в подгруппе пациентов

2А с кортикальной катарактой составил  $1,5 \pm 2,0$ , в подгруппе 2Б с ядерной катарактой –  $1,25 \pm 2,75$ , сдвиг в миопическую рефракцию, в подгруппе 2В с задней субкапсулярной катарактой –  $1,3 \pm 2,0$ . Плотность эндотелиальных клеток роговицы составила от 2201 до 2689 клеток/мм<sup>2</sup>, в среднем 2451 клеток/мм<sup>2</sup>.

Клинический статус в исследуемых группах достоверно не различался по всем характеристикам: возрасту и полу, кератометрии, длине оси глаза, остроте зрения, уровню внутриглазного давления ( $p > 0,05$ ) (Таблица 11).

Таблица 11 – Общая клиническая характеристика пациентов основной группы 2, которым запланирована факэмульсификация катаракты с имплантацией сферической ИОЛ (n= 75)

Характеристика	Основная группа 2, ФЭК+ИОЛ, n= 120		
	кортикальная, n= 21 подгруппа 2А	ядерная, n= 45 подгруппа 2Б	задняя субкапсулярная, n= 54 подгруппа 2В
Возраст (лет)	$59,5 \pm 7,15$	$63,5 \pm 9,52$	$48,7 \pm 5,41$
Острота зрения без коррекции (НКОЗ)	$0,45 \pm 0,15$	$0,25 \pm 0,25$	$0,4 \pm 0,35$
Острота зрения с коррекцией (МКОЗ)	$0,75 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,06$	$0,75 \pm 0,09$
ПЗО (мм)	$23,8 \pm 0,75$	$23,5 \pm 1,2$	$23,2 \pm 0,65$
Кератометрия (дптр)	$43,75 \pm 1,1$	$43,62 \pm 0,8$	$42,9 \pm 0,95$
Сферический эквивалент рефракции	$1,5 \pm 2,0$	$-1,25 \pm 3,5$	$1,3 \pm 2,0$
ВГД (P <sub>i</sub> , мм рт.ст.)	$12,1 \pm 2,0$	$13,9 \pm 1,5$	$14,5 \pm 0,9$
Эндотелиальная микроскопия (кл/ мм <sup>2</sup> )	$2325 \pm 47,5$	$2354 \pm 33,5$	$2575 \pm 25,9$

Изменение данных кератометрии от предоперационных до контрольного послеоперационного обследования в сроки от 3 до 6 месяцев

показаны в Таблице 12. Выявлено изменение кератометрии в сторону незначительного увеличения в подгруппах пациентов 2А с кортикальной и 2В задней субкапсулярной катарактой и уплощения роговицы в подгруппе 2Б с ядерной катарактой. Статистическая значимость разницы не выявлена ( $p>0,05$ ).

Таблица 12 – Изменение данных кератометрии (дптр) от предоперационных до контрольного послеоперационного обследования

Период исследования	Основная группа 2, ФЭК+ИОЛ, n= 120		
	кортикальная, n= 21 подгруппа 2А	ядерная, n= 45 подгруппа 2Б	задняя субкапсулярная, n= 54 подгруппа 2В
До операции	43,75 ± 1,1	43,62 ± 0,8	42,9 ± 0,95
После операции	44,25 ± 2,3	43,5 ± 1,5	44,25 ± 1,3
Разница	0,5 ± 0,1	-0,12 ± 0,08	1,35 ± 0,15

Изменение плотности эндотелиальных клеток роговицы (кл/ мм<sup>2</sup>) от предоперационного до контрольного обследования в сроки от 3 до 6 месяцев среди пациентов с различными типами катаракт исследовано с помощью эндотелиального микроскопа Specular Microscope EM-4000 (Tomey, Япония), Результаты показаны в Таблице 13. Изменение плотности эндотелиальных клеток в подгруппе 2А с кортикальной катарактой составило 180 кл/мм<sup>2</sup>, в подгруппе 2Б с ядерной катарактой – 176, в подгруппе 2В с задней субкапсулярной – 260 кл/мм<sup>2</sup>. Статистически значимой разницы не выявлено ( $p>0,05$ ).

Таблица 13 – Изменение плотности эндотелиальных клеток роговицы (кл/мм<sup>2</sup>) от предоперационного до контрольного обследования

Период исследования	Основная группа 2 ФЭК+ИОЛ, n= 120		
	кортикальная, n= 21 подгруппа 2А	ядерная, n= 45 подгруппа 2Б	задняя субкапсулярная, n= 54 подгруппа 2В
До операции	2325 ± 47,5	2354 ± 33,5	2575 ± 25,9
После операции	2145 ± 47,5	2178 ± 47,5	2315 ± 47,5
Разница	180 (p >0,05)	176 (p >0,05)	260 (p >0,05)

После хирургического лечения во всех группах сферический эквивалент рефракции у пациентов стал значительно ближе к эметропии (p <0,05).

Таблица 14 – Изменение сферического эквивалента рефракции от предоперационного до контрольного обследования

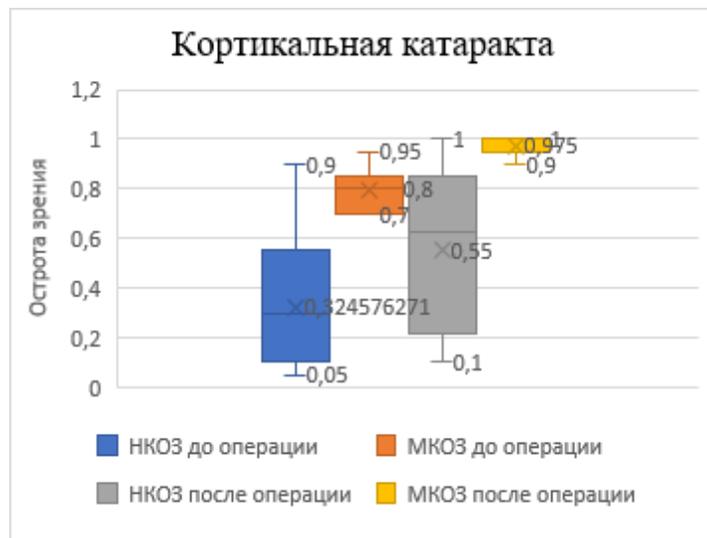
Период исследования	Основная группа 2 ФЭК+ИОЛ, n= 120		
	кортикальная, n= 21 подгруппа 2А	ядерная, n= 45 подгруппа 2Б	задняя субкапсулярная, n= 54 подгруппа 2В
До операции	1,5 ± 2,0	-1,75 ± 3,5	1,3 ± 2,0
После операции	0,75 ± 0,5	-0,5 ± 1,5	0,5 ± 0,5
Разница	0,75	1,25	0,8

Острота зрения, как и ожидалось, после операции по удалению катаракты улучшилась. До операции НКОЗ в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой составила от 0,05 до 0,9 (в среднем 0,32 ± 0,22), после операции – от 0,1 до 1,0 (в среднем 0,55 ± 0,35). МКОЗ до операции в подгруппе 2А составляла от 0,7 до 0,95 (в среднем 0,78 ± 0,07), после операции – от 0,9 до 1,0 (в среднем 0,975 ± 0,05).

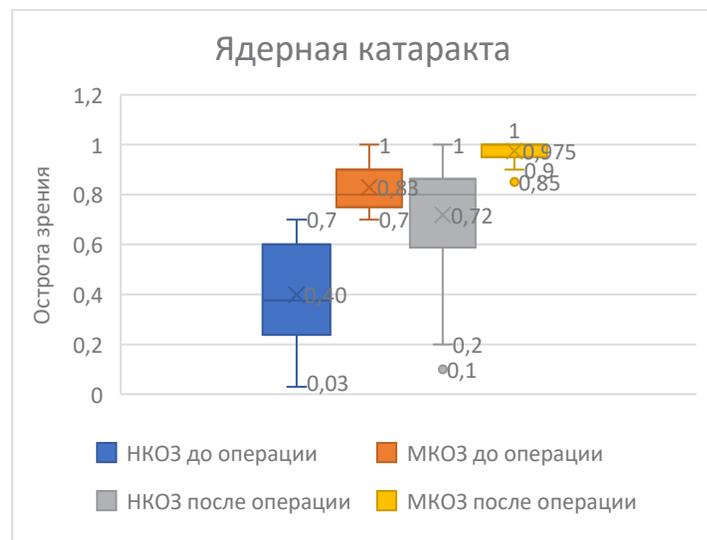
В подгруппе пациентов 2Б с ядерной катарактой до операции НКОЗ

составила от 0,01 до 1,0 (в среднем  $0,36 \pm 0,25$ ), после операции – от 0,1 до 1,0 (в среднем  $0,72 \pm 0,1$ ). МКОЗ до операции в подгруппе 2Б составляла от 0,7 до 1,0 (в среднем  $0,82 \pm 0,09$ ), после операции – от 0,85 до 1,0 (в среднем  $0,975 \pm 0,05$ ).

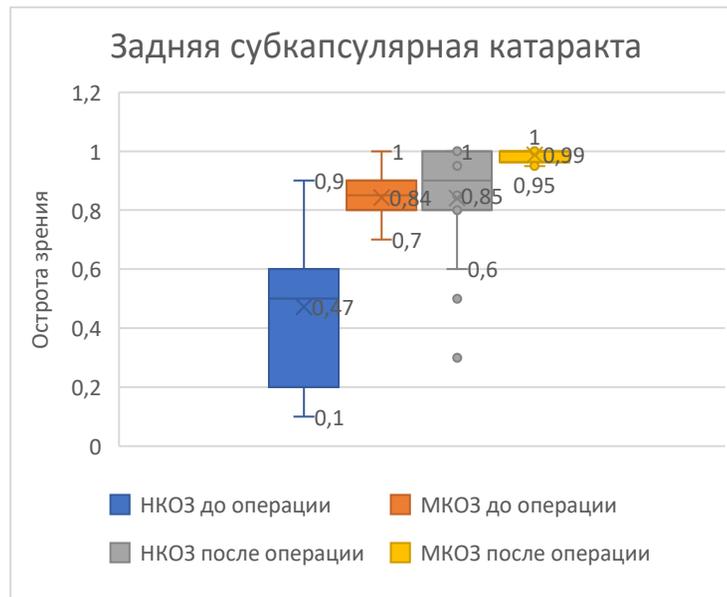
В подгруппе пациентов 2В с задней субкапсулярной катарактой до операции НКОЗ составила от 0,1 до 0,9 (в среднем  $0,48 \pm 0,24$ ), после операции – от 0,5 до 1,0 (в среднем  $0,85 \pm 0,13$ ). МКОЗ до операции в подгруппе 2В составляла от 0,7 до 1,0 (в среднем  $0,84 \pm 0,07$ ), после операции – от 0,95 до 1,0 (в среднем  $0,987 \pm 0,04$ ) (Рисунок 35).



А



Б



А – изменение остроты зрения до и после операции у пациентов с кортикальной катарактой

Б – изменение остроты зрения до и после операции у пациентов с ядерной катарактой

В – изменение остроты зрения до и после операции у пациентов с задней субкапсулярной катарактой

Рисунок 35 – Динамика изменений остроты зрения (НКОЗ, МКОЗ) в подгруппах исследования

Динамика общих аббераций высшего порядка до операции и в послеоперационном периоде в сроки от 3 до 6 месяцев показана на Рисунке 36. В целом по основной группе 2 из 120 обследованных глаз в 115 (95,8%) случаях наблюдалось снижение общих аббераций высшего порядка, в среднем -0,536 мкм, стандартное отклонение 1,54, на 3 (2,6%) глазах значения не изменились, на 2 (1,6%) глазах значения общих аббераций высшего порядка увеличились в среднем на 0,427 мкм, стандартное отклонение 1,2.

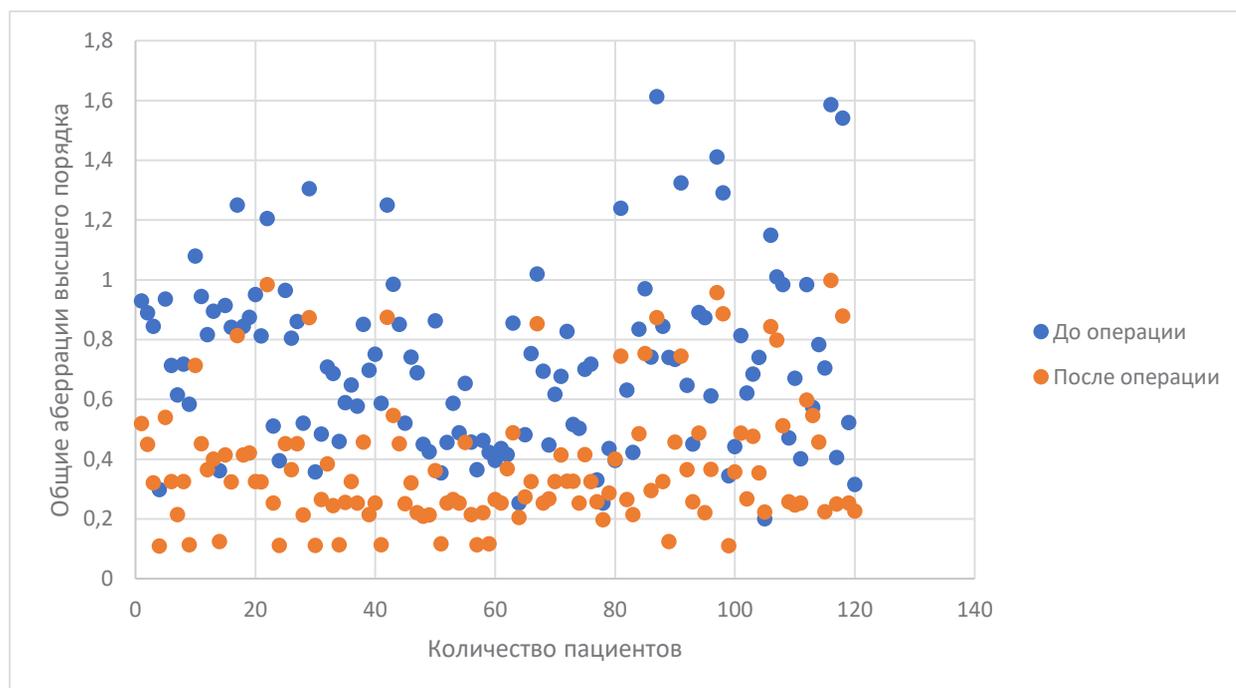


Рисунок 36 – Изменение общих аббераций высшего порядка до операции и в послеоперационном периоде

Динамика внутренних аббераций высшего порядка до операции и в послеоперационном периоде в сроки от 3 до 6 месяцев показана на Рисунке 37. В целом по основной группе 2 у всех 75 пациентов наблюдалось снижение внутренних аббераций высшего порядка, в среднем  $-0,741$  мкм, стандартное отклонение  $0,81$ .

Следовательно, хирургическое лечение катаракты оказалось эффективным в большинстве случаев.

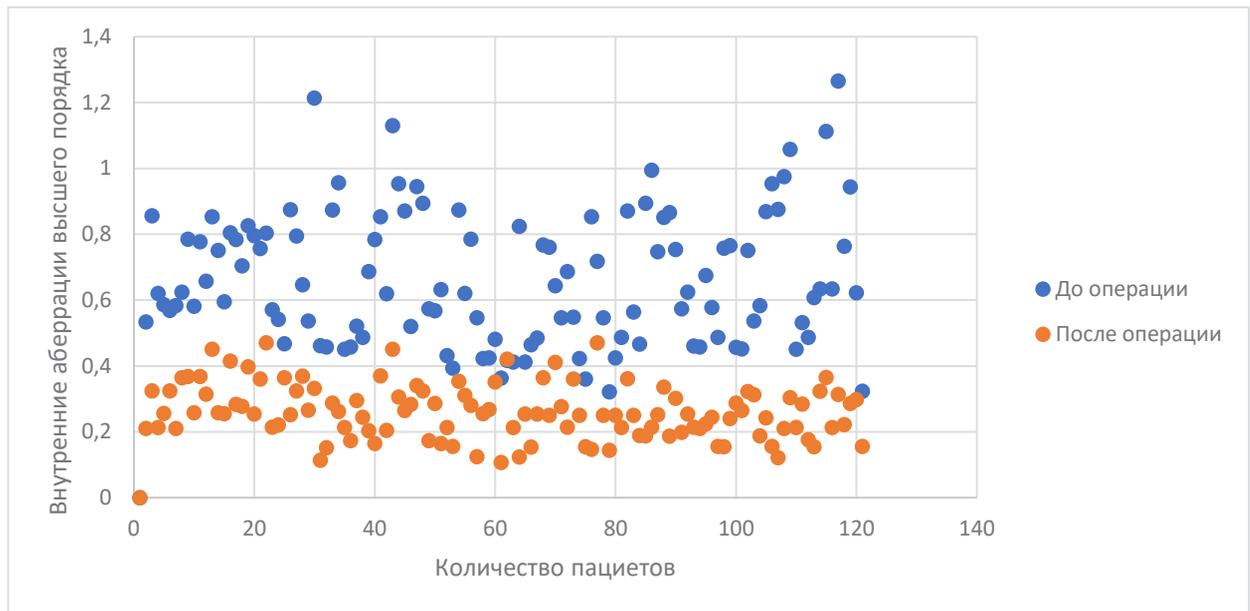
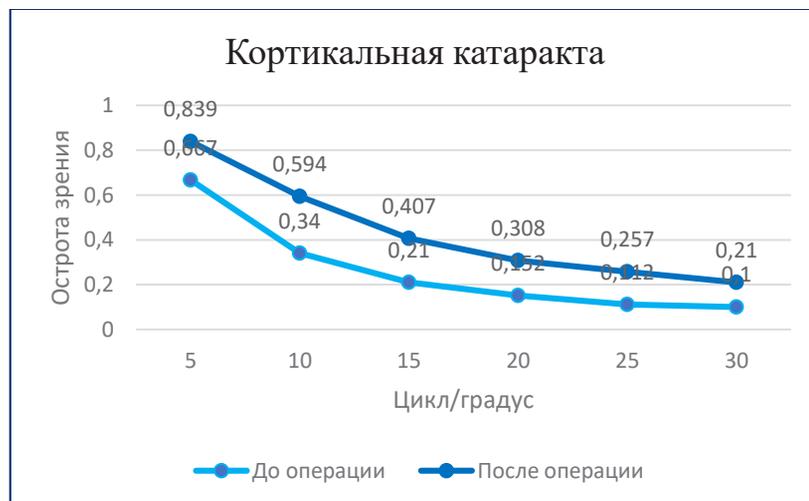


Рисунок 37 – Изменение внутренних aberrаций высшего порядка до операции и в послеоперационном периоде

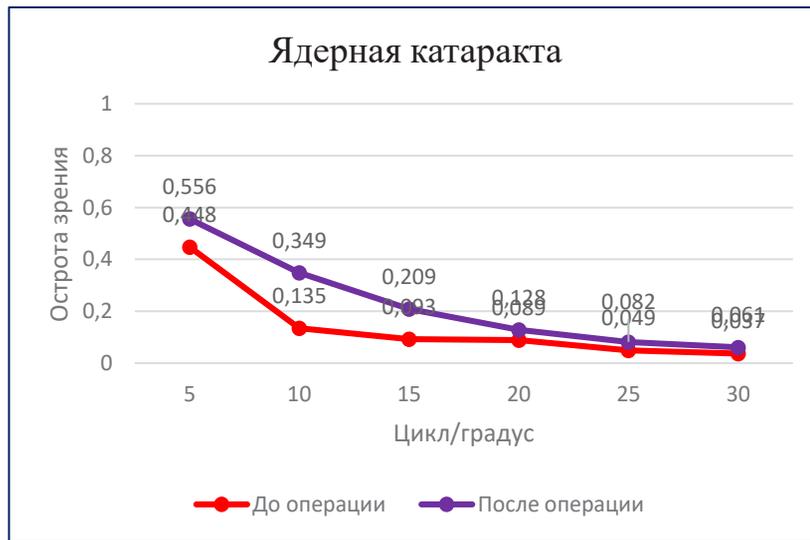
Проведена оценка функции передачи модуляции (ФПМ) при диаметре зрачка 5 мм после факэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ в подгруппах кортикальной, ядерной и задней субкапсулярной катаракты. Среднее значение функции передачи модуляции в подгруппе пациентов 2А с кортикальной катарактой до операции составило  $0,263 \pm 0,2$ , после операции –  $0,436 \pm 0,2$ , в подгруппе пациентов 2Б с ядерной катарактой до операции  $0,142 \pm 0,1$ , после операции –  $0,230 \pm 0,2$ , в подгруппе пациентов 2В с задней субкапсулярной катарактой до операции  $0,039 \pm 0,04$ , после операции –  $0,367 \pm 0,2$ . Для сравнения в контрольной группе 1 (без признаков катаракты) ФПМ в среднем  $0,496 \pm 0,2$ . Во всех случаях наблюдалось увеличение значений функции передачи модуляции от 5-30 цикл/град, что является объективным показателем улучшения качества зрения (Таблица 15, Рисунок 38).

Таблица 15 – Изменение функции передачи модуляции

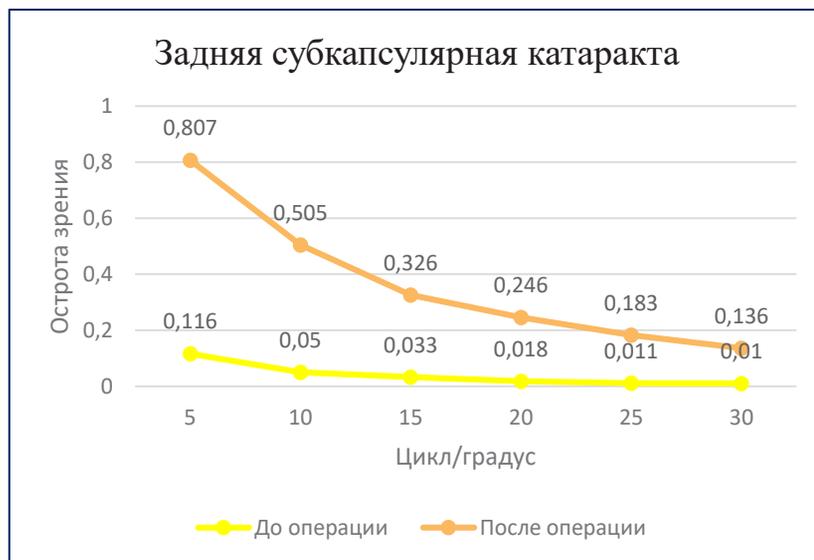
Исследуемые подгруппы (период исследования)	5 цикл/град	10 цикл/град	15 цикл/град	20 цикл/град	25 цикл/град	30 цикл/град	Среднее значение, достоверность
<b>Кортикальная катаракта, подгруппа 2А</b>							
До операции	0,667±0,02	0,340±0,03	0,210± 0,1	0,152±0,03	0,112±0,08	0,10±0,2	0,263±0,2 p<0,05
После операции	0,839±0,03	0,594±0,01	0,407±0,03	0,308±0,04	0,257±0,1	0,215±0,04	0,436±0,2 p<0,05
<b>Ядерная катаракта, подгруппа 2Б</b>							
До операции	0,448±0,01	0,135±0,03	0,093±0,05	0,089±0,04	0,049±0,1	0,037±0,3	0,142±0,1 p<0,05
После операции	0,556±0,04	0,349±0,1	0,209±0,03	0,128±0,05	0,082±0,02	0,061±0,03	0,230 ± 0,2 p<0,05
<b>Задняя субкапсулярная катаракта, подгруппа 2В</b>							
До операции	0,116±0,02	0,05±0,05	0,033±0,03	0,018±0,02	0,011±0,02	0,01±0,03	0,039±0,04 p<0,05
После операции	0,807±0,05	0,505±0,05	0,326±0,07	0,246±0,03	0,183±0,05	0,136±0,1	0,367±0,2 p<0,05



А



Б



В

А – кортикальная катаракта

Б – ядерная катаракта

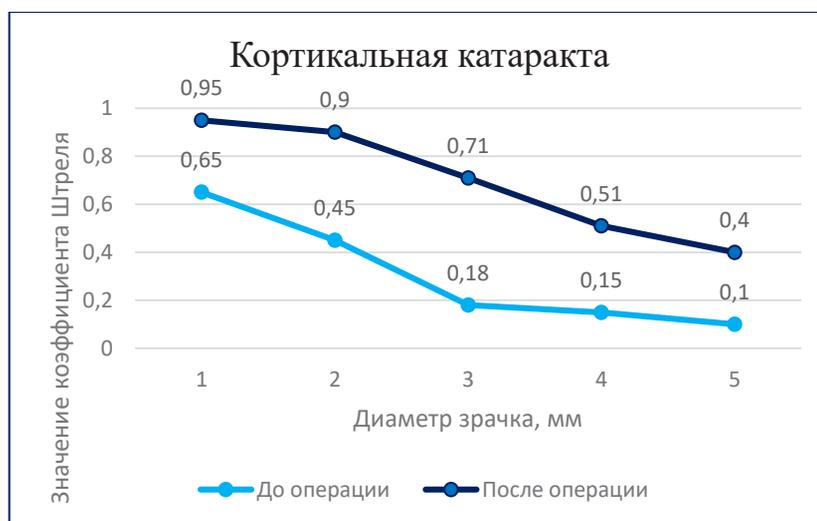
В – задняя субкапсулярная катаракта

Рисунок 38 – Изменение функции передачи модуляции

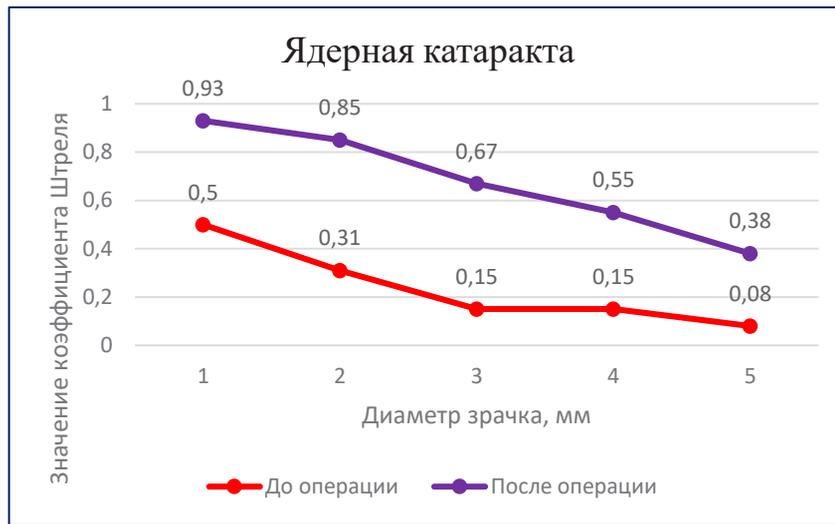
Зрительный коэффициент Штреля также был исследован после факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ во всех подгруппах основной группы 2 при диаметре зрачка от 1 до 5 мм (Таблица 16, Рисунок 39). Среднее значение коэффициента Штреля до операции составило  $0,244 \pm 0,05$ , после операции значение улучшилось до  $0,686 \pm 0,009$  ( $p < 0,05$ ).

Таблица 16 – Изменения коэффициента Штреля при различном диаметре зрачка

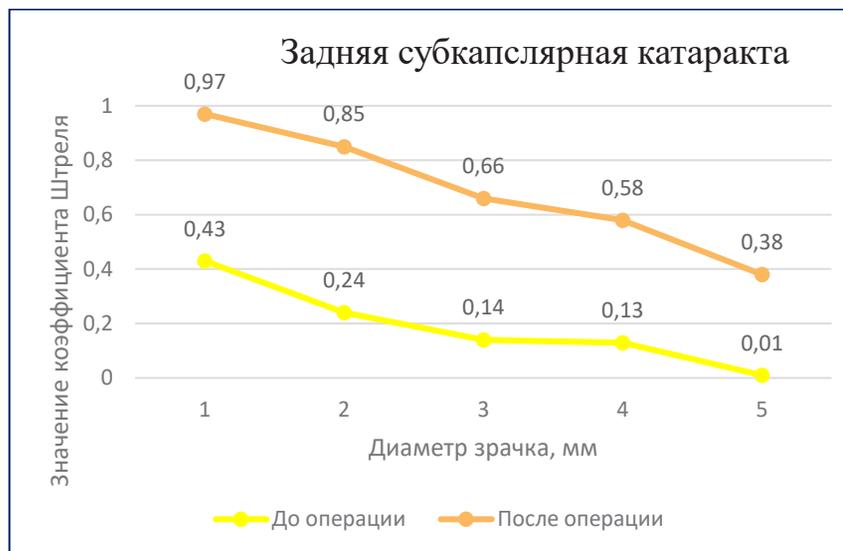
Исследуемые подгруппы (период исследования)	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	Среднее значение, достоверность
<b>Кортикальная катаракта, подгруппа 2А</b>						
До операции	0,65±0,05	0,45±0,03	0,18±0,09	0,15±0,02 7	0,1±0,07	0,306±0,02 p<0,05
После операции	0,95±0,1	0,9±0,08	0,71±0,2	0,51±0,1	0,4±0,05	0,694 ±0,2 p<0,05
<b>Ядерная катаракта, подгруппа 2Б</b>						
До операции	0,5±0,03	0,31±0,02	0,15±0,03	0,15±0,06	0,08±0,0 3	0,238±0,03 p<0,05
После операции	0,93±0,05	0,85±0,1	0,67±0,2	0,55±0,08	0,38±0,1	0,676±0,2 p<0,05
<b>Задняя субкапсулярная катаракта, подгруппа 2В</b>						
До операции	0,43±0,05	0,24±0,05	0,14±0,04	0,13±0,02	0,01±0,0 3	0,19±0,03 p<0,05
После операции	0,97±0,2	0,85±0,1	0,66±0,05	0,58±0,1	0,38±0,2	0,688±0,2 p<0,05



А



Б



В

А – кортикальная катаракта

Б – ядерная катаракта

В – задняя субкапсулярная катаракта

Рисунок 39 – Изменения коэффициента Штреля

Во всех случаях наблюдалось увеличение коэффициента Штреля, что является объективным показателем улучшения качества зрения.

### 4.3.2. Анализ влияния aberrаций высшего порядка на субъективное качество зрения пациентов после операции

Согласно разработанному способу определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения на основе объективной и субъективной оценки, включающему оценку нарушения качества зрения посредством определения внутренних aberrации высшего порядка, после операции проведена оценка интегрального балла. При величине интегрального балла 0-10 определена легкая степень нарушения качества зрения до операции и улучшения качества зрения после операции, 10-15 – средняя, выше 15 – высокая.

По величине интегрального балла определена степень нарушения качества зрения после операции в основной группе 2 (Таблица 17). Из 75 прооперированных пациентов (120 глаз) легкая степень нарушения качества зрения определена в 100% случаев.

Таблица 17 – Степень нарушения качества зрения после операции в основной группе 2

Баллы	Основная группа 2, ФЭК+ИОЛ, n= 120		
	кортикальная, n= 21 подгруппа 2А	ядерная, n= 45 подгруппа 2Б	задняя субкапсулярная, n= 54 подгруппа 2В
Суммарный балл, внутренние aberrации	1	0	0
Суммарный балл, опросная анкета	1	1	0
Величина интегрального балла	2	1	0

Проведенные исследования показали, что применение дооперационной aberrометрии и анкетирования положительно сказывается на уровне удовлетворенности пациентов после операции.

Для сравнения степени удовлетворенности пациентов после операции была сформирована дополнительная группа пациентов без дооперационной

оценки аберрометрии и анкетирования. В контрольную группу 2 вошли 85 пациентов (101 глаз). Средний возраст варьировал от 48 до 72 лет (в среднем  $60 \text{ лет} \pm 6,3$ ), 39 мужчин (46%), 46 женщин (54%).

Пациенты контрольной группы 2 также были разделены на три подгруппы по типу катаракты: подгруппа К2А – 25 пациентов с кортикальной катарактой (31 глаз), подгруппа К2Б – 31 пациентов с ядерной катарактой (37 глаз), подгруппа К2В – 29 пациентов с задней субкапсулярной катарактой (33 глаза). Возраст в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой варьировал от 59 до 68 лет (в среднем  $63 \pm 3,5$ ), в подгруппе К2Б с ядерной катарактой – от 56 до 73 лет (в среднем  $65 \pm 7,2$ ), в подгруппе К2В с задней субкапсулярной катарактой – от 48 до 55 лет (в среднем  $51 \pm 3,3$ ).

НКОЗ в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой колебалась от 0,1 до 0,85 (в среднем  $0,3 \pm 0,2$ ), МКОЗ – от 0,75 до 0,95 (в среднем  $0,8 \pm 0,05$ ). В подгруппе пациентов К2Б с ядерной катарактой НКОЗ колебалась от 0,05 до 0,95 (в среднем  $0,1 \pm 0,3$ ), МКОЗ – от 0,85 до 1,0 (в среднем  $0,85 \pm 0,05$ ). В подгруппе пациентов К2В с задней субкапсулярной катарактой НКОЗ колебалась от 0,15 до 0,8 (в среднем  $0,4 \pm 0,25$ ), МКОЗ – от 0,85 до 1,0 (в среднем  $0,9 \pm 0,1$ ).

Среднее значение длины передне-задней оси глазного яблока в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой составило  $23,5 \pm 0,5$  мм, в подгруппе К2Б с ядерной катарактой –  $24 \pm 0,75$  мм, в подгруппе К2В с задней субкапсулярной катарактой –  $23,3 \pm 0,15$  мм.

Среднее значение кератометрии в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой составило  $43,5 \pm 2,1$  дптр, в подгруппе К2Б с ядерной катарактой –  $43,65 \pm 0,5$  дптр, в подгруппе К2В с задней субкапсулярной катарактой –  $43 \pm 0,75$  дптр. Сферический эквивалент рефракции в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой составил  $2,0 \pm 0,5$ , в подгруппе К2Б с ядерной катарактой –  $-2,5 \pm 1,5$ , в подгруппе К2В с задней субкапсулярной

катарактой –  $1,25 \pm 2,0$ . Плотность эндотелиальных клеток роговицы в среднем была равна  $2509 \pm 49$  клеток/мм<sup>2</sup>.

Данные клинико-функциональных обследований пациентов контрольной группы 2 представлены в Таблице 18.

Таблица 18 – Характеристика контрольной группы 2

Характеристики	Контрольная группа 2, ФЭК+ИОЛ, n= 101 подгруппы по типам катаракты		
	кортикальная, n= 31 подгруппа К2А	ядерная, n= 37 подгруппа К2Б	задняя субкапсулярная, n= 33 подгруппа К2В
Возраст (лет)	$63 \pm 3,5$	$65 \pm 7,2$	$51 \pm 3,3$
Пол	39 (46%)		
мужчины			
женщины	46 (54%)		
Острота зрения без коррекции (НКОЗ)	$0,3 \pm 0,2$	$0,1 \pm 0,3$	$0,4 \pm 0,25$
Острота зрения с коррекцией (МКОЗ)	$0,8 \pm 0,05$	$0,85 \pm 0,05$	$0,9 \pm 0,1$
ПЗО (мм)	$23,5 \pm 0,5$	$24 \pm 0,75$	$23,3 \pm 0,15$
Кератометрия (дптр)	$43,5 \pm 2,1$	$43,65 \pm 0,5$	$43 \pm 0,75$
Сферический эквивалент рефракции	$2,0 \pm 0,5$	$-2,5 \pm 1,5$	$1,25 \pm 2,0$
ВГД, Р <sub>i</sub> (мм рт.ст.)	$11 \pm 3,0$	$14,0 \pm 0,5$	$13,5 \pm 0,8$
Эндотелиальная микроскопия (кл/ мм <sup>2</sup> )	$2458 \pm 58$	$2495 \pm 29$	$2574 \pm 32$

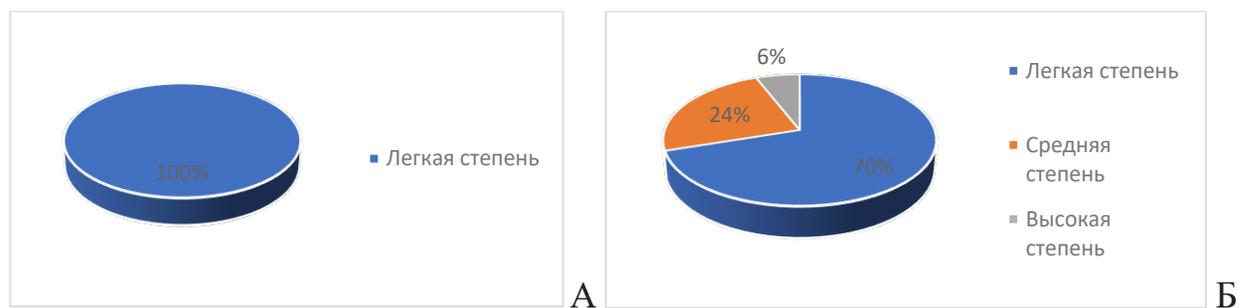
В контрольной группе 2 после операции был проведен анализ aberrаций высшего порядка и анкетирование. По величине интегрального балла определена степень нарушения качества зрения после операции.

Выявлено, что процент удовлетворенности после операции без дооперационной aberрометрии и анкетирования ниже, чем с предложенной методикой (Таблица 19).

Таблица 19 – Степень нарушения качества зрения после операции в контрольной группе 2

Баллы	Контрольная группа 2ФЭК+ИОЛ, n= 101		
	кортикальная, n= 31 подгруппа К2А	ядерная, n= 37 подгруппа К2Б	задняя субкапсулярная, n= 33 подгруппа К2В
Суммарный балл, внутренние аберрации	4	4	0
Суммарный балл, опросная анкета	6	4	2
Величина интегрального балла	10	8	4

Согласно полученным данным, 70% пациентов испытывают легкие нарушения качества зрения после операции, что может указывать на то, что многие из пациентов все же остаются удовлетворенными результатами, несмотря на некоторые проблемы. 24% пациентов со средней степенью нарушения и 6% с высокой степенью нарушения качества зрения указывают на то, что есть группа пациентов, для которых результаты операции оказались менее успешными (Рисунок 40).



А – качество зрения у пациентов в основной группе 2

Б – качество зрения у пациентов в контрольной группе 2

Рисунок 40 – Диаграмма в сравнении. Качество зрения у пациентов в основной группе 2 и контрольной группе 2

В основной группе 2 все пациенты имели легкие нарушения, что свидетельствует о высокой эффективности операции. В контрольной группе 2 наблюдалось разнообразие степеней нарушения, что указывает на наличие более серьезных проблем со зрением среди пациентов.

### **Резюме**

При оценке суммарных объективных и субъективных данных выявлена степень нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения. При степени интегрального балла выше 15 – определена высокая степень нарушения качества зрения всем пациентам предложена хирургия катаракты. При средней степени нарушения качества зрения хирургия катаракты предложена в 63% случаев и при низкой степени – в 30% случаев.

Различные виды помутнения хрусталика могут создавать уникальный набор аберраций и изменять качество зрения. Эти изменения могут быть оценены с помощью современных методов визуализации и анализа волнового фронта, что помогает в диагностике. Но уже на уровне поликлинического приема по определенным видам жалоб и биомикроскопии можно понять о наличии того или иного вида катаракты и выбрать подходящий способ лечения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Катаракта может значительно влиять на качество зрения, даже если острота зрения остается на высоком уровне. Это связано с тем, что катаракта не всегда проявляется только в снижении остроты зрения, но и в ухудшении других визуальных характеристик. Пациенты с катарактой часто описывают такие симптомы, как:

- рассеивание света. Это может проявляться в виде ореолов вокруг источников света, особенно в темное время суток, что затрудняет вождение или выполнение задач в условиях низкой освещенности;

- диплопия. Из-за изменения оптических свойств хрусталика может возникать двоение изображения, что также влияет на зрительное восприятие и вызывает дискомфорт;

- проблемы с адаптацией к изменениям освещения. Пациенты могут испытывать трудности при переходе из ярко освещенных помещений в темные или наоборот, что делает их уязвимыми в различных ситуациях;

- чувство дискомфорта при ярком свете. Неприятные ощущения при попадании яркого света в глаза могут вызывать необходимость постоянно щуриться или избегать ярких источников света.

Острота зрения, оцениваемая стандартными методами с использованием таблиц, является лишь одним из параметров, характеризующих зрительную функцию. Научная литература акцентирует внимание на том, что острота зрения не отражает в полной мере качество зрения [38, 60, 132]. Анализ отечественной и зарубежной литературы продемонстрировал, что катаракта оказывает существенное негативное воздействие на целый ряд зрительных функций, включая контрастную чувствительность, цветовое зрение, восприятие глубины, а также светочувствительность, проявляющееся в виде ослепления и гало-эффекта [ 25, 26, 39, 70, 100, 127, 153].

Влияние возрастной катаракты на абберации высшего порядка, представляет собой многогранный вопрос. Исследования в этой области

показывают, что влияние катаракты на зрительное восприятие может варьироваться в зависимости от множества факторов, включая: тип и тяжесть катаракты, индивидуальные особенности пациентов, возраст, наличие сопутствующих заболеваний, состояние роговицы, сетчатки и др. [16, 59, 67, 128,139]. Клинически значимая катаракта диагностируется не только на основании объективных офтальмологических исследований, но и с учетом субъективных жалоб пациента и степени влияния изменений хрусталика на его повседневную деятельность. Детальное обследование пациентов, включая анкетирование, позволяет собрать информацию о субъективном восприятии зрительных нарушений и объективных измерениях, таких как рефракция и оптические aberrации. Это может помочь в разработке индивидуализированных подходов к лечению и коррекции зрения у пациентов с катарактой.

Данный подход, подчеркивающий важность оценки функциональных нарушений и возможностей оперативного лечения катаракты для улучшения качества жизни пациента, находит широкое подтверждение в научной литературе [5, 18, 44].

Несмотря на значительный объем исследований, посвященных катаракте, в настоящее время отсутствует строгая и однозначная корреляция между субъективными симптомами, предъявляемыми пациентом, и объективными параметрами, полученными в ходе инструментальных офтальмологических обследований. Вследствие этого, не представляется возможным разработать унифицированный алгоритм, позволяющий с высокой степенью достоверности определить показания к хирургической экстракции катаракты, то есть дифференцировать пациентов, которым данное вмешательство принесет существенное улучшение зрительных функций, от тех, для кого потенциальная польза будет незначительной.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящего исследования явилась разработка и научное обоснование индивидуализированных показаний к хирургическому лечению катаракт у пациентов с высокой остротой зрения,

основанных на комплексной субъективной и объективной оценке качества зрения.

Для достижения поставленной цели в рамках настоящего исследования был решен комплекс взаимосвязанных задач: провести ретроспективный сравнительный анализ клинических, морфометрических и aberрометрических показателей у пациентов с начальной катарактой и без ее признаков; на основе объективных и субъективных методов исследования разработать методику для определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения; на основании корреляционного анализа взаимосвязи аберраций высшего порядка и субъективного качества зрения разработать индивидуализированный подход к определению показаний к хирургии начальных катаракт с высокой остротой зрения; изучить эффективность предложенного подхода путем анализа функциональных и анатомических результатов лечения пациентов с начальной катарактой при высокой дооперационной остроте зрения.

В данном исследовании всего обследованы и пролечены 269 пациентов на базе АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза».

Исследование было разделено на два последовательных этапа.

Первоначально, на основе сравнительного анализа аберраций оптической системы глаза, проведено исследование влияния начальной катаракты на функциональное качество зрения пациентов в сравнении с контрольной группой. На I этапе работы оценивали клинико-функциональные данные у 141 пациента (243 глаза) с начальной катарактой и высокой остротой зрения. Эти пациенты составили основную группу 1, которая была разделена на подгруппы по типу катаракты: с кортикальной катарактой 1А – 79 глаз, с ядерной катарактой 1Б – 89 глаз, с задней субкапсулярной катарактой 1В – 75 глаз. Возраст в основной группе 1 варьировал от 42 до 85 лет, 59 мужчин (41,8%), 82 женщины (58,2%). В контрольную группу 1 вошли 43 человека (75 глаз) без признаков катаракты. Возраст в контрольной группе 1 варьировал от 43 до 65 лет, 22 мужчины (51,1%) и 21 женщина (48,9%).

Всем пациентам в пред- и послеоперационном периоде на всех сроках наблюдения проводили стандартное офтальмологическое обследование, включающее в себя визометрию, автокератометрию, тонометрию, динамическую периметрию, оптическую биометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию с использованием бесконтактных высокодиоптрийных линз для осмотра центральных и периферических отделов глазного дна. Дополнительно в пред- и послеоперационном периоде исследовали количество эндотелиальных клеток роговицы на приборе Specular Microscope EM-4000 (Tomey, Japan).

Оценку аберраций высшего порядка волнового фронта проводили при медикаментозном мидриазе при ширине зрачка 5 мм на аберрометре ITrace (Tracey technology, США). Помимо данных аберраций высшего порядка, оценивали два показателя влияния аберраций на оптическое качество зрения – функцию передачи модуляции (MTF – modulation transfer function) и коэффициент Штреля.

Анализ полученных данных позволил установить количественную и качественную взаимосвязь между начальными помутнениями хрусталика и изменениями в качестве зрения пациентов, даже при сохранении высокой остроты зрения. Это подчеркивает важность оценки не только остроты зрения, но и комплекса других параметров зрительной функции на ранних стадиях развития катаракты. Измерения, полученные с помощью аберрометра, сравнивали в основной группе 1 у пациентов с различными видами катаракты и контрольной группе 1 без признаков таковой. В частности, анализ аберрационных профилей показал, что в подгруппе 1А с кортикальной катарактой выявлено статистически значимое преобладание комоподобных аберраций во внутренней оптике по сравнению с двумя другими подгруппами катаракт ( $p < 0,05$ ), как в общих, так и во внутренних аберрациях высшего порядка. В подгруппе 1Б с ядерной катарактой выявлены статистически значимые отличия в значениях сферических аберраций, характеризующиеся отрицательным сдвигом по сравнению с подгруппами с кортикальной и

заднекапсулярной катарактой во внутренних абберациях высшего порядка ( $p < 0,05$ ). В подгруппе 1В с заднекапсулярной катарактой наблюдались статистически более высокие значения аббераций типа трефоил и комоподобных аббераций как в общих, так и во внутренних абберациях высшего порядка по сравнению с двумя другими подгруппами, однако данные различия не достигли уровня статистической значимости ( $p > 0,05$ ). В результате сравнительного анализа аббераций у пациентов с различными видами катаракт с высокой остротой зрения выявлены значительные нарушения качества зрения по сравнению с контрольной группой без признаков катаракты. Полученные данные соответствуют существующим знаниям о влиянии различных типов катаракт на абберации глаза, что подтверждается литературными источниками [29, 55, 57, 100, 116, 120].

В дальнейшем была разработана методика количественной оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения, основанная на интеграции субъективных и объективных данных. Субъективная оценка производилась посредством специально разработанного опросника, позволяющего пациентам выразить степень своей неудовлетворенности качеством зрения. Объективная оценка включала в себя измерение внутренних аббераций высшего порядка, а именно: кому, сферической абберации и трефоила, в пред- и послеоперационном периодах.

Для количественной оценки субъективных ощущений в опросник были включены пять изображений, визуализирующих основные оптические феномены, возникающие при катаракте. Пациенты оценивали выраженность каждого феномена по пятибалльной шкале. Интегральный балл, рассчитанный на основе ответов на вопросы опросника, использовали для определения степени нарушения качества зрения. Данная методика запатентована: патент РФ на изобретение № 2821655 «Способ определения степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения» (от 18.10.2023 г.), а также патент РФ на промышленный образец

№ 139439 бланк «Анкета для оценки степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения» (от 31.05.2023 г.). Оценку удовлетворенности качеством зрения проводили в предоперационном периоде и через 3-6 месяцев после хирургического вмешательства.

Было показано, что исследование aberrаций высшего порядка, функции передачи модуляции и коэффициента Штреля обеспечивают надежные и полностью объективные измерения качества оптики и зависят от субъективных ощущений и данных. В этом исследовании изучали полезность различных измерений оптического качества зрения, полученных с использованием абберметра, в процессе принятия решений перед операцией по хирургии катаракты. Измерения, полученные с помощью абберметра, сравнивали в основной группе 1 у пациентов с различными видами катаракты и контрольной группе 1 без признаков таковой.

Величина ПЗО была тесно связана как с общим, так и с внутренними aberrациями высшего порядка (оба  $p < 0,001$ ). Оба компонента увеличивались с увеличением осевой длины ( $R^2=0,5737$  и  $R^2=0,6443$  соответственно). Внутренние и общие aberrации высшего порядка волнового фронта были выше в основной группе 1 с катарактой, чем в контрольной группе 1 ( $p < 0,001$  для всех, t-критерий). Напротив, функция передачи модуляции и коэффициент Штреля были ниже в основной группе 1 с катарактой по сравнению с контрольной группой 1 ( $p < 0,001$  для всех, t-критерий).

Важно отметить, что эти параметры также различались у разных типов катаракты. В подгруппе 1А с кортикальной катарактой выявлено незначительное преобладание во внутренней оптике комоподобных aberrаций по сравнению с двумя другими подгруппами катаракт как в общих, так и во внутренних aberrациях ( $p < 0,05$ ). В подгруппе 1Б с ядерной катарактой значительно отличались сферические aberrации (отрицательный сдвиг), чем в подгруппах с кортикальной и заднекапсулярной катарактой во внутренних aberrациях высшего порядка ( $p < 0,05$ ). В подгруппе 1В с заднекапсулярной

катарактой значительно более высокие аберрации трефоил и комоподобные аберрации в общих аберрациях и во внутренних аберрациях высшего порядка по сравнению с двумя другими подгруппами ( $p > 0,05$ ). Представленные данные в целом соответствуют литературным источникам. Зависимость аберраций от величины ПЗО, ухудшение оптического качества (снижение функции передачи модуляции и коэффициента Штреля) при катаракте, а также специфические аберрационные профили для разных типов катаракт – все это находит подтверждение в опубликованных исследованиях [26, 39, 52, 91, 118,153].

Результаты проведенного исследования позволили установить наличие дифференцированных аберрационных профилей в зависимости от типа катаракты, что, в свою очередь, обуславливает специфический спектр субъективных жалоб, предъявляемых пациентами. В частности, при кортикальной катаракте доминирует аберрация типа кома, приводящая к искажению изображения в виде размытости и диплопии, а также к формированию характерных «хвостообразных» артефактов, напоминающих комету. Ядерная катаракта характеризуется преобладанием сферической аберрации, что клинически проявляется в виде гало-эффекта вокруг точечных источников света и снижении показателей контрастной чувствительности. В группе пациентов с задней субкапсулярной катарактой наиболее часто регистрируется внутренняя аберрация типа трефоил, клинически проявляющаяся преимущественно в виде эффекта лучистости вокруг объектов. Представленные данные согласуются с литературными источниками. Связь конкретных типов аберраций с определёнными типами катаракт и их клиническими проявлениями подтверждается в опубликованных исследованиях [84, 100, 120, 120].

На следующем этапе был разработан индивидуализированный подход к определению показаний к хирургическому лечению начальных катаракт с высокой остротой зрения. Этот подход основан на корреляционном анализе взаимосвязи между аберрациями высшего порядка, выявленными при

объективном обследовании, и субъективной оценкой качества зрения пациентами. Таким образом, учитывались как объективные параметры, так и субъективные ощущения пациентов. Такой подход ранее не описан в литературе.

Из числа обследованных пациентов основной группы 1 легкая степень нарушения качества зрения преобладает в подгруппе пациентов 1А с кортикальной катарактой – 85%, средняя степень нарушения качества зрения преобладает в подгруппах 1Б с ядерной – 47% и 1В с задней субкапсулярной катарактой – 42%, высокая степень доминирует в подгруппе 1В с задней субкапсулярной катарактой – 73%. При степени интегрального балла выше 15 – высокая степень нарушения качества зрения – всем пациентам предложена хирургия катаракты. При средней степени нарушения качества зрения хирургия катаракты предложена в 63% случаев и при низкой степени нарушения – в 30% случаев.

Из основной группы 1 (141 пациент – 243 глаза) была сформирована основная группа 2, в которую вошли 75 пациентов (120 глаз), направленные на основании диагностики на факоэмульсификацию катаракты с имплантацией сферической ИОЛ. Средний возраст в группе пациентов, направленных на факоэмульсификацию катаракты с имплантацией ИОЛ, варьировал от 43 до 75 лет, 32 мужчины (42,6%), 43 женщины (57,4%).

Для оценки эффективности предложенного подхода, было проведено изучение динамики функциональных и анатомических результатов лечения пациентов с начальной катарактой и высокой дооперационной остротой зрения после хирургического вмешательства. Это позволило оценить, насколько предложенный индивидуализированный подход позволяет улучшить качество зрения пациентов и какие анатомические изменения происходят в результате операции.

Из 120 глаз в 115 случаях (95,8%), наблюдалось снижение общих аббераций высшего порядка, в среднем -0,536 мкм, стандартное отклонение 1,54, у 3 пациентов (2,6%) значения не изменились, у 2 пациентов (1,6%)

значение общих аберраций высшего порядка увеличились в среднем на 0,427 мкм, стандартное отклонение 1,2. Из всех 120 глаз наблюдалось снижение внутренних аберраций высшего порядка, в среднем -0,741 мкм, стандартное отклонение 0,81.

Результаты проведенного исследования подтверждают, что значения большинства общих и внутренних аберраций высшего порядка были статистически значимо выше в предоперационном периоде по сравнению с послеоперационным, что указывает на существенную роль возрастной катаракты в увеличении аберраций оптической системы глаза. Данный факт свидетельствует о том, что хирургическое удаление катаракты, даже при сохранении высокой остроты зрения, способно оказать значительное положительное влияние на качество зрения пациента за счет снижения уровня аберраций высшего порядка. Во всех исследуемых случаях было зафиксировано статистически значимое увеличение значений функции передачи модуляции в диапазоне частот от 5 до 30 цикл/град и коэффициента Штреля ( $p < 0,05$ ), что является объективным подтверждением улучшения качества зрения после хирургического лечения. Следовательно, хирургическое лечение катаракты оказалось эффективным в большинстве случаев. Из 120 прооперированных глаз легкая степени нарушения качества зрения определена в 100% случаев.

Для сравнения степени удовлетворенности пациентов после операции была сформирована дополнительная контрольная группа 2 (85 пациентов – 101 глаз) без дооперационной оценки аберрометрии и анкетирования. Данные клинико-функциональных обследований не имели статистически значимых различий по сравнению с основной группой 2 ( $p > 0,05$ ). Средний возраст в контрольной группе 2 у пациентов после факэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ варьировал от 48 до 72 лет (в среднем 60 лет  $\pm$  6,3), 39 мужчин (46%), 46 женщин (54%). Данная группа пациентов также была разделена по типу катаракты на три подгруппы по типу катаракты. Возраст в подгруппе пациентов К2А с кортикальной катарактой варьировал от 59 до 68

лет (в среднем  $63 \pm 3,5$ ), в подгруппе К2Б с ядерной катарактой от – 56 до 73 лет (в среднем  $65 \pm 7,2$ ), в подгруппе К2В с задней субкапсулярной катарактой – от 48 до 55 лет (в среднем  $51 \pm 3,3$ ).

В контрольной группе 2 наблюдается разнообразие степеней нарушения, что указывает на наличие более серьезных проблем со зрением среди пациентов. В исследуемой группе все пациенты имели легкие нарушения качества зрения, что свидетельствует о высокой эффективности операции. Применение дооперационной аберрометрии и анкетирования положительно сказывается на уровне удовлетворенности пациентов после операции.

Оценка ретинального изображения посредством анализа волнового фронта представляет собой ценный объективный и количественный метод, предоставляющий клинически значимые данные о влиянии катаракты на оптическое качество глаза. Этот метод позволяет объективно оценить величину искажений волнового фронта, вызванных развитием катаракты. Интеграция данных анализа волнового фронта с результатами субъективной оценки зрительных функций позволяет рационализировать принятие решения о целесообразности хирургической интервенции на ранних стадиях заболевания, даже при сохранной высокой остроте зрения, с целью оптимизации зрительного комфорта пациента.

## ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ aberrаций оптической системы глаза доказывает, что внутренние и общие aberrации высшего порядка волнового фронта выше в группе с катарактой, чем у пациентов без таковой ( $p < 0,001$  для всех,  $t$ -критерий). Напротив, функция передачи модуляции и коэффициент Штреля ниже в группе с катарактой по сравнению с группой без признаков катаракты ( $p < 0,001$  для всех,  $t$ -критерий). У пациентов с катарактой наблюдаются более выраженные оптические aberrации, что приводит к снижению остроты зрения, ухудшению контрастной чувствительности и увеличению визуального дискомфорта.

2. Разработанная методика включает в себя субъективную оценку и объективные данные aberрометрии и позволяет выявить три степени нарушения качества зрения у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения (легкую, среднюю, тяжелую).

3. Корреляционный анализ между aberrациями высшего порядка и субъективным качеством зрения показал, что у пациентов с кортикальной катарактой выявлена прямая связь между внутренней aberrацией кома и жалобами на двоение и расплывчатость изображения (коэффициенты корреляции 0,673 и 0,515,  $p < 0,05$ ). У пациентов с ядерной катарактой установлена прямая связь между внутренней сферической aberrацией и жалобами на ослепление и гало-эффекты (коэффициенты корреляции 0,715 и 0,682,  $p < 0,05$ ). У пациентов с задней субкапсулярной катарактой установлена прямая связь между внутренней aberrацией трефоил и жалобами на лучистость изображения (коэффициент 0,717,  $p < 0,05$ ).

4. Анализ функциональных и анатомических результатов после хирургического лечения показал повышение остроты зрения, снижение общих ( $-0,536 \text{ мкм} \pm 1,54$ ) и внутренних aberrаций высшего порядка ( $-0,741 \text{ мкм} \pm 0,81$ ). Во всех случаях наблюдалось увеличение значений функции передачи модуляции и коэффициента Штреля ( $p < 0,05$ ), что является объективным показателем улучшения качества зрения.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Ведение пациентов с начальной катарактой требует комплексного подхода, учитывающего как медицинские, так и психологические аспекты.
2. При обращении пациента необходимо проверить, нужно ли ему обновить рецепт на очки. Иногда простая коррекция зрения (коррекция аббераций низкого порядка) может значительно улучшить качество жизни.
3. Для оценки качества зрения пациента важно учитывать субъективные ощущения, оптические феномены. Используйте предложенную анкету.
4. Используйте результаты аберрометрии для анализа типа и степени аббераций. Это поможет понять, как катаракта влияет на зрение пациента.
5. На основе данных аберрометрии и анкетирования следует разработать индивидуальный план лечения. Например, если у пациента наблюдается высокий уровень внутренних аббераций высшего порядка, рассмотрите возможность более раннего хирургического вмешательства.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы имеет значительный потенциал и может привести к улучшению результатов хирургического лечения катаракты у пациентов с высокой остротой зрения. Возможно создание математических моделей, которые позволяют прогнозировать вероятность достижения желаемых результатов хирургического лечения катаракты у конкретного пациента с учетом его индивидуальных особенностей. Перспективна разработка алгоритмов, дающих возможность объединить результаты различных диагностических методов (ОКТ, биометрия, aberрометрия, кератотопография и др.) для получения более полной картины состояния глаза пациента. Более детальное изучение влияния aberrаций высшего порядка на качество зрения у пациентов с высокой остротой зрения и разработка методов их коррекции во время хирургии катаракты.

Применение методов машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа больших объемов данных и выявления закономерностей, которые могут быть использованы для разработки более точных и эффективных алгоритмов отбора пациентов. Перспективно создание алгоритмов, позволяющих оптимально подобрать тип ИОЛ (монофокальную, мультифокальную, EDOF, торическую) для каждого пациента с учетом его индивидуальных особенностей и зрительных потребностей.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВГД – внутриглазное давление

ВП – высшего порядка

ВФ – волновой фронт

ИОЛ – интраокулярная линза

МКОЗ – максимальной корригированной остроты зрения

НКОЗ – некорригированная острота зрения

ОКТ – оптическая когерентная томография

ПЗО – передне-задняя ось глаза

ПЭК – плотность эндотелиальных клеток

УБМ – ультразвуковая биомикроскопия

ФПМ – функция передачи модуляции

ФРТ – функция рассеивания точки

ФЭК – факоэмульсификация катаракты

LOCS – Lens Opacities Classification System

MTF – Modulation Transfer Function

RMS – Root Mean Square

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Балашевич, Л.И. Аберрометрия как метод оценки интраокулярной коррекции [Текст] / Л.И. Балашевич, А.Б. Качанов // Офтальмохирургия. – 2007. – № 4. – С. 22-26.
2. Балашевич, Л.И. Клиническая корнеотопография и аберрометрия [Текст] / Л.И. Балашевич, А.Б. Качанов. – М., 2008. – 167 с.
3. Балашевич, Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации [Текст] / Л.И. Балашевич. – СПб.: Человек, 2009. – 296 с., ил.
4. Бикбов, М.М. Катаракта как причина нарушения зрения: эпидемиология и организация хирургической помощи (по данным исследования «Ural Eye and Medical Study») [Текст] / М.М. Бикбов, Г.З. Исрафилова, Т.Р. Гильманшин и др. // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 7-13. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-1-7-13>
5. Бикбов, М.М. Хирургическое лечение возрастной катаракты: вехи и проблемы. Обзор литературы [Текст] / М.М. Бикбов, Г.З. Исрафилова, Т.Р. Гильманшин // Офтальмология. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 15-21.
6. Бранчевский, С.Л. Распространенность нарушения зрения вследствие катаракты по данным исследования РААВ в Самаре [Текст] / С.Л. Бранчевский, Б.Э. Малюгин // Офтальмохирургия. – 2013. – № 3. – С. 82-85.
7. Егоров, В.В. Катаракта. Диагностические ошибки при направлении пациентов на хирургическое лечение [Текст]: монография / В.В. Егоров, Е.Л. Сорокин, Г.П. Смолякова, О.В. Коленко. – Хабаровск, 2020.
8. Егорова, Г.Б. Аберрации человеческого глаза, способы их измерения и коррекции (обзор литературы) [Текст] / Г.Б. Егорова, Н.В. Бородина, И.А. Бубнова // РМЖ. Клиническая Офтальмология. – 2003. – № 4. – С. 174.
9. Заказнов, Н.П. Теория оптических систем [Текст]: учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н.П. Заказнов, С.И. Кирюшин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.

10. Ибрафилова, Г.З. Распространенность катаракты и ее типов у взрослого населения (по данным исследования «Ural eye and medical study») [Текст] / Ибрафилова Г.З. // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2021. – № 4. – С. 62-75. doi:10.24412/2312-2935-2021-4-62-75
11. Киселева, Т.Н. Инновационные технологии в мониторинге возрастной катаракты [Текст] / Т.Н. Киселева, М.С. Зайцев // Офтальмология. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 740-745. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-4-740-745>.
12. Королева, И.А. Возрастная катаракта: профилактика и лечение [Текст] / И.А. Королева, Е.А. Егоров // РМЖ. Клиническая офтальмология. – 2018. – №4.
13. Кошиц, И.Н. Оптические особенности прохождения света через преломляющие структуры глаза [Текст] / И.Н. Кошиц, О.В. Светлова, М.Г. Гусева, Д.В. Певко, М.Б. Эгембердиев // The EYE ГЛАЗ. – 2017. – № 2. – С. 29-42.
14. Малюгин, Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии [Текст] / Б.Э. Малюгин // Вестник офтальмологии. – 2014. – № 6. – С. 80-88.
15. Манаенкова, Г.Е. Катаракта: Учебное пособие для студентов 5-х курсов, врачей и ординаторов / М-во науки и высш. обр. РФ [и др.]. – Тамбов : Издательский дом «Державинский», 2021. – 38 с.
16. Нероев, В.В., Современные аспекты катарактальной хирургии с позиции медико-социальной модели здоровья. Обзор [Текст] / В.В. Нероев, Н.И. Овечкин // Офтальмология. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 456-463. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-3-456-463>
17. Нероев, В.В. Аберрации оптической системы глаза при миопии различной степени [Текст] / В.В. Нероев, Е.П. Тарутта, А.Т. Ханджян и др. // Вестник офтальмологии. – 2021. – Т. 137, № 5. – С. 14-21. <https://doi.org/10.17116/oftalma202113705114>

18. Николашин, С.И. Когнитивные нарушения в пожилом возрасте при катаракте [Электронный ресурс] / С.И. Николашин, Е.В. Попова // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2020. – № 3.
19. Овечкин, И.Г. Медико-социальный подход к разработке методики оценки «качества жизни» после факоемульсификации катаракты. Часть 1 [Текст] / И.Г. Овечкин, Н.И. Овечкин, А.В. Шакула, и др. // Офтальмология. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 167-172. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-167-172>
20. Орлова, О.М. Хирургия катаракты как медико-социальная проблема [Текст] / О.М. Орлова, В.Н. Трубилин // Социология медицины. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 119-122.
21. Певко Д.В. Аберрации в оптической системе глаза [Текст] / Д.В. Певко // The EYE ГЛАЗ. – 2017. – Т. 19, № 4. – С. 9-17.
22. Попова, Н.В. Качество жизни пожилых больных катарактой после ультразвуковой факоемульсификации [Текст] / Н.В. Попова, В.В. Аксёнов, Д.А. Коняев // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2020. – №3.
23. Тахтаев, Ю.В. Интраокулярная коррекция аметропий и пресбиопии [Текст]: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.07 / Тахтаев Юрий Викторович. – СПб, 2008. – 36 с.
24. Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой. Экспертный совет по проблеме хирургического лечения катаракты. – М.: Издательство «Офтальмология», 2023.
25. Хван, Д.А. Аберрации высшего порядка – выбор оптимальной интраокулярной коррекции при хирургическом лечении катаракты. Обзор литературы [Текст] / Д.А. Хван, Г.А. Федяшев // Офтальмология. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 51-57. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-1-51-57>.

26. Adamsons, I. The effect of early cataracts on glare and contrast sensitivity. A pilot study [Text] / I. Adamsons, G.S. Rubin, S. Vitale et al. // *Arch Ophthalmol.* – 1992. Vol. 110. – No. 8. – P. 1081-1086. doi: 10.1001/archophth.1992.01080200061025. PMID: 1497520.
27. Adhikari, P. Design and validation of a chart-based measure of the limits of spatial contrast sensitivity [Text] / P. Adhikari, D.D. Carter, B. Feigl, A.J. Zele // *Ophthalmic Physiol Opt.* – 2023. – Vol. 43. – No. 2. – P. 287-289. doi: 10.1111/opo.13083. Epub 2023 Jan 6. PMID: 36609988.
28. Al-Sayyari, T.M. Corneal spherical aberration and its impact on choosing an intraocular lens for cataract surgery [Electronic text] / T.M. Al-Sayyari, S.M. Fawzy, A.A. Al-Saleh // *Saudi J Ophthalmol.* – 2014. – Vol. 28. – No. 4. – P. 274-280. doi: 10.1016/j.sjopt.2014.06.005. Epub 2014 Jun 25. PMID: 25473343; PMCID: PMC4250498.
29. Artal, P. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye [Text] / P. Artal, A. Guirao, E. Berrio, D.R. Williams // *J Vis.* – 2001. – Vol. 1. – No. 1. – P. 1-8. doi: 10.1167/1.1.1. PMID: 12678609.
30. Artal, P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age [Text] / P. Artal, E. Berrio, A. Guirao, P. Piers // *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* – 2002. – Vol. 19. – No. 1. – P. 137-143. doi: 10.1364/josaa.19.000137. PMID: 11778716.
31. Artal, P. Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye [Text] / P. Artal, A. Guirao // *Opt Lett.* – 1998. – Vol. 23. – No. 21. – P. 1713-1715. doi: 10.1364/ol.23.001713. PMID: 18091893.
32. Awidi, A.A. The effect of racial, ethnic, and socioeconomic differences on visual impairment before cataract surgery [Text] / A.A. Awidi, F.A. Woreta, A. Sabit, H. Hu // *Ophthalmology.* – 2025. – Vol. 132. – No. 1. – P. 98-107. doi: 10.1016/j.ophtha.2024.07.021. Epub 2024 Jul 19. PMID: 39033857.
33. Ayaki, M. Improvements in sleep quality and gait speed after cataract surgery [Text] / M. Ayaki, M. Muramatsu, K. Negishi, K. Tsubota // *Rejuvenation Res.* – 2013. – Vol. 16. – No. 1. – P. 35-42. doi: 10.1089/rej.2012.1369. PMID: 23145881; PMCID: PMC3698682.

34. Bal, T. Influence of cataract morphology on straylight and contrast sensitivity and its relevance to fitness to drive [Electronic text] / T. Bal, T. Coeckelbergh, J. Van Looveren et al. // *Ophthalmologica*. – 2011. – Vol. 225. – No. 2. – P. 105-111. doi: 10.1159/000317076. Epub 2010 Sep 24. PMID: 20881445.
35. Beiko, G.H. Distribution of corneal spherical aberration in a comprehensive ophthalmology practice and whether keratometry can predict aberration values [Text] / G.H. Beiko, W. Haigis, A. Steinmueller // *J Cataract Refract Surg*. – 2007. – Vol. 33. – No. 5. – P. 848-858. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.01.035. PMID: 17466860.
36. Beiko, G.H.H. Normogram for aspheric IOL implantation based on pupil size, corneal asphericity and target refraction [Text] / G.H.H. Beiko, H. Zhao // Paper presented at: the ASCRS Annual Meeting. – Chicago, 2008.
37. Bellot, E. Effects of aging on low luminance contrast processing in humans [Electronic text] / E. Bellot, V. Coizet, J. Warnking et al. // *Neuroimage*. – 2016. – Vol. 139. – P. 415-426. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.06.051. Epub 2016 Jul 1. PMID: 27374727.
38. Brown, C.E. Redefining vision assessment [Text] / C.E. Brown, G.O. Waring, 4th, K.M. Rocha // *Curr Opin Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 31. – No. 4. – P. 225-233. doi: 10.1097/ICU.0000000000000664. PMID: 32398417.
39. Cabot, F. Objective assessment of crystalline lens opacity level by measuring ocular light scattering with a double-pass system [Electronic text] / F. Cabot, A. Saad, C. McAlinden et al. // *Am J Ophthalmol*. – 2013. – Vol. 55. – No. 4. – P. 629-635, 635.e1-2. doi: 10.1016/j.ajo.2012.11.005. Epub 2013 Jan 11. PMID: 23317652.
40. Chay, I.W. Higher order aberrations and visual function in a young Asian population of high myopes [Electronic text] / I.W. Chay, S.T. Lin, E.W. Lim et al. // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – No. 4.: e14901. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14901. PMID: 37151700; PMCID: PMC10161382.

41. Chua, J. Risk factors, and impact of undiagnosed visually significant cataract: the Singapore epidemiology of eye diseases study [Electronic text] / J. Chua, B. Lim, Fenwick E.K. et al. // PLoS One. – 2017. – Vol. 12. – No. 1: e0170804. doi: 10.1371/journal.pone.0170804. PMID: 28129358; PMCID: PMC5271362.

42. Chylack, L.T. Jr. The lens opacities classification system III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group [Text] / L.T. Jr. Chylack, J.K. Wolfe, D.M. Singer et al. // Arch Ophthalmol. – 1993. – Vol. 111. – No. 6. – P. 831-836. doi: 10.1001/archophth.1993.01090060119035. PMID: 8512486.

43. Cook, W.H. Comparison of higher order wavefront aberrations with four aberrometers [Text] / W.H. Cook, J. McKelvie, H.B. Wallace, S.L. Misra // Indian J Ophthalmol. – 2019. – Vol. 67. – No. 7. – P. 1030-1035. doi: 10.4103/ijo.IJO\_1464\_18. PMID: 31238402; PMCID: PMC6611280.

44. Daiber, H.F. Visual Acuity. 2023 [Electronic text] / H.F. Daiber, D.M. Gnugnoli // StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025. PMID: 33085445.

45. Datiles, M.B. 3<sup>rd</sup>/ Longitudinal study of age-related cataract using dynamic light scattering: loss of  $\alpha$ -Crystallin leads to nuclear cataract development [Electronic text] / M.B. Datiles 3<sup>rd</sup>, R.R. Ansari, J. Yoshida et al. // Ophthalmology. – 2016. – Vol. 123. – No. 2. – P. 248-254. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.10.007. Epub 2015 Nov 3. PMID: 26545319; PMCID: PMC4724511.

46. de Jong, B. Straylight in posterior polar cataract [Electronic text] / B. de Jong, I.J. van der Meulen, R. Lapid-Gortzak, T.J. van den Berg // J Cataract Refract Surg. – 2019. – Vol. 45. – No. 1. – P. 72-75. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.08.035. Epub 2018 Nov 1. PMID: 30391156.

47. de Souza, R.G. Association of optical cataract indices with cataract severity and visual function [Electronic text] / R.G. de Souza, A. Golla, M. Khan et al. // Int Ophthalmol. – 2022. – Vol. 42. – No.1. – P. 27-33. doi: 10.1007/s10792-021-01995-8. Epub 2021 Aug 10. PMID: 34378173.

48. de Waard, P.W. Intraocular light scattering in age-related cataracts [Text] / P.W. de Waard, J.K. IJspeert, T.J. van den Berg, P.T.de Jong // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* – 1992. – Vol. 33. – No. 3. – P. 618-625. PMID: 1544787
49. Dong, S. Comparisons of biometric parameters measurements by OPD-SCAN III and Pentacam in cataract [Electronic text] / S. Dong, R. Xu, Y. Wang et al. // *Photodiagnosis Photodyn Ther.* – 2024. – Vol. 45:103911. doi: 10.1016/j.pdpdt.2023.103911. Epub 2023 Dec 2. PMID: 38043761.
50. Erratum for «Subjective Quality of Vision» [Electronic text] // *J Refract Surg.* – 2024. – Vol. 40. – No. 1: e70. doi: 10.3928/1081597X-20231205-09. Epub 2024 Jan 1. Erratum for: *J Refract Surg.* 2012 May;28(5):313; author reply 313-4. doi: 10.3928/1081597X-20120501-06. PMID: 38190566.
51. Faria-Correia, F. Scheimpflug lens densitometry and ocular wavefront aberrations in patients with mild nuclear cataract [Text] / F. Faria-Correia, B. Lopes, T. Monteiro et al. // *J Cataract Refract Surg.* – 2016. – Vol. 42. – No. 3. – P. 405-411. doi: 10.1016/j.jcrs.2015.10.069. PMID: 27063521.
52. Fernández, J. From presbyopia to cataracts: a critical review on dysfunctional lens syndrome [Electronic text] / J. Fernández, M. Rodríguez-Vallejo, J. Martínez et al. // *J Ophthalmol.* – 2018. – 4318405. doi: 10.1155/2018/4318405. PMID: 30050689; PMCID: PMC6040261.
53. Flaharty, K. Association of contrast sensitivity with eye disease and vision-related quality of life [Text] / K. Flaharty, L.M. Niziol, M.A. Woodward et al. // *Am J Ophthalmol.* – 2024. – Vol. 261. – P. 176-186. doi: 10.1016/j.ajo.2024.01.021. Epub 2024 Jan 26. PMID: 38281569.
54. Fojcik, A. Assessing age-related changes in corneal densitometry parameters with anterior segment OCT speckle [Text] / A. Fojcik, A. Kosciólek, D.R. Iskander // *Transl Vis Sci Technol.* – 2023. – Vol. 12. – No. 7. – P. 4. doi: 10.1167/tvst.12.7.4. PMID: 37405797; PMCID: PMC10327963.
55. Fujikado, T. Age-related changes in ocular and corneal aberrations [Text] / T. Fujikado, T. Kuroda, S. Ninomiya et al. // *Am J Ophthalmol.* – 2004. – Vol. 138. – No. 1. – P. 143-146. doi: 10.1016/j.ajo.2004.01.051. PMID: 15234298.

56. Fukuda, S. Comparison of anterior segment and lens biometric measurements in patients with cataract [Text] / S. Fukuda, Y. Ueno, A. Fujita et al. // *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* – 2020. – Vol. 258. – No. 1. – P. 137-146. doi: 10.1007/s00417-019-04482-0. Epub 2019 Oct 20. PMID: 31631237.
57. Gali, H.E. Cataract grading systems: a review of past and present [Text] / H.E. Gali, R. Sella, N.A. Afshari // *Curr Opin Ophthalmol.* – 2019. – Vol. 30. – No. 1. – P. 13-18. doi: 10.1097/ICU.0000000000000542. PMID: 30489359.
58. Garcin, T. Using Optical Quality Analysis System for predicting surgical parameters in age-related cataract patients [Electronic text] / T. Garcin, D. Grivet, G. Thuret, P. Gain // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15. – No. 10. – e0240350. doi: 10.1371/journal.pone.0240350. PMID: 33044993; PMCID: PMC7549767.
59. Gatinel, D. Corneal topography and wavefront analysis [Electronic text] / D. Gatinel // *Albert and Jakobiec's Principles and Practice of Ophthalmology.* – 2021: n. pag.
60. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study [Electronic text] // *Lancet Glob Health.* – 2021. – Vol. 9. – No. 20. – e130-e143. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30425-3. Epub 2020 Dec 1. PMID: 33275950; PMCID: PMC7820390.
61. Goebels, S. Precision of NIDEK OPD-scan measurements [Text] / S. Goebels, M.P. Holzer, G.U. Auffarth // *J Refract Surg.* – 2006. – Vol. 22. – Suppl 9. – S1021-3. doi: 10.3928/1081-597X-20061102-02. PMID: 17444086.
62. Goto, S. Corneal topography for intraocular lens selection in refractive cataract surgery [Electronic text] / S. Goto, N. Maeda // *Ophthalmology.* – 2021. – Vol. 128. – No. 11: e142-e152. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.11.016. Epub 2020 Nov 19. PMID: 33221325.
63. Grewal, D.S. Correlation of nuclear cataract lens density using Scheimpflug images with Lens Opacities Classification System III and visual function [Text] / D.S. Grewal, G.S. Brar, SP. Grewal // *Ophthalmology.* – 2009. –

Vol. 116. – No. 8. – P. 1436-1443. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.03.002. Epub 2009 Jun 4. PMID: 19500847.

64. Guo, P. Study on the classification of Descemet membrane detachment after cataract surgery with AS-OCT [Text] / P. Guo, Y. Pan, Y. Zhang et al. // *Int J Med Sci.* – 2018. – Vol. 15. – No. 11. – P. 1092-1097. doi: 10.7150/ijms.26972. PMID: 30123045; PMCID: PMC6097261.

65. Gupta, M. Correlation of nuclear density using the Lens Opacity Classification System III versus Scheimpflug imaging with phacoemulsification parameters [Text] / M. Gupta, J. Ram, A. Jain // *J Cataract Refract Surg.* – 2013. – Vol. 39. – No. 12. – P. 1818-1823. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.05.052. PMID: 24286839.

66. Han, J. Comparison of short-term clinical outcomes after implantation of two monofocal, aspheric intraocular lenses [Electronic text] / J. Han, Y.E. Lee, N. Park et al. // *Diagnostics (Basel).* – 2024. – Vol. 14. – No. 24: 2862. doi: 10.3390/diagnostics14242862. PMID: 39767223; PMCID: PMC11674912.

67. Hashemi, H. The association between ocular biometric components and corneal aberrations [Text] / H. Hashemi, S. Mesbahi, A. Jamali et al. // *Clin Exp Optom.* – 2024. – Vol. 107. – No. 6. – P. 609-615. doi: 10.1080/08164622.2023.2258126. Epub 2023 Oct 16. PMID: 37844336.

68. Hatsusaka, N. Vision with retrodots and factors for declining visual function [Text] / N. Hatsusaka, N. Tanimura, M. Yamazaki et al. // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* – 2022. – Vol. 63. – No. 12. – P. 17. doi: 10.1167/iovs.63.12.17. PMID: 36374515; PMCID: PMC9669804.

69. Heinrich, S.P. Visual acuity, contrast sensitivity, colour vision: thoughts on psychophysical exams in neuro-ophthalmology [Text] / S.P. Heinrich, M.B. Hoffmann // *Klin Monbl Augenheilkd.* – 2018. – Vol. 235. – No. 11. – P. 1212-1217. German. doi: 10.1055/a-0715-7918. Epub 2018 Nov 20. PMID: 30458561.

70. Hwang, J.S. Utility of the optical quality analysis system for decision-making in cataract surgery [Text] / J.S. Hwang, Y.P. Lee, S.H. Bae et al. // *BMC Ophthalmol.* – 2018. – Vol. 18. – No. 1. – P. 231. doi: 10.1186/s12886-018-0904-1. PMID: 30176839; PMCID: PMC6122688.

71. Ibrahim, P. Repeatability of pyramidal aberrometer measurements in keratoconus and normal eyes [Text] / P. Ibrahim, J.F. Assaf, R. Bejjani et al. // *J Cataract Refract Surg.* – 2024. – Vol. 50. – No. 7. – P. 739-745. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001443. PMID: 38480607.
72. Ishiguro, N. Correlation between higher-order aberration and photophobia after cataract surgery [Electronic text] / N. Ishiguro, H. Horiguchi, S. Katagiri et al. // *PLoS One.* – 2022. – Vol. 17. – No. 9: e0274705. doi: 10.1371/journal.pone.0274705. PMID: 36107829; PMCID: PMC9477362.
73. José, F. Castejón-Mochón Statistical description of wave-front aberration in the human eye [Text] / José F. Castejón-Mochón, M.P. Cagigal, V.F. Canales et al. // *Opt. Lett.* – 2002. – Vol. 27. – P. 37-39.
74. Junlei, Zhao. Effect of higher-order aberrations and intraocular scatter on contrast sensitivity measured with a single instrument [Text] / Zhao Junlei, Fei Xiao, Haoxin Zhao // *Biomed. Opt. Express.* – 2017. – Vol. 8. – P. 2138-214.
75. Kalikivayi, V. Analyses on the distribution and influence of higher-order aberrations both clinically and experimentally among varied refractive errors [Text] / V. Kalikivayi, L. Kalikivayi, A. R.Ganesan // *Saudi J Ophthalmol.* – 2021. – Vol. 35. – No. 1. – P. 21-28. doi: 10.4103/1319-4534.325777. PMID: 34667928; PMCID: PMC8486037.
76. Kemraz, D. Age-Related Changes in Corneal Spherical Aberration [Text] / D. Kemraz, X.Y. Cheng, X. Shao et al. // *J Refract Surg.* – 2018. – Vol. 34. – No. 11. – P. 760-767. doi: 10.3928/1081597X-20181011-01. PMID: 30428096.
77. Kessel, L. Indication for cataract surgery. Do we have evidence of who will benefit from surgery? A systematic review and meta-analysis [Text] / L. Kessel, J. Andresen, D. Erngaard et al. // *Acta Ophthalmol.* – 2016. – Vol. 94. – No. 1. – P. 10-20. doi: 10.1111/aos.12758. Epub 2015 Jun 3. PMID: 26036605; PMCID: PMC4744664.
78. Kessel, L. Visual outcomes after surgery for childhood cataracts [Text] / L. Kessel, M.M. Hansen, D. Bach-Holm // *Acta Ophthalmol.* – 2020. – Vol. 98. – No. 6. – P. 579-584. doi: 10.1111/aos.14403. Epub 2020 Mar 16. PMID: 32180359.

79. Kim, J.S. Clinical application of a Scheimpflug system for lens density measurements in phacoemulsification [Text] / J.S. Kim, S.H. Chung, C.K. Joo // *J Cataract Refract Surg.* – 2009. – Vol. 35. – No. 7. – P. 1204-1209. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.02.032. Erratum in: *J Cataract Refract Surg.* 2009 Aug;35(8):1483. PMID: 19545809.
80. Kimlin, J.A. Nighttime driving in older adults: effects of glare and association with mesopic visual function [Text] / J.A. Kimlin, A.A. Black, J.M. Wood // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* – 2017. – Vol. 58. – No. 5. – P. 2796-2803. doi: 10.1167/iovs.16-21219. PMID: 28564700.
81. Kiuchi, G. Influence of refractive status and age on corneal higher-order aberration [Electronic text] / G. Kiuchi, T. Hiraoka, Y. Ueno et al. // *Vision Res.* – 2021. – Vol. 181. – P. 32-37. doi: 10.1016/j.visres.2020.12.007. Epub 2021 Jan 29. PMID: 33517073.
82. Kuborn, A.M. The impact of vision loss on attitudes toward autonomous vehicles: A vision-centric analysis [Text] / A.M. Kuborn, S.E. Hassan // *Optom Vis Sci.* – 2024. – Vol. 101. – No. 6. – P. 424-434. doi: 10.1097/OPX.0000000000002145. PMID: 38990241.
83. La Torre, A. Ocular development: A view from the front to the back of the eye [Electronic text] / A. La Torre, P. Lwigale // *Differentiation.* – 2023. – Vol. 132. – P. 1-3. doi: 10.1016/j.diff.2023.06.004. Epub 2023 Jun 29. PMID: 37407417.
84. Lee, J. Higher-order aberrations induced by nuclear cataract [Text] / J. Lee, M.J. Kim, H. Tchah // *J Cataract Refract Surg.* – 2008. – Vol. 34. – No. 12. – P. 2104-2109. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.08.029. Erratum in: *J Cataract Refract Surg.* 2009 Jan;35(1):4. PMID: 19027568.
85. Leroux, C.E. Defining metrics of visual acuity from theoretical models of observers [Text] / C.E. Leroux, C. Leahy, J. Dupuis et al. // *J Vis.* – 2024. – Vol. 24. – No. 4. – P. 14. doi: 10.1167/jov.24.4.14. PMID: 38625087; PMCID: PMC11044840.
86. Li, L. Correlations among parameters of Pentacam, iTrace, and LOCS III in assessing lens opacity [Electronic text] / L. Li, Y.J. Li, M. Liu, Y. Jin // *Expert*

Rev Med Devices. – 2024. – Vol. 21. – No. 10. – P. 971-976. doi: 10.1080/17434440.2024.2355294. Epub 2024 Sep 4. PMID: 39233346.

87. Li, X. Effect of cataract incision type on corneal spherical aberration [Electronic text] / X. Li, X. Cao, X.R. Hou et al. // *Medicine (Baltimore)*. – 2022. – Vol. 101. – No. 35: e30292. doi: 10.1097/MD.00000000000030292. PMID: 36107610; PMCID: PMC9439758.

88. Li, Y. Evaluation value of subjective visual quality examination on surgical indications of the early cataracts based on objective scatter index values [Electronic text] / Y. Li, L. Jin, M. Wu, Y. Huang // *Front Med (Lausanne)*. – 2022. – No. 9:1075693. doi: 10.3389/fmed.2022.1075693. PMID: 36582278; PMCID: PMC9792837.

89. Li, Z. Analysis of the dysfunctional lens index as a novel criterion for surgical decision-making in age-related cataracts [Electronic text] / Z. Li, R. Zhang, X. Wu et al. // *Semin Ophthalmol*. – 2023. – Vol. 38. – No. 7. – P. 617-624. doi: 10.1080/08820538.2023.2176241. Epub 2023 Feb 14. PMID: 36788652.

90. Liang, J. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor [Text] / J. Liang, B. Grimm, S. Goelz, J.F. Bille // *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. – 1994. – Vol. 11. – No. 7. – P. 1949-1957. doi: 10.1364/josaa.11.001949. PMID: 8071736.

91. Liao, X. Repeatability of i.Profiler for measuring wavefront aberrations in healthy eyes [Electronic text] / X. Liao, M.J. Wang, Q.Q. Tan, C.J. // *Lan Int Ophthalmol*. – 2022. – Vol. 42. – No. 8. – P. 2525-2531. doi: 10.1007/s10792-022-02300-x. Epub 2022 Apr 5. PMID: 35381898.

92. Lim, D.H. Measurement of lens density using Scheimpflug imaging system as a screening test in the field of health examination for age-related cataract [Electronic text] / D.H. Lim, T.H. Kim, E.S. Chung, T.Y. Chung // *Br J Ophthalmol*. – 2015. – Vol. 99. – No. 2. – P. 184-191. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-305632. Epub 2014 Sep 9. PMID: 25204988.

93. Liu, X. Associations of cataract, cataract surgery with dementia risk: A systematic review and meta-analysis of 448,140 participants [Electronic text] / X.

Liu, Z. Guan, S. Liang et al. // *Eur J Clin Invest.* – 2024. – Vol. 54. – No. 2:e14113. doi: 10.1111/eci.14113. Epub 2023 Oct 24. PMID: 37874275.

94. López-de la Rosa, A. Senile Cataract formation does not affect crystalline lens thickness [Electronic text] / A. López-de la Rosa, C. Díez-Montero, E. Martínez-Plaza et al. // *Ophthalmol Ther.* – 2024. – Vol. 13. – No. 3. – P. 819-830. doi: 10.1007/s40123-024-00882-6. Epub 2024 Jan 25. PMID: 38273047; PMCID: PMC10853159.

95. Mackenbrock, L.H.B. Cataract classification systems: A Review. [Electronic text] / L.H.B. Mackenbrock, G. Labuz, I.D. et al. // *Baur Klin Monbl Augenheilkd.* – 2024. – Vol. 241. – No. 1. – P. 75-83. English. doi: 10.1055/a-2003-2369. Epub 2024 Jan 19. PMID: 38242135.

96. Martínez-Plaza, E. Characterization of dysfunctional lens index and opacity grade in a healthy population [Text] / E. Martínez-Plaza, P. Ruiz-Fortes, R. Soto-Negro et al. // *Diagnostics (Basel).* – 2022. – Vol. 12. – No. 5. – P. 1167. doi: 10.3390/diagnostics12051167. PMID: 35626322; PMCID: PMC9140515.

97. Mathur, A. Effect of age on components of peripheral ocular aberrations [Electronic text] / A. Mathur, D.A. Atchison, J. Tabernero // *Optom Vis Sci.* – 2012. – Vol. 89. – No. 7:E967-76. doi: 10.1097/OPX.0b013e31825da172. PMID: 22705777.

98. Mats, Lundström The changing pattern of cataract surgery indications: A 5-year study of 2 cataract surgery databases [Text] / M. Lundström, Goh Pik-Pin // *Ophthalmology.* – 2015. – Vol. 122, Issue 1. – P. 31-38, ISSN 0161-6420, <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.07.047>.

99. Mechó-García, M. The influence of accommodative demand on ocular aberrations: a study of zernike coefficients repeatability and variability [Electronic text] / M. Mechó-García, M. Arcas-Carbonell, E. Orduna-Hospital et al. // *Curr Eye Res.* – 2024. – Vol. 49. – No. 12. – P. 1237-1246. doi: 10.1080/02713683.2024.2378009. Epub 2024 Jul 14. PMID: 39004896.

100. Mishor, G. Higher order aberrations and age-related cataract: a pre- and post-operative study: PhD Thesis [Electronic Text] / G. Mishor. – Cardiff University, 2012. – <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/39687>

101. Mohankumar, A. Adaptive optics [Electronic text] / A. Mohankumar, K. Tripathy // StatPearls [Internet]. – 2023. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan –. PMID: 36944008.
102. Montés-Micó, R. Crystalline lens optical dysfunction through aging [Text] / R. Montés-Micó, J.L. Alió, P. Schimchak, H.P. Negri // Ophthalmology. – 2005. – Vol. 112. – No. 11. – P. 2022-2029. doi: 10.1016/j.ophtha.2005.04.034. Epub 2005 Sep 23. PMID: 16183126.
103. Moorfields IOL Study Group; Allan B. Binocular implantation of the Tecnis Z9000 or AcrySof MA60AC intraocular lens in routine cataract surgery: prospective randomized controlled trial comparing VF-14 scores [Text] / B. Allan // J Cataract Refract Surg. – 2007. – Vol. 33. – No. 9. – P. 1559-1564. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.04.039. PMID: 17720070.
104. Namba, H. Age-Related changes in ocular aberrations and the yamagata study (Funagata) [Text] / H. Namba, R. Kawasaki, A. Sugano et al. // Cornea. – 2017. – Vol. 36. – Suppl 1. – S34-S40. doi: 10.1097/ICO.0000000000001386. PMID: 28937417.
105. Nguyen, H. 15-year incidence of driving cessation and associated risk factors: The Blue Mountains Eye Study [Electronic text] / H. Nguyen, G.L. Di Tanna, V. Do // Maturitas. – 2023. – Vol. 177:107796. doi: 10.1016/j.maturitas.2023.107796. Epub 2023 Jul 13. PMID: 37454471.
106. Owsley, C. Vision and aging [Text] / C. Owsley // Annual Review of Vision Science. – 2016. – Vol. 2. – No. 1. – P. 255-271.
107. Özer, Ö. The effect of cataract surgery on stereoacuity, balance, and falls in patients with senile cataract [Electronic text] / Ö. Özer, Ö. Dursun, P. Eroz, E.S. Guclu // Eye Contact Lens. – 2025. – Vol. 51. – No. 4. – P. 171-177. doi: 10.1097/ICL.0000000000001168. Epub 2025 Jan 24. PMID: 39854643.
108. Pan, A.P. Correlation among lens opacities classification system III grading, visual function index-14, pentacam nucleus staging, and objective scatter index for cataract assessment [Electronic text] / A.P. Pan, Q.M. Wang, F. Huang et

al. // *Am J Ophthalmol.* – 2015. – Vol. 159. – No. 2. – P. 241-247.e2. doi: 10.1016/j.ajo.2014.10.025. Epub 2014 Nov 1. PMID: 25448993.

109. Pérez-Sanz, L. Optical and aberrometric evaluation of a new enhanced monofocal intraocular lens with isofocal optic design [Electronic text] / L. Perez-Sanz, C. Charbel, F. Poyales, N. Garzón // *Ophthalmic Physiol Opt.* – 2024. – Vol. 44. – No. 3. – P. 584-592. doi: 10.1111/opo.13287. Epub 2024 Feb 13. PMID: 38349231.

110. Pesudovs, K. Meta-analysis of studies comparing wavefront aberration and visual performance of spherical and aspheric intraocular lenses [Text] / K. Pesudovs // Paper presented at: ESCRS; September. – Berlin, 2008.

111. Reus, N.J. Changes in straylight after cataract surgery [Text] / N.J. Reus, T.J.T.P. van den Berg // *J Cataract Refract Surg.* – 2024. – Vol. 50. – No. 3. – P. 244-249. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001349. PMID: 37882099; PMCID: PMC10878460.

112. Ríos, H.A. Additional measures of macular function beyond visual acuity [Electronic text] / H.A. Ríos, M. Lövestam-Adrian, S. et al. // *Plainis Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* – 2024. – Vol. 262. – No. 6. – P. 1723-1736. doi: 10.1007/s00417-023-06272-1. Epub 2023 Nov 8. PMID: 37938378; PMCID: PMC11106142.

113. Ribeiro, F. Definition and clinical relevance of the concept of functional vision in cataract surgery ESCRS Position Statement on Intermediate Vision: ESCRS Functional Vision Working Group [Text] / F. Ribeiro, B. Cochener, T. Kohnen et al. *J Cataract Refract Surg.* – 2020. – Vol. 46. – Suppl 1. – S1-S3. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000096. PMID: 32126025.

114. Rich, W. A Review of lens biomechanical contributions to presbyopia [Electronic text] / W. Rich, M.A. Reilly // *Curr Eye Res.* – 2023. – Vol. 48. – No. 2. – P. 182-194. doi: 10.1080/02713683.2022.2088797. Epub 2022 Jun 17. PMID: 35713207.

115. Ritschel, T. Glare: real-time dynamic simulation of the scattering in the human eye [Electronic text] / T. Ritschel, M. Ihrke, J.R. Frisvad, J. Temporal. – 2009. – <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2009.01357>

116. Rocha, K.M. Spherical aberration and depth of focus in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses: a prospective randomized study [Electronic text] / K.M. Rocha, E.S. Soriano, W. Chamon et al. // *Ophthalmology*. – 2007. – Vol. 114. – No. 11. – P. 2050-2054. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.01.024. Epub 2007 Apr 19. PMID: 17445897.

117. Rodríguez, P. Image quality eigenfunctions for the human eye [Text] / P. Rodríguez, R. Navarro, J.J. Rozema // *Biomed Opt Express*. – 2019. – Vol. 10. – No. 11. – P. 5818-5831. doi: 10.1364/BOE.10.005818. PMID: 31799049; PMCID: PMC6865120.

118. Rosenberg, E.D. Reply: Light as a drug: prospective randomized evaluation and comparison of the effect of decreased illumination on visual recovery following cataract surgery [Text] / E.D. Rosenberg, L.S. Shah, K.C. Sippel, A.S. Nattis // *J Cataract Refract Surg*. – 2024. – Vol. 50. – No. 3. – P. 315-316. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001402. PMID: 38270477; PMCID: PMC10878444.

119. Ruan, X. The structure of the lens and its associations with the visual quality [Electronic text] / X. Ruan, Z. Liu, L. Luo, Y. Liu // *BMJ Open Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 5. – No. 1: e000459. doi: 10.1136/bmjophth-2020-000459. PMID: 33024825; PMCID: PMC7511618.

120. Sachdev, N. Higher-order aberrations of lenticular opacities [Text] / N. Sachdev, S.E. Ormonde, T. Sherwin, C.N. McGhee // *J Cataract Refract Surg*. – 2004. – Vol. 30. – No. 8. – P. 1642-1648. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.02.048. PMID: 15313285.

121. Sánchez, R.F. Implementation of the frequency scatter index in clinical commercially available double-pass systems [Electronic text] / R.F. Sánchez, C.E. García-Guerra, J.A. Martínez-Roda // *Curr Eye Res*. – 2022. – Vol. 47. – No. 3. – P. 391-398. doi: 10.1080/02713683.2021.2002908. Epub 2021 Nov 18. PMID: 34738850.

122. Sánchez, R.F. Modulation transfer function formula for different age ranges [Text] / R.F. Sánchez, F.J. Puertas, L.A. Issolio // *J Opt Soc Am A Opt Image*

Sci Vis. – 2023. – Vol. 40. – No. 10. – P. 1979-1985. doi: 10.1364/JOSAA.494721. PMID: 37855554.

123. Schmid, R. Analysis of higher order aberrations in recently developed wavefront-shaped IOLs [Electronic text] / R. Schmid, A.F. Borkenstein // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2022. – Vol. 260. – No. 2. – P. 609-620. doi: 10.1007/s00417-021-05362-2. Epub 2021 Aug 9. PMID: 34370067.

124. Sedaghat, M.R. Dysfunctional lens syndrome [Electronic text] / M.R. Sedaghat, H. Momeni-Moghaddam, S.S. Naroo et al. // Int Ophthalmol. – 2018. – Vol. 38. – No. 4. – P. 1759-1763. doi: 10.1007/s10792-017-0622-3. Epub 2017 Jul 6. PMID: 28685418.

125. Seki, Y. Analyzing effect of waterclefs on visual functions via optical simulations [Text] / Y. Seki, T. Kawamorita, N. Yamamoto et al. // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2022. – Vol. 63. – No. 2. – P. 22. doi: 10.1167/iovs.63.2.22. PMID: 35147660; PMCID: PMC8842529.

126. Sharlin, P.K. Clinical and visual outcomes of four presbyopia correcting intraocular lenses [Text] / P.K. Sharlin, S. Patel, C. Kuritza et al. // J Ophthalmic Vis Res. – 2024. – Vol. 19.- No. 2. – P. 152-160. doi: 10.18502/jovr.v19i2.11034. PMID: 39055501; PMCID: PMC11267142.

127. Shen, L. Analysis of the relationship between lens morphology and aberrations in patients with myopia: a cross-sectional study [Electronic text] / L. Shen, C. Wei, W. Yang et al. // Int Ophthalmol. – 2023. – Vol. 43. – No. 12. – P. 4911-4919. doi: 10.1007/s10792-023-02894-w. Epub 2023 Oct 13. PMID: 37828345.

128. Sperduto, R.D. The prevalence of nuclear, cortical, and posterior subcapsular lens opacities in a general population sample [Text] / R.D. Sperduto, R. Hiller // Ophthalmology. – 1984. – Vol. 91. – No. 7. – P. 815-818. doi: 10.1016/s0161-6420(84)34233-6. PMID: 6472815.

129. Tabatabaei, S.A. Accuracy of swept-source optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for evaluation of posterior lens capsule in traumatic cataract [Electronic text] / S.A. Tabatabaei, M. Soleimani, H. Etesali,

M. Naderan // *Am J Ophthalmol.* – 2020. – Vol. 216. – P. 55-58. doi: 10.1016/j.ajo.2020.03.030. Epub 2020 Apr 2. PMID: 32247777.

130. Tan, Q.Q. Objective optical quality in eyes with customized selection of aspheric intraocular lens implantation [Text] / Q.Q. Tan, J. Lin, J. Tian et al. // *BMC Ophthalmol.* – 2019. – Vol. 19. – No. 1. – P. 152. doi: 10.1186/s12886-019-1162-6. PMID: 31319806; PMCID: PMC6639902.

131. Tan, Q.Q. Impact of different clear corneal incision sizes on anterior corneal aberration for cataract surgery [Text] / Q.Q. Tan, J. Tian, X. Liao et al. // *Arq Bras Oftalmol.* – 2020. – Vol. 83. – No. 6. – P. 478-484. doi: 10.5935/0004-2749.20200089. PMID: 33470274.

132. Tanimura, N. Visual function and functional decline in patients with waterclefts [Text] / N. Tanimura, N. Hatsusaka, H. Miyashita et al. // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* – 2019. – Vol. 60. – No. 10. – P. 3652-3658. doi: 10.1167/iovs.19-26793. PMID: 31469405.

133. Thibos, L.N. Calculation of the geometrical point-spread function from wavefront aberrations [Electronic text] / L.N. Thibos // *Ophthalmic Physiol Opt.* – 2019. – Vol. 39. – No. 4. – P. 232-244. doi: 10.1111/opo.12619. Epub 2019 Jun 6. PMID: 31172533.

134. Thibos, L.N. Principles of Hartmann-Shack aberrometry [Text] / L.N. Thibos // *J Refract Surg.* – 2000. – Vol. 16. – No. 5. – S563-565. doi: 10.3928/1081-597X-20000901-14. PMID: 11019873.

135. Ungewiss, J. Does intraocular straylight predict night driving visual performance? Correlations between straylight levels and contrast sensitivity, halo size, and hazard recognition distance with and without glare [Electronic text] / J. Ungewiss, U. Schiefer, P. Eichinger et al. // *Front Hum Neurosci.* – 2022. – Vol. 16. – P. 910620. doi: 10.3389/fnhum.2022.910620. PMID: 36177386; PMCID: PMC9514855.

136. Van den Berg, T.J.T.P. Intraocular light scatter, reflections, fluorescence and absorption: what we see in the slit lamp [Text] / T.J.T.P. Van den Berg // *Ophthalmic Physiol Opt.* – 2018. – Vol. 38. – No. 1. – P. 6-25. doi: 10.1111/opo.12426.

137. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study., GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Global estimates on the number of people blind or visually impaired by cataract: a meta-analysis from 2000 to 2020 [Electronic text] // *Eye* 38, 2156-2172 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41433-024-02961-1>.

138. Wan, K.H. Wavefront aberrometry repeatability and agreement-A comparison between Pentacam AXL Wave, iTrace and OPD-Scan III [Electronic text] / K.H. Wan, X.L. Liao, M. Yu et al. // *Ophthalmic Physiol Opt.* – 2022. – Vol. 42. – No. 6. – P. 1326-1337. doi: 10.1111/opo.13047. Epub 2022 Sep 14. PMID: 36102169.

139. Wang, Y.H. Age-related changes of lens thickness and density in different age phases [Text] /Y.H. Wang, J. Zhong, X.M. Li // *Int J Ophthalmol.* – 2022. – Vol. 15. – No. 10. – P. 1591-1597. doi: 10.18240/ijo.2022.10.05. PMID: 36262855; PMCID: PMC9522560.

140. Wang, J.M. Effects of different types of intraocular lens implantation on patient's visual quality and function after phacoemulsification [Text] / J.M. Wang, J.B. Che, X.W. Yuan, J.B. Zhang // *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* – 2024. – Vol. 104. – No. 16. – P. 1391-1396. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn112137-20231125-01198. PMID: 38644289.

141. Watson, A.B. A unified formula for light-adapted pupil size [Text] / A.B. Watson, J.I. Yellott // *J Vis.* – 2012. – Vol. 12. – No. 10. – P. 12. doi: 10.1167/12.10.12. PMID: 23012448.

142. Wu, B. Comparative analysis of accuracy between low-frequency ultrasound biomicroscopy and 14-MHz ultrasonography with tissue harmonic imaging for the evaluation of the posterior lens capsule in traumatic cataracts [Text] / B. Wu, X. Yuan, S. Chen // *BMC Ophthalmol.* – 2021. – Vol. 21. – No. 1. – P. 375. doi: 10.1186/s12886-021-02094-z. PMID: 34686169; PMCID: PMC8540069.

143. Wu, T. The impact of corneal higher-order aberrations on dynamic visual acuity post cataract surgery [Text] / T. Wu, Y. Wang, Y. Li et al. // *Front*

Neurosci. – 2024. – Vol. 18. – P. 1321423. doi: 10.3389/fnins.2024.1321423. PMID: 38803687; PMCID: PMC11128552.

144. Yazar, S. Comparison of monochromatic aberrations in young adults with different visual acuity and refractive errors [Electronic text] / S. Yazar, A.W. Hewitt, H. Forward et al. // *J Cataract Refract Surg.* – 2014. – Vol. 40. – No. 3. – P. 441-449. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.07.055. Epub 2014 Jan 11. PMID: 24417894.

145. Yi, Gao. Changes of tuning but not dynamics of contrast adaptation with age [Text] / Gao Yi, M.A. Webster // *Vis Res.* – 2021. – Vol. 187. – P. 129-136, ISSN 0042-6989, <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.03.015>.

146. Yue, X. Statistical optimal parameters obtained by using clinical human ocular aberrations for high-precision aberration measurement [Text] / X. Yue, Y. Yang, S. Chen, H. Dai // *Int Ophthalmol.* – 2024. – Vol. 44. – No. 1. – P. 292. doi: 10.1007/s10792-024-03176-9. PMID: 38940969.

147. Zhang, H. Large-dynamic-range ocular aberration measurement based on deep learning with a shack-hartmann wavefront sensor [Text] / H. Zhang, J. Zhao, H. Chen et al. // *Sensors (Basel).* – 2024. – Vol. 24. – No. 9. – P. 2728. doi: 10.3390/s24092728. PMID: 38732834; PMCID: PMC11086325.

148. Zhang, J. Profiles of intraocular higher-order aberrations in healthy phakic eyes: prospective cross-sectional study [Text] / J. Zhang, G. Jin, L. Jin et al. // *Ann Transl Med.* – 2020. – Vol. 8. – No. 14. – P. 850. doi: 10.21037/atm-20-1023. PMID: 32793694; PMCID: PMC7396745.

149. Zhao, F. Clinical application of 25-mhz ultrasound biomicroscopy for lens opacity degree measurements in phacoemulsification [Text] / F. Zhao, J. Yu, Q. Yan et al. // *Transl Vis Sci Technol.* – 2019. – Vol. 8. – No. 4. – P. 18. doi: 10.1167/tvst.8.4.18. PMID: 31402998; PMCID: PMC6685485.

150. Zhao, J. Effect of higher-order aberrations and intraocular scatter on contrast sensitivity measured with a single instrument [Text] / J. Zhao, F. Xiao, H. Zhao et al. // *Biomed Opt Express.* – 2017. – Vol. 8. – No. 4. – P. 2138-2147. doi: 10.1364/BOE.8.002138. PMID: 28736660; PMCID: PMC5516809

151. Zhou, S. Characteristics and influencing factors of corneal higher-order aberrations in patients with cataract [Text] / S. Zhou, X. Chen, J. Ortega-Usobiaga et al. // BMC Ophthalmol. – 2023. – Vol. 23. – No. 1. – P. 313. doi: 10.1186/s12886-023-03067-0. PMID: 37438729; PMCID: PMC10337181.

152. Zhou, S. Characteristics and influencing factors of corneal higher-order aberrations in patients with cataract [Text] / S. Zhou, X. Chen, J. Ortega-Usobiaga et al. // BMC Ophthalmol. – 2023. – Vol. 23. – No. 1. – P. 313. doi: 10.1186/s12886-023-03067-0. PMID: 37438729; PMCID: PMC10337181.

153. Zhu, X. Objective functional visual outcomes of cataract surgery in patients with good preoperative visual acuity [Electronic text] / X. Zhu, H. Ye, W. He et al. // Eye. – 2017. – Vol 31. – P. 452-459. <https://doi.org/10.1038/eye.2016.239>