Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации

На правах рукописи

Костин Олег Александрович

КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕКЦИИ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА В ЛАЗЕРНОЙ ХИРУРГИИ АНОМАЛИЙ РЕФРАКЦИИ

3.1.5. Офтальмология

Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук

Научный консультант:

академик РАН,

доктор медицинских наук,

профессор

Тахчиди Христо Периклович

Москва - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ О	
КОРРЕКЦИИ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА (АВП) В	
ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКЦИОННОЙ ХИРУРГИИ	20
1.1. Частота встречаемости АВП при миопии и сложном	
миопическом астигматизме	20
1.2. Факторы, влияющие на развитие АВП	21
1.3. Влияние АВП на качество зрения при миопии и сложном	
миопическом астигматизме	24
1.4. Экспериментальное изучение АВП	26
1.5. Диагностика АВП у пациентов с миопией и сложным	
миопическим астигматизмом	30
1.6. Влияние эксимерных лазерных кераторефракционных операций	
на АВП при коррекции миопии и сложного миопического	
астигматизма	32
1.7. Характер изменений АВП при различных типах эксимерного	
лазера	34
1.8. Виды операций для коррекции АВП при миопии и сложном	
миопическом астигматизме	35
1.8.1. Поверхностная эксимерная лазерная абляция роговицы	35
1.8.2. Интрастромальная эксимерная лазерная абляция роговицы с	
использованием механического микрокератома	37
1.8.3. Интрастромальная эксимерная лазерная абляция роговицы с	
использованием фемтосекундного лазерного микрокератома	39
1.8.4. Фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула	40
1.9. Персонализированная коррекция лазерной кераторефракционной	
операцией	42

1.10. Комбинированные профили эксимерной лазерной абляции	
роговицы	46
1.11. Селективная коррекция АВП	47
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
2.1. Дизайн исследования	50
2.2. Экспериментальное исследование	52
2.2.1. Математическое и компьютерное моделирование оптики глаза	52
2.2.2. Характеристика искусственно созданной роговицы глаза для	
моделирования различных режимов селективной абляции	53
2.3. Общая характеристика обследованных пациентов	57
2.4. Клиническое и офтальмологическое обследование пациентов	58
2.5. Методы исследования АВП	63
2.6. Методы лазерной коррекции АВП	66
2.6.1. Стандартная операция LASIK	69
2.6.2. Операция топографический LASIK	72
2.6.3. Операция Wavefront-Guided LASIK	74
2.6.4. Операция Wavefront-Guided Epi-LASIK	76
2.6.5. Операция Wavefront-Guided FemtoLASIK	79
2.6.6. Фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула	
(FLEx)	82
2.6.7. Микроинвазивная фемтосекундная лазерная экстракция	
роговичного лентикула (SMILE)	84
2.6.8. Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией	
трефойла	86
2.6.9. Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией	
КОМЫ	88
2.6.10. Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией	
квадрафойла и вторичного астигматизма	90
2.6.11. Операция LASIK с коррекцией сферической аберрации	92

2.7. Методы статистической обработки полученных результатов.	95
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО	
ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕКЦИЙ АВП	97
3.1. Результаты математического и компьютерного	
моделирования оптики глаза	97
3.2. Результаты вычисления функции аберраций оптической	
системы	101
3.3. Результаты математического моделирования операции	
LASIK	103
3.4. Результаты расчета геометрических аберраций волнового	
фронта на основе математической и компьютерной модели глаза.	105
3.4.1. Значение формы передней поверхности роговицы	105
3.4.2. Измеряемые и подбираемые параметры модели глаза до	
операции	108
3.4.3. Создание неосесимметричной формулы для нахождения	
глубины моделируемой абляции	112
3.4.4. Расчет формы передней поверхности роговицы и аберраций	
моделируемого глаза после лечения	113
3.5. Результаты изменений АВП при различных режимах	
селективной абляции в эксперименте	114
3.6. Результаты биомеханического моделирования расчетной	
конечноэлементной роговицы глаза для изучения ее состояния	
до и после операции FemtoLASIK	117
3.7. Результаты моделирования напряженно-деформированного	
состояния роговицы глаза под действием внутриглазного	
давления	122

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ	
АЛГОРИТМОВ АБЛЯЦИИ РОГОВИЦЫ, ФОРМИРОВАНИЯ	
РОГОВИЧНОГО ЛОСКУТА И ЛЕНТИКУЛА В РАЗВИТИИ	
ИНДУЦИРОВАННЫХ АВП	132
4.1. Результаты стандартного алгоритма абляции и изменения	
АВП при операции LASIK у пациентов 1-ой группы	132
4.2. Результаты топографического алгоритма абляции и	
изменений АВП при операции топографический LASIK у	
пациентов 2-ой группы	135
4.3. Результаты Wavefront-Guided алгоритма абляции и	
изменений АВП при операции Wavefront-Guided LASIK у	
пациентов 3-ей группы	139
4.4. Результаты Wavefront-Guided алгоритма абляции и	
изменений АВП при операции Wavefront-Guided Epi-LASIK у	
пациентов 4-ой группы.	143
4.5. Результаты Wavefront-Guided алгоритма абляции и	
изменений АВП при Wavefront-Guided FemtoLASIK у пациентов	
5-ой группы	149
4.6. Результаты коррекции АВП при фемтосекунлной лазерной	
экстракции роговичного лентикула у пациентов 6-ой группы	157
4.7. Результаты копрекции АВП при микроинвазивной	10,
фемтосекунлной дазерной экстракции роговичного дентикуда	
у пониентов 7-ой группы	161
	101
4.6. Сравнительная характеристика результатов хирургического	
лечения пациентов с миопиеи и сложным миопическим	164
	104
і лава 5. Селективная коррекция аберрации	4.0.0
высшего порядка	190
5.1. Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective	

аберраций 3 порядка (трефойл) у пациентов 8 группы	190
5.2. Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective	
аберраций 3 порядка (кома) у пациентов 9-ой группы	194
5.3 Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective	
аберраций 4 порядка (квадрафойл и вторичный астигматизм)	
у пациентов 10-ой группы	196
5.4 Результаты коррекции аберраций 4 порядка (сферическая	
аберрация) у пациентов 11-ой группы	199
5.5. Сравнительная характеристика результатов хирургического	
лечения с селективной коррекцией АВП у пациентов с	
миопией и сложным миопическим астигматизмом	207
ГЛАВА 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	226
выводы	238
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	240
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	242
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	244

введение

Актуальность темы исследования

Глаз человека имеет оптические дефекты, называемые аберрациями, которые искажают изображение на сетчатке и в определенной мере снижают качество зрения [19]. Современные ученые выделяют аберрации низшего (2-го) и высшего (3-го и более) порядков [229, 250, 252, 515]. К аберрациям глаза низшего порядка относят миопию, гиперметропию и астигматизм, которые успешно корригируются очковой оптикой. К аберрациям высшего порядка (АВП) относят кому, трефойл, квадрафойл, вторичный астигматизм и сферическую аберрацию [229, 250, 252, 318, 597]. Проблема современной офтальмологии заключается в том, что при правильной коррекции [7] АВП изображения расплываются [168] или двоятся [7], появляются блики [649] искажения изображения по периферии [168]. Оптические аберрации глаза уменьшают контрастность изображения [166, 318, 387] и вызывают фазовые сдвиги пространственного ретинального образа [174, 435]. В результате качество изображения [195, 543, 559] затрудняет распознавание сложных объектов, таких как буквы и лица [19, 524].

Оптические аберрации глаза уменьшают контрастность изображения и вызывают фазовые сдвиги пространственного ретинального образа. В результате качество изображения затрудняет распознавание сложных объектов, таких как буквы и лица.

Степень разработанности темы исследования

Эпидемиологические исследования 24000 человек в Европе показали, что АВП есть как у здоровых людей, так и у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом [282].

К факторам, влияющим на развитие АВП, относят: генетическую предрасположенность, молодой и средний возраст, форму роговицы, суточное изменение внутриглазного давления, аккомодацию, миопию, астигматизм, медикаментозное смещение центра зрачка и др.

Степень участия описанных выше факторов развития АВП различны, механизмы их взаимодействия остаются до конца не изученными, поэтому проводятся экспериментальные исследования для измерения аберраций волнового фронта и более глубокого понимания их природы, практического применения в хирургической и оптической коррекции рефракции.

В научной литературе представлены разные модели глаза: анатомически точная модель, модель оптической дифракции глаза, модель глаза с большим зрачком. Общеизвестна модель глаза из полиметилметакрилата [230]. R. Legras и соавт. [374] использовали цифровую модель глаза, полученную путём вычисления оптики глаза с корректирующей линзой. Схематическая модель глаза использована для определения теоретического предела фовеолярного зрения и имеет ограничения в зависимости от диаметра зрачка [547]. В научных работах по лазерной рефракционной хирургии представлены способы экспериментального моделирования для оценки абляции [15].

Сравнивая модели абляции на плоских и сферических поверхностях, были обнаружены значительные различия между лазерами в форме и глубине шаблонов абляции [240]. Модель «летающего лазерного пятна» обеспечила улучшение профиля абляции, компенсирующее изменение асферичности роговицы и индукции сферической аберрации [415, 190]. Разработка 3D модели конечных элементов роговицы [55, 115] относится к пациент-ориентированной и позволяет оценить хирургически индуцированные изменения упругих свойств роговицы после рефракционной хирургии [532].

Экспериментальные изучения АВП имеют значение для разработки индивидуализированных алгоритмов абляции роговицы, дальнейшего развития рефракционной хирургии, поиска новых способов улучшения конечного результата.

В диагностике АВП большую роль играет аберрометрия. В настоящее время используют разные конструкции аберрометров, позволяющие определить полиномы Цернике до 6 порядка на основе принципа Tscherning [439, 359, 421, 459, 533]. Значительная часть современных публикаций посвящена сравнению

аберрометров, работающих на разных принципах [197, 202, 227, 344, 428, 454, 455, 531, 599, 623].

Измерения в виде полиномов Цернике, полученные с помощью аберрометров, являются функционально разными, и каждый из аберрометров имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от конкретного применения [455].

Фундаментальные работы физиков по аберрометрии и адаптивной оптике, проведенные в 90-х гг. XX века легли в основу разработки аппаратного обеспечения персонализированной абляции при использовании эксимерного лазера. В настоящее время офтальмохирурги используют: ФРК, LASEK, Epi-LASIK, LASIK, FemtoLASIK, FLEx, SMILE.

эксимерлазерной хирургии персонализированная В топографическая абляция при коррекции индуцированного нерегулярного астигматизма И децентрации оптической зоны получила широкое развитие [17, 31, 336, 353, 568]. Совершенствование проводить топографически технологии позволило поддержанную абляцию при аномалии рефракции на ранее неоперированных глазах [17, 20, 138, 229, 242, 335]. Формирование центральной регулярной поверхности роговицы, тем не менее, вносит изменение в баланс общих АВП, требующее детального анализа.

В персонализированной эксимерлазерной хирургии роговицы с коррекцией аберраций волнового фронта получили развитие технологии Wavefront-Guided LASIK [460] и Epi-LASIK [498], которые предназначены для коррекции предоперационных показателей АВП [460]. Однако, полученные послеоперационные результаты побуждают офтальмохирургов к модификации, поиску новых подходов и оптимизации показаний к применению данных технологий [103, 528, 533, 586, 551].

В настоящее время оптимальные алгоритмы коррекции АВП не определены. В научной литературе отсутствуют контролируемые исследования селективного воздействия на АВП с помощью эксимерного лазера. Отсутствует дифференцированный подход в коррекции АВП от предоперационного уровня АВП, выбора способа хирургического вмешательства, вида лазерного излучения при удалении роговичной ткани с рефракционной целью.

Цель исследования

Разработать концепцию персонализированного подхода в лазерной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма на основе селективной коррекции аберраций высшего порядка для повышения эффективности результатов лечения.

Задачи

1. Разработать компьютерную модель глаза на основе математических конечных элементов для оценки функций аберраций роговицы по системе полиномов Цернике.

2. Оценить результаты изменений аберраций высшего порядка при режиме стандартной абляции, Wavefront-Guided по персонализированному файлу абляции и Wavefront-Guided Selective по селективному персонализированному файлу абляции в эксперименте на контактных линзах.

3. Исследовать изменение биомеханических характеристик конечноэлементной модели роговицы глаза при напряженно-деформированном состоянии под действием внутриглазного давления до и после операции FemtoLASIK.

4. Оценить послеоперационные клинико-функциональные результаты при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с интрастромальным (LASIK, топографический LASIK, Wavefront-Guided LASIK, Wavefront-Guided Selective LASIK, LASIK с коррекцией сферической аберрации, Wavefront-Guided FemtoLASIK), поверхностным (Wavefront-Guided Epi-LASIK) воздействием на роговицу и удалением роговичного лентикула (FLEx, SMILE).

5. Изучить толщину роговичного клапана, формируемого фемтосекундным лазером при удалении роговичного лентикула в операции SMILE, толщину роговичного лоскута, формируемого фемтосекундным лазером с удалением

операции FLEx, толщину роговичного лоскута, роговичного лентикула В формируемого фемтосекундным лазером с интрастромальным неселективным (Wavefront-Guided FemtoLASIK) воздействием на роговицу И толщину лоскута, формируемого механическим микрокератомом роговичного после интрастромальным (LASIK), операций с неперсонализированным с интрастромальным персонализированным неселективным воздействием на роговицу (топографический LASIK, Wavefront-Guided LASIK) И С интрастромальным персонализированным селективным воздействием на роговицу (Wavefront-Guided Selective LASIK) ретроспективно по данным оптической когерентной томографии.

6. Провести сравнительный анализ изменений аберраций волнового фронта в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма при фемтосекундной лазерной рефракционной хирургии с удалением роговичного лентикула (FLEx, SMILE), неперсонализированными способами лазерной абляции (LASIK), неселективными персонализированными способами лазерной абляции: (топографический LASIK, Wavefront-Guided LASIK, Wavefront-Guided Epi-LASIK, Wavefront-Guided FemtoLASIK).

7. Оценить эффективность коррекции отдельных видов аберраций волнового фронта при селективной персонализированной эксимерной лазерной рефракционной хирургии (Wavefront-Guided Selective LASIK) миопии и сложного миопического астигматизма.

8. Оценить эффективность коррекции сферической аберрации при операции LASIK с комбинацией миопического и гиперметропического профилей абляции роговицы (LASIK с коррекцией сферической аберрации) при персонализированной эксимерной лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

9. Разработать и внедрить дифференцированный подход выбора метода коррекции аберраций высшего порядка с учётом их дооперационного уровня в рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Научная новизна результатов исследований

1. Впервые предложенная компьютерная модель глаза на основе математических конечных элементов продемонстрировала возможность моделирования клинических результатов операции LASIK (когда до лечения сферическая аберрация глаза мала, а после – становится больше и начинает снижать зрение пациента) и определить уровень значимости величины 0,2 мкм аберраций высшего порядка на качество зрения в рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

2. Впервые в эксперименте было определено статистически значимое уменьшение аберраций Z (3;1), Z (3;-1) и Z(4;0) при селективной коррекции клинически значимых аберраций высшего порядка, что доказывает эффективность Wavefront-Guided Selective абляции в рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

3. действии Биометрическое моделирование роговицы глаза при внутреннего давления на основе нелинейной краевой задачи теории упругости позволило анализировать роговицы дооперационный состояния В И послеоперационный периоды. Впервые математическая модель напряженнодеформированного состояния роговицы позволила определить модуль упругости роговицы при изменении внутриглазного давления, увеличение изгибных напряжений в центральной и периферической части роговицы после операции в сравнении с дооперационными значениями, что необходимо учитывать при оценке переменной толщины формируемого роговичного лоскута с помощью оптической измерительной техники.

4. Усовершенствована методика операции LASIK для коррекции сферической аберрации с использованием комбинации миопического и гиперметропического профилей абляции.

5. Впервые на основании комплексного исследования аберраций высшего порядка, возникающих после эксимерлазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма, получено теоретическое обоснование выбора селективной коррекции аберраций высшего порядка.

6. Впервые основании предложенного способа на предоперационной системы оценки абсолютного значения величин АВП обоснована необходимость применения селективной коррекции аберраций высшего порядка, разработан алгоритм выбора вмешательства. Оценены результаты предложенных операций, проведен анализ интраоперационных, ранних послеоперационных осложнений, предложены И поздних профилактические мероприятия для уменьшения осложнений и способы их устранения.

7. Разработана комплексная система дифференцированного подхода в персонализированной фемтосекундной и эксимерной лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Теоретическая и практическая значимость

Воспроизводимость предложенной экспериментальной модели роговицы глаза, низкие финансовые и временные затраты дают возможность дальнейшего изучения изменения аберраций высшего порядка при лазерной рефракционной хирургии аномалий рефракции.

Сферическая аберрация, возникающая при миопическом профиле абляции роговицы, вносит основной вклад в структуре послеоперационных аберраций высшего порядка. Для устранения индуцирования сферической аберрации, возникающей вследствие биомеханических изменений роговицы, разработан способ комбинации миопического и гиперметропическкого профилей абляции эксимерной лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Динамическая оценка рефракционным хирургом индуцирования аберраций высшего порядка позволит целенаправленно проводить селективную коррекцию аберраций высшего порядка в рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Система персонализированной фемтосекундной и эксимерной лазерной рефракционной хирургии обеспечивает комплексный подход, позволяет

расширить диапазон и повысить эффективность коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

На основе предоперационного диагностического исследования оптика глаза разработаны подходы к персонализированной фемтосекундной и эксимерной лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма, позволяющие повысить эффективность восстановительного лечения.

Уточнены показания и противопоказания к проведению персонализированных LASIK, Epi-LASIK, FemtoLASIK, a также FLEX и SMILE позволяют офтальмохирургам применять дифференцированный подход в выборе технологии лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Методология и методы исследований

Изучение современной отечественной и зарубежной литературы, позволило сформулировать научную гипотезу: развитие послеоперационных аберраций высшего порядка в рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма не одинаково при влиянии разных технологий рефракционной лазерной хирургии. Эффективность лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма можно повысить, если учитывать факторы риска, клиническую форму, наличие осложнений.

Проведенное исследование включало: экспериментальное исследование на модели роговицы, ретроспективное и проспективное контролируемое исследование пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

Методы исследования экспериментальных моделей роговицы: рефрактометрия, оптическая когерентная томография, кератотопография, аберрометрия.

Методы исследования пациентов: клиническое исследование, офтальмологическое исследование, оптическая когерентная томография, кератотопография, аберрометрия, пространственная контрастная

чувствительность. Проведена статистическая обработка полученных результатов экспериментального и клинического исследований.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Селективная коррекция аберраций высшего порядка при миопическом алгоритме абляции в эксперименте приводит к устранению корректируемых видов аберраций высшего порядка.

2. На развитие послеоперационной сферической аберрации важное значение имеет способ формирования роговичного лоскута при эксимерной лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

3. Фемтосекундные лазерные рефракционные операции индуцируют меньшую величину сферической аберрации по сравнению с эксимерными лазерными рефракционными операциями в лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

4. Разработанные технологии персонализированной абляции формируют комплексную систему лазерной рефракционной хирургии миопии и сложного миопического астигматизма.

Степень достоверности результатов исследования

Степень достоверности полученных результатов определяется большим и репрезентативным объемом проанализированных данных, выборок исследований и количеством обследованных пациентов с использованием современных высокоинформативных методов исследования, а также применением корректных методов статистической обработки данных. Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA 12 (разработчик - StatSoft.Inc). Данные были представлены в виде средних значений и стандартной ошибки среднего для непрерывных нормально распределенных переменных, в виде медианы и значений для минимальных И максимальных непрерывных данных, не распределенных нормально, а также в виде абсолютных значений и процентов для категориальных данных. Анализ нормальности проводился с помощью теста Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Для парного сравнения непрерывных переменных, имеющих нормальное распределение, использовался tкритерий Стьюдента для независимых выборок, для переменных, не имеющих нормальное распределение - U-критерий МаннаУитни. Категориальные данные и пропорции сравнивались с использованием критерия хи-квадрат или точного двустороннего критерия Фишера. При сравнении средних показателей, рассчитанных для связанных выборок (например, значений показателя до операции и после операции), использовался парный t-критерий Стьюдента. Для проверки различий между двумя связанными выборками переменных, не имеющих нормальное распределение, применялся W-критерий Уилкоксона. Значение р<0,05 считалось статистически значимым.

Апробация результатов исследования

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях: II, III, IV, V, VI, VII, VIII Евро-Азиатских конференциях (Екатеринбург 2001, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018), XII, XXI, XXII научно-практической конференции «Новые технологии микрохирургии глаза» (Оренбург 2001, 2010, 2011), 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 научно-практических конференциях Екатеринбургского Центра МНТК "Микрохирургия глаза" (Екатеринбург 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019), конференции «Новые научно-практической лазерные технологии В офтальмологии» (Калуга 2002), научно-практической конференции «Федоровские 2007), Четвертом (Москва 2002, Российском чтения» симпозиуме ПО рефракционной и пластической хирургии (Москва 2002), XX, XXI, XXII, XXIII, Европейского общества катарактальной и рефракционной хирургии (Ницца 2002, Мюнхен 2003, Париж 2004, 2010, Лиссабон 2005, 2017 Лондон 2006, 2014, Стокгольм 2007, Берлин 2008, Барселона 2009, 2015, Вена 2011, 2018, Милан 2012, Амстердам 2013, Лондон 2014, Барселона 2015, Копенгаген 2016), 8

по рефракционной катарактальной международном симпозиуме И хирургии (Москва 2003), VII, IX, X и XI Съездах офтальмологов России (Москва 2005, 2010, 2015 и 2020), научно-практических конференциях, посвящённых 15летию и 16-летию ЗАО «Газпром-Оптика» (Тюмень 2005, 2006), VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI XVII, XVIII Международных научно-практических конференциях «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва 2005, 2006, 2007,2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022), конгрессах Американского общества катарактальной и рефракционной хирургии (Вашингтон 2006, Сан-Диего 2007, 2011, Чикаго 2008, Сан-Франциско 2009, 2013, Бостон 2010, 2014, Новый Орлеан 2016, Лос-Анжелес 2017), 19, 21, 22, , 26, 27, 29, 30 конгрессах немецких офтальмохирургов (Нюрнберг 2006, 2008, 2009, 2012, 2013, 2014, 2018), I и II Всероссийских научных конференциях молодых ученых (Москва 2006, 2007), Российской научно-практической конференции офтальмологов «Ижевские (Ижевск 2008), Всемирном офтальмологическом конгрессе родники-2008» (Гонг-Конг 2008, Абу-Даби 2012, Токио 2014, Тихуана 2016), научнопрактической конференции «Лазеры в офтальмологии: вчера, сегодня, завтра» (Москва 2009), 23 конгрессе немецких офтальмохирургов (Гамбург 2010), 25 конгрессе немецких офтальмохирургов (Лейпциг 2015) научно-клинической конференции ФГБУ МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. Федорова (Москва 2011, 2011, 2012), научно-практической конференции «Применение фемтосекундных лазеров в офтальмологии» (Киев 2012), Европейской конференции рефракционных хирургов-пользователей фемтосекундного лазера VisuMax (Лимассол 2012), Волгоградском обществе офтальмологов (Волгоград 2012), научно-практической конференции «Проблемы воспаления В 2013), офтальмологии» (Челябинск научно-практической конференции офтальмологов УрФО «Актуальные проблемы офтальмологии» (Екатеринбург научно-практической конференции, посвященной 2013) 20-летию Санкт-Петербургского филиала МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. Федорова (Санкт-Петербург 2007), научно-практической конференции, посвященной 30летию Санкт-Петербургского филиала МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. Федорова (Санкт-Петербург 2017), научно-практической конференции Санкт-Петербургского филиала МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. (Санкт-Петербург Всероссийской Федорова 2021), научно-практической конференции «Современные технологии офтальмологии. Практика, В собственный опыт, диалог», посвященной 90-летию со дня рождения академика C.H. Федорова (Новосибирск 2017), научно-практической конференции «Современные технологии лечения заболеваний глаз» (Уфа 2018), Х Юбилейный Международный Междисциплинарный Конгресс по заболеваниям Головы и Шеи (Москва 2022).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 21 научная работа в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определенных Высшей Аттестационной Комиссией. Получено 4 патента Российской Федерации.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности

Диссертационная работа «Клинико-экспериментальное исследование коррекции аберраций высшего порядка в лазерной хирургии аномалий рефракции» соответствует Паспорту специальности 3.1.5. Офтальмология и области исследования п. №5. «Совершенствование методов диспансеризации и динамического наблюдения пациентов с хроническими и прогрессирующими видами патологии глаза», №7 «Разработка, экспериментальное обоснование и клиническая апробация метода коррекции аберраций высшего порядка в лазерной хирургии аномалий рефракции».

Внедрение результатов исследования в практику

Теоретические И практические рекомендации диссертационного обучения студентов исследования используются В процессе 6 курса кафедры педиатрического факультета офтальмологии педиатрического

факультета ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, ΦПК Чебоксарского филиала ΦΓΑΥ «НМИЦ «МНТК слушателей «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Фёдорова» Минздрава России, в работе ΦΓΑΥ «НМИЦ врачей-офтальмологов Чебоксарского филиала «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Фёдорова» Минздрава России, Иркутского ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» филиала им. акад. С. Н. МНТК Фёдорова» Минздрава России, Екатеринбургского центра «Микрохирургия глаза» Минздрава России.

Личный вклад автора в проведенные исследования

Выбор направления исследования принадлежит автору. Автором самостоятельно проведен анализ и изучение 664 литературных источников, из которых 130 отечественных и 534 зарубежных авторов. Автор планировал дизайн оперировал исследования, всех пациентов, проводил последующем В обследования, осмотр пациентов и анализ, обобщение полученных результатов. Вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах исследования: задач, проведении экспериментальных OT постановки исследований, выполнения обсуждения результатов, докладов, научных публикаций и их внедрения в практику. Самостоятельно сформированы и результатов, обобщающие таблицы первичных данных выполнен их статистический анализ. Обработка, интерпретация полученных результатов, написание и оформление диссертации выполнены лично автором.

Объем и структура диссертационной работы

Диссертация изложена на 317 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, собственных данных (6 глав), заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Библиографический указатель включает 664 источников, в том числе 130 отечественных и 534 иностранных. Иллюстративный материал представлен 84 рисунками и 57 таблицами.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ КОРРЕКЦИИ АВП В ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКЦИОННОЙ ХИРУРГИИ

1.1. Частота встречаемости АВП при миопии и сложном миопическом астигматизме

Глаз человека – это сложная оптическая система, которой свойственны оптические дефекты, искажающие изображение на сетчатке и в определенной мере снижающие качество зрения. Такие дефекты оптической системы глаза называют аберрациями. В оптических системах ученые выделяют аберрации низшего (2-го) и высшего (3-го и более) порядков. Чем выше порядок аберраций, тем сложнее форма волнового фронта световых волн, вышедших из глаза.

Аберрации низшего порядка состоят из полиномов Цернике первой и второй степени. К аберрациям глаза низшего порядка относят миопию, гиперметропию и астигматизм, которые успешно корригируются очковой оптикой. Однако, у некоторых людей с коррекцией аберраций низших порядков может сохраняться плохое зрение из-за значительных АВП [78, 79].

К АВП относят кому, трефойл, квадрафойл, вторичный астигматизм и сферическую аберрацию. Кома (9%) связана с искажением косых пучков света, падающих под углом к оптической оси глаза [282]. Сферическая аберрация (12%) обусловлена тем, что периферия хрусталика глаза преломляет падающие на нее параллельные лучи сильнее центра [282]. При правильной очковой коррекции АВП изображение расплывается или двоится, появляются блики, искажения изображения по периферии и т.д. Встречаемость комы и сферических аберраций в популяции увеличивается с возрастом [284, 285, 607, 617].

По оценкам специалистов [282, 539] аберрации низшего порядка (миопия, гиперметропия, астигматизм и призматические отклонения) составляют примерно 85% от всех аберраций глаза. Остальные 15% составляют АВП.

Эпидемические исследования 24000 человек в Европе показали, что АВП есть как у здоровых, так и у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом [282]. Выявление АВП зависит от остроты зрения [350] и могут

быть определены даже в здоровых, эмметропичных глазах [214, 378, 515, 582, 596, 598]. Величины и распределение АВП в разных этнических группах здоровых добровольцев [211, 347, 617, 389] практически не отличаются, за исключением китайцев [390].

Некоторые авторы в своих исследованиях отмечают, что уровень аберраций третьего [282, 297] и четвертого порядков [636, 474] у людей с близорукостью выше, особенно при амблиопии [513, 659], чем у эмметропов.

Увеличение АВП после лазерной рефракционной хирургии, по мнению M.J.Sanchez и соавт. [539], приводит к снижению зрения и неудовлетворенности пациентов.

1.2. Факторы, влияющие на развитие АВП

Аберрации глаза — это различные искажения изображения, формируемого на сетчатке. АВП связаны с распространением световой волны (волнового фронта) при прохождении через оптические среды глаза. В силу несовершенства оптической системы глаза происходит искажение фронта световой волны, что и приводит к дефектам изображения. Неправильная форма роговицы, являющейся одним из важнейших элементов оптической системы глаза, не позволяет световым лучам правильно фокусироваться и, следовательно, приводит к различным искажениям изображения, которые нельзя корригировать традиционными способами.

Аберрация оптической системы - ошибка или погрешность изображения в оптической системе, вызываемая отклонением луча от того направления, по которому он должен был бы идти в идеальной оптической системе [99]. Аберрацию характеризуют различного вида нарушения гомоцентричности в структуре пучков лучей, выходящих из оптической системы.

Сферическая аберрация изменяется, в основном, из-за нарушения баланса общих АВП [170, 270, 276, 288, 316, 349, 362, 412, 420, 434, 538] при стабильном уровне величин роговичных АВП [162, 605, 658].

У большинства здоровых людей АВП очень малы и не оказывают значительного влияния на качество зрения. Уровень аберраций зависит от

правильной фиксации взгляда пациентом в процессе измерения [159, 150, 519] и отличается при бинокулярном зрении [248, 445, 320].

В современной научной литературе выделяют отдельные факторы развития АВП. Их значение в развитии АВП неодинаково, а также зависимость от локализации (правый и левый глаз) не выявлено [226, 417, 525, 605, 608, 652].

В научных исследованиях статистически значимых гендерных различий АВП не определено [478, 525].

Сферическая аберрация обладает генетической предрасположенностью, что установлено исследованиями близнецов [637].

Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют о том, что развитие АВП связано с возрастом [139, 149, 172, 349, 427, 475, 608, 652]. АВП обнаруживают у лиц молодого и среднего возраста [571, 394, 502, 510].

Исследователи отмечают, что с возрастом изменяются аберрации третьего порядка – кома [140, 215, 253, 285, 403, 477, 650] и трефойл [403, 477]. При этом задняя поверхность роговицы не вносит вклада в изменение величины аберрации [244, 618].

По мнению Mohamed E.M. и соавт. [450], уровень АВП не зависит от толщины роговицы и не меняется в течение недели [448], однако может меняться в разное время суток [217], что они связывают с суточным колебанием внутриглазного давления [441]. Значения АВП увеличиваются при перемещении испытуемого из положения сидя в положение лежа [338].

Исследователи отмечают увеличение АВП при аккомодации [73, 288, 287, 333, 403, 405, 480, 664, 386, 405, 583, 627], что связывают с увеличением выпуклости передней поверхности хрусталика [267, 646].

Важное значение для оценки аберраций третьего и четвертого порядков придают величине зрачка [191, 203, 476, 503, 610, 626]. Наибольший прирост величины АВП отмечен при измерениях диаметра зрачка [171,605]. Наибольшая величина аберрации измеряется при диаметре зрачка 6 мм [147, 165, 168, 226, 254, 280, 311, 374, 381, 530, 565, 616, 323, 431, 247, 653, 286, 355, 422, 591, 620, 521] при отборе пациентов для лазерной рефракционной хирургии [478, 148, 422,

323, 195, 286, 520]. Изменение АВП при диаметре зрачка больше 6 мм несущественно из-за эффекта Stiles-Crawford [165, 167, 223, 374, 656, 249].

Как считают учёные, уровень АВП зависит от вида рефракции и, может быть выше при миопии [289, 305, 363], астигматизме [305, 339, 660], гиперметропии [184, 509]. Это связывают с существованием различий в характеристиках хрусталика (асферичность, кривизна, показатель преломления) в дальнозорких глаз по сравнению с другими глазами [509]. Также отмечена разница в величинах отдельных видов аберраций у пациентов с анизометропией [283].

Применение 1% раствора атропина для циклоплегии [296] и препаратов для краткосрочной циклоплегии (растворы 1% тропикамида, 5% фенилэфрин) [175, 297, 345, 523, 317, 644] приводит к изменению аберраций волнового фронта. Медикаментозное смещение зрачка до 0,29±0141мм не только изменяет величины АВП, но и может привести к децентрации абляции роговицы при эксимерной лазерной хирургии и индукции АВП [517, 588]. Разница между мидриатическим и немидриатическим измеренным уровнем АВП представляется важным обстоятельством для хирургической коррекции АВП [212].

Смещение центра зрачка, приводящее к изменению уровня АВП при его фармакологическом расширении, позволяет рекомендовать проведение измерений в естественных условиях для персонализированного LASIK, а не с помощью мидриаза [634].

Использование мидриатических глазных капель следует избегать, чтобы минимизировать индуцирование аберраций [577].

Динамические АВП могут появляться при изменении слезной пленки и частоты мигательных движений [319, 354, 452]. Измерение динамических АВП [631, 295] исследователи расценивают как критерий динамического контроля лечения синдрома "сухого глаза" [614, 238, 328]. При этом применение увлажняющих капель при лечении синдрома "сухого глаза" может влиять на величину АВП [376, 410, 433].

Применение контактных линз [86, 58, 71, 404, 616] приводит к индуцированию АВП, в частности сферической аберрации [236, 322, 504], уровень которых снижается к исходному через 1 месяц после отмены контактной коррекции [408].

Таким образом, степень участия описанных выше факторов развития АВП различны, механизмы их взаимодействия остаются до конца не изученными. Влияние факторов риска необходимо учитывать при измерении АВП и планировании сроков персонализированной рефракционной хирургии.

1.3. Влияние АВП на качество зрения при миопии и сложном миопическом астигматизме

Во многих исследованиях оценивается взаимосвязь между АВП и качеством изображения [161, 146, 387, 603, 401, 485, 559, 334].

Оптические аберрации глаза уменьшают контрастность изображения и вызывают фазовые сдвиги пространственного ретинального образа. В результате качество изображения затрудняет распознавание сложных объектов, таких как буквы и лица. Для изучения влияния пространственных фазовых сдвигов в распознавании объекта S. Ravikumar и соавт. [524] смоделировали размытость изображения для 4 типов аберраций (дефокус, астигматизм, кома, сферическая аберрация), присутствующие индивидуально или в комбинации. Полученные изображения позволили определить влияние фазовых ошибок на остроту зрения для отдельных букв, кластеров букв, лиц. Результаты исследования показали, что вызванные оптические аберрации снижали остроту зрения при достаточном контрасте [524, 136]. При наличии сферической аберрации потеря зрения была больше для гиперметропии, чем для миопии [524].

Большое количество работ посвящено изучению влияния сферической аберрации на качество зрения [179, 231, 318, 375, 381, 384, 453, 507, 511, 529, 627]. Учёными показано влияние увеличения сферической аберрации на снижение контрастной чувствительности [312, 318, 453, 511] и изменение глубины фокуса [142, 529, 638].

В исследовании J. Li и соавт. [381] описано, что ухудшение зрения происходит, когда сферическая аберрация увеличена на 0,2 мкм и 0,3 мкм. Ими установлен приемлемый уровень сферической аберрации (примерно 0,1 мкм) при коррекции [381].

Некоторые исследователи [281, 290, 384, 488, 572, 597, 614, 633, 638, 641] установили, что кома после сферической аберрации оказывает наибольшее влияние на качество зрения, значительно снижая контрастную чувствительность, в том числе в фотопических условиях [633].

Трефойл [384, 572, 597], квадрафойл [381, 638] и вторичный астигматизм [381] так же вносят вклад в ухудшение качества зрения, но в меньшей мере, чем сферическая аберрация и кома.

Рефракционная хирургия может приводить к увеличению АВП: блики, лучистость и ореолы, - особенно в условиях с низким уровнем освещенности и увеличением диаметра зрачка [572].

Исследование с помощью адаптивной оптики [622] у пациентов после операции LASIK [530], показало, что коррекция АВП способна улучшить качество зрения.

Аберрации волнового фронта в глазу, как правило, не обладают круговой симметрией из-за наличия комы и трефойла. Контрастная чувствительность, как предполагают, независима от ориентации. Разная ориентация может дать лучший показатель визуального восприятия при повышенном уровне АВП. Эти асимметрии вызывают ориентацию селективного воздействия на основе решетки тестов чувствительности контраста. Селективное ориентирование решетки тестов вызывает изменения в контрастной чувствительности у большинства пациентов после операции LASIK. Корреляция между контрастной чувствительностью и АВП улучшается, когда несколько положений ориентации были испытаны по сравнению с данными только в одной ориентации. Эти результаты показывают, что селективная ориентация является важным фактором при исследовании связи между зрительной эффективностью и АВП [572].

1.4. Экспериментальное изучение АВП

Современные технические достижения позволяют создавать экспериментальные модели глаза для измерения аберраций волнового фронта и практического более глубокого понимания ИХ природы, применения В хирургической и оптической коррекции рефракции, для исследования процессов эмметропизации.

Предложены разные модели глаза. Они отличаются по оптическим характеристикам и, следовательно, имеют высокое качество изображения и различные аберрации. Анатомически точные модели глаза предложены давно для точного воспроизведения видения в различных оптических условиях. В последующем проведены сравнительные исследования моделей с реальным глазом с точки зрения качества изображения, профилей периферической рефракции, наличия аберраций волнового фронта.

Модель оптической дифракции глаза обеспечивает эффект расфокусировки функции контрастной чувствительности. Эта модель имеет значение для измерения отдельных аберраций глаза [165, 169, 174, 207, 209, 234, 257, 259, 254, 308, 310, 318, 367, 470, 473, 494, 495, 520, 532, 545, 547, 566, 572, 579, 581, 604, 619, 630, 651]. В то же время селективная потеря контрастной чувствительности у пациентов с различными патологиями глаза не может быть оптически индуцирована без чётко определённых оптически переменных [188, 165, 166, 358].

Модель глаза с большим зрачком обеспечивает эффект расфокусировки контрастной чувствительности и модулирует сферическую аберрацию [161, 169, 207, 224, 230, 254, 279, 307, 374, 402, 514, 540, 561, 580, 581, 630, 656].

Сферическая аберрация монохроматична, поэтому в модели глаза очень важно центрирование зрительной оси. Это может быть использовано в качестве критерия для оценки степени сходства модели глаза с человеческим глазом. Некоторые учёные определили экспериментальные значения сферической аберрации на различных моделях глаза и получили гиперэффекты, а не средние значения аберрации [169, 207, 241, 254, 435, 472, 393, 581, 630]. В связи с этим требуется создание новой модели глаза, удовлетворяющей исследованию зрительной функции человеческого глаза.

Модель глаза может быть построена из полиметилметакрилата с известными характеристиками. Точность АВП при этом оценивают путём сравнения прогноза по отслеживанию луча с измерением сферической аберрации и комы на асферической модели глаза. Стандартные отклонения измерений составили <1% от среднего значения с повторными измерениями в течение 1 с. На такой модели глаза можно измерять аберрации второго, третьего и четвертого порядка точно и неоднократно [230].

R. Legras и соавт. [374] использовали цифровую модель глаза, полученную путём вычисления оптики глаза с корректирующей линзой. Они имитировали внешний изображения через корректирующую ВИД линзу и получили произвольные типы монохромных аберраций за счёт изменения конструктивных параметров линзы. Такой оригинальный подход позволил наблюдать близкое сходство оптической И смоделированной расфокусировкой между при использовании небольшого (2,5 мм) размера зрачка и "типичной" волновой аберрации.

Схематическая модель глаза, которая воспроизводит дифракции, хроматические аберрации, фотопический ответ, эффект Stiles-Crawford, использована для определения теоретического предела фовеолярного зрения и имеет ограничения в зависимости от диаметра зрачка [547].

Опубликованы данные о том, что некоторые аберрации роговицы почти уравновешивают возникающие аберрации от хрусталика [566]. С помощью оптической модели роговицы можно проводить эффективную коррекцию монохромных аберраций при изменении показателей хрусталика [566]. Для частичной коррекции аберраций глаза также используется модель цилиндрических пластин с системой увеличения, обладающая простотой воспроизведения и относительно низкой стоимостью [230, 402, 409].

В научной литературе представлены способы моделирования лазерных операций. Экспериментальная оценка моделей абляции [15] для лазерной рефракционной хирургии используется для изучения профилей абляции, результатов применения самых современных эксимерных лазеров.

В настоящее время сканирующие лазеры с диаметром луча 1 мм или меньше теоретически способны устранить большинство АВП глаза [307].

Схематическая модель глаза использована для настройки и корректировки ФРК [545]. ФРК изменяет асферичность глаза [505], что может увеличить сферическую аберрацию в послеоперационном периоде. Следовательно, понимание асферичности глаза играет важную роль в адаптации после рефракционной хирургии. В связи с этим предложены оригинальные конические модели и изучено моделирование сферической аберрации контактными линзами и нерегулярной роговицей [259].

Для определения глубины абляции после LASIK и ФРК была создана математическая модель асферической роговицы. Это имеет клиническое значение в планировании асферических профилей абляции при LASIK, чтобы исправить сферическую аберрацию, не ставя под угрозу механическую целостность роговицы [259, 190, 194, 240, 260, 273, 365, 548, 416, 443, 594, 639].

Проводилось также компьютерное моделирование альтернативных моделей LASIK миопической абляции. Результаты моделирования сравнивали с реальными послеоперационными результатами. Стандартный LASIK при миопической абляции увеличивает асферичность роговицы и сферическую аберрацию. Используя теоретические модели глаза (параболической и биконической), можно достичь устранения АВП моделируя угол падения и отражения лазерного луча [208].

Сравнивая модели абляции на плоских и сферических поверхностях, были обнаружены значительные различия между лазерами в форме и глубине шаблонов абляции [240]. Эти данные оказались полезными для оценки применения различных лазеров, алгоритмов абляции, точной калибровки и тестирования

лазеров, вычисления экспериментальных поправочных коэффициентов эффективности [240].

Разработанная модель «летающего лазерного пятна» обеспечила улучшение профиля абляции, компенсирующее изменение асферичности роговицы и индукции сферической аберрации, что приводит к улучшению результатов в лазерной рефракционной хирургии [364, 415, 190].

Использование полиметилметакрилатной модели показало оптические преимущества профилей абляции на индукцию аберраций волнового фронта при коррекции миопии в сравнении со стандартным LASIK. Однако остаётся неполная коррекция сферической аберрации из-за потери эффективности лазерной абляции на периферии линзы [196].

Общеизвестно, что аберрации зависят от эффектов всех оптических компонентов глаза, которые распространяются в глубину, а не просто связаны с передней поверхностью роговицы. Величина АВП зависит от методов, используемых для измерения аберраций между различными компонентами глаза [225]. Для того, чтобы свести к минимуму послеоперационные АВП при миопии высокой степени, желательно, после первой абляции с целью коррекции миопии провести вторую абляции для исправления АВП, как считает W.N. Charman [225] по результатам экспериментального исследования на простой схематической модели глаза.

Разработка 3D модели конечных элементов роговицы [55, 115] относится к пациент-ориентированной и позволяет оценить хирургически индуцированные изменения упругих свойств роговицы после рефракционной хирургии [532]. После операции LASIK значительно ослабляется упругость роговицы (более 55%), что имеет значение для разработки профиля абляции роговицы, изменяющей свои упругие свойства в процессе операции.

Экспериментальные изучения АВП имеют значение для разработки персонализированных алгоритмов абляции роговицы, дальнейшего развития рефракционной хирургии, поиска новых способов улучшения конечного результата.

1.5 Диагностика АВП у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом

В диагностике АВП большую роль играет аберрометрия. Оптическая система глаза не является идеальной, она имеет аберрации, которые, определяют качество изображения. Аберрометром волнового фронта можно измерить аберрации низшего порядка и АВП, описываемые в виде полиномов Цернике. Аберрометры должны обладать рядом таких характеристик как точность [178, 213, 275, 406, 537], повторяемость измерений [151, 216, 239, 268, 266, 430, 407, 255], воспроизводимость [252, 379, 407, 430, 512], надежность [300].

Современные аберрометры совмещены с эксимерными лазерами для коррекции АВП, что создаёт возможности аблирования сложных форм роговицы в ходе рефракционной хирургии, обеспечения оптимального аберрационного контроля [352].

В настоящее время используют разные конструкции аберрометров. Одним из известных аберрометров, позволяющим определить полиномы Цернике до 6 порядка, является аппарат, измерения которого основаны на принципе Tscherning [439, 359, 421, 533, 536].

Так же выпускают аберрометры, в основе работы которых лежит рефрактометрия Nidek OPD-Scan [266, 421, 533], принцип Ray tracing [255, 421, 451, 533, 2006,], принцип Hartmann-Shack [130, 151, 178, 213, 216, 220, 239, 265, 278, 300, 449, 379, 406, 407, 421, 512, 533, 536, 537, 565, 628, 662, 489, 377, 330, 536].

Значительная часть современных публикаций посвящена сравнению аберрометров, работающих на разных принципах [197, 202, 227, 344, 428, 454, 455, 531, 599, 623].

Существенные различия были продемонстрированы между NIDEK OPD-Scan и Hartmann-Shack аберрометрами (Bausch & Lomb Zywave и VISX CustomVue). Аппараты показали статистически значимые различия в измерении АВП по сравнению друг с другом [197]. При сравнении iTrace, (Tracey Technologies) и OPD-Scan (NIDEK) получены статистически значимые различия средних значений при сферической аберрации, коме между аппаратами [623].

Сравнение Hartmann-Shack WaveScan (VISX) и OPD-Scan (ARK 10000 NIDEK) показало, что у OPD-Scan (ARK 10000 NIDEK) были более низкие значения комы, сферической аберрации, а у WaveScan были более низкие значения трефойла [344].

Сравнение iTrace (Tracey Technologies), OPD-Scan (Nidek) и Hartmann-Shack аберрометров WASCA (Carl Zeiss Meditec) выявило, что iTrace показал статистически более высокие данные АВП, особенно комы. Все приборы показали различные результаты аберраций волнового фронта [227].

Измерения с помощью OPD-Scan (Nidek) и Hartmann-Shack аберрометров WaveScan (AMO) показали наибольшую разницу в величине трефойла, сферической аберрации между этими приборами [428].

Измерения с помощью Hartmann-Shack аберрометров Alcon LADARWave®, Visx WaveScan[®], B & L Zywave[®] и аберрометра Tscherning Wavelight Allegro Analyzer® показали, что статистически значимые различия были обнаружены сферической аберрации между измерениями И горизонтальной комы. LADARwave и WaveScan показали значительные различия в измерении между Allegro Analyzer сферической аберрации. Сравнения И Zywave продемонстрировали значительные различия в измерении горизонтальной комы. Измерения Allegro Analyzer также отличались от WaveScan в измерении горизонтальной комы [202].

Исследование с четырьмя видами аберрометров: в Irx3 (Hartmann-Shack, Opce, Франция), Keratron (Hartmann-Shack, Optikon, Италия), iTrace (Tracey Technologies, Хьюстон, Texac) и OPD-Scan (Nidek, Япония), показало значительные различия в измерениях трефойла и сферической аберрации. По мнению N.Visser и соавт. [599], аберрометры Hartmann-Shack показали лучшую повторяемость аберраций [599]. Клиническое сравнение измерений на 6 аберрометрах зрительных функций iTrace (Tracey Technologies), OPD-Scan (ARK-10000, Nidek), Zywave (Bausch & Lomb), WASCA (Carl Zeiss Meditec), MultiSpot Hartmann-Shack и Allegretto Wave Analyzer показало преимущество WASCA за счет точности [230], повторяемости [216, 230] и воспроизводимости [533].

Оптическая система глаза не является идеальной и имеет АВП, которые описывают при измерении в виде полиномов Цернике. Существует тесное соответствие между коэффициентами Цернике, полученных с помощью различных аберрометров. Тем не менее, эти измерения в виде полиномов Цернике полученные с помощью аберрометров являются функционально разными, и каждый из аберрометров имеет свои преимущества и недостатки, в зависимости от конкретного применения [455].

1.6 Влияние эксимерных лазерных кераторефракционных операций на АВП при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма

Начиная с конца XX начала XXI века изучается качество зрения при использовании контактных линз, интраокулярных имплантатов и рефракционной хирургии при аметропии [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 54, 56, 57, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129].

Стандартная рефракционная хирургия (ФРК и LASIK) индуцирует оптические изменения глаза - аберрации волнового фронта глаза [30, 163, 204, 210, 219, 221, 247, 261, 429, 430, 455, 522, 536, 541, 573].

ФРК вызывает изменения топографии роговицы, что сопровождается появлением оптических аберраций глаза. Эффект появления сферической аберрации и комы значительно увеличивается при большом диаметре зрачка [483]. После ФРК пациенты жалуются на чувствительность к яркому свету, гало, нарушения ночного зрения. Величина волнового фронта роговицы, количество и характер аберраций связаны с величиной абляции при ФРК. Для уменьшения визуальных нарушений (бликов, ореолов) многие учёные применяют при ФРК большие зоны абляции [145, 164, 323, 369, 400, 423, 431, 440, 456, 486, 576, 609, 654].

Использование LASIK увеличивает аберрации 3-го порядка и выше, но это наиболее выражено у пациентов с высокой предоперационной миопией. При этом появление сферической аберрации роговицы выше, чем появление общей сферической аберрации [269, 306, 321, 418, 419, 542, 552, 574, 595, 642, 643]. В глазах после операции LASIK характерно появление горизонтальной комы с двоением, в отличии от вертикальной комы [218, 219].

Операция LASIK вызывает изменение передней поверхности роговицы, поэтому появление общих сферических аберраций можно отнести к изменениям в роговице [269, 301, 418, 419,]. Понимание этого важно для планирования алгоритмов абляции.

В глазах с большим диаметром зрачка и нерегулярной формой роговицы появление сферической аберрации после операции LASIK влияет на контрастную чувствительность, в то время как в глазах с меньшим размером зрачка появление аберрации оказывает влияние на характеристики зрения после операции LASIK [487, 543].

Смещение центра абляции при ФРК и LASIK после расширения зрачка может улучшить коррекцию комы [373, 388, 615].

В научной литературе представлено ретроспективное изучение аберраций волнового фронта в глазах с децентрированной абляцией при LASIK. Глаза с децентрированной абляцией имели более высокое значение индуцированных аберраций и низкую остроту зрения, чем глаза с центрированной абляцией [94, 492].

Таким образом, лазерная рефракционная хирургия вызывает АВП, чаще сферическую аберрацию. Децентрация абляции индуцирует аберрации 3-го

порядка. При планировании алгоритмов абляции необходимо диагностировать предоперационные аберрации, что позволит избежать образования новых аберраций в процессе хирургической коррекции.

1.7 Характер изменений АВП при разных типах эксимерного лазера

Фундаментальные работы физиков по аберрометрии и адаптивной оптике, проведенные в 90-х гг. XX века легли в основу разработки аппаратного обеспечения персонализированной абляции при использовании эксимерного лазера. На сегодняшний день в различных офтальмологических клиниках используются эксимерные лазеры разных производителей: Германии, США, Японии.

До настоящего времени учёные проводят сравнительные изучения эффективности рефракционных операций при использовании разных типов эксимерных лазеров. Сравнивая оптические качества, зрительные функции, форму роговицы, аберрации волнового фронта после операции на аппаратах разных производителей (США, Германия) существенные различия не были определены [589].

Проведя сравнительные исследования, C.Q.Yu и соавт. [642] отметили, что при использовании технологии «flying spot» («летающая точка») субъективные характеристики дневного и ночного зрения пациентов значительно лучше, чем при использовании технологии сканирования с переменной величиной пятна. При этом существенных различий в АВП между исследуемыми группами не найдено [642].

В работе М. Воһас и соавт. [186] описана одинаковая эффективность разных эксимерных лазеров для коррекции миопии, сложного миопического астигматизма и сохранении при этом АВП [186].

Таким образом, используемые современные модели эксимерных лазеров индуцируют АВП. Как указывают Т. Kohnen и соавт. [355], АВП при рефракционной хирургии не уменьшаются, а увеличиваются в 1,5 раза, сферическая аберрация (полином Z 4;0) увеличивается в 3,0 раза. Следовательно, необходимы дополнительные исследования, чтобы установить различия в АВП и форме роговицы после рефракционной хирургии.

1.8. Виды операций для коррекции АВП при миопии и сложном миопическом астигматизме

Рефракционные операции предусматривают хирургические вмешательства для изменения свойств и параметров оптической системы глаза. В настоящее время выделяют интраокулярные и кераторефракционные операции, которые постоянно совершенствуются благодаря применению новых технологий и алгоритмов абляции.

Интраокулярные рефракционные операции составляют не более 20% [61]. Кераторефракционные операции получили более широкое применение в связи с меньшим риском осложнений, большими возможностями воздействия на роговицу. При их выполнении изменяется соотношение силы оптической системы к имеющейся длине оси глаза.

Выбор кераторефракционных операций зависит от возраста пациента, вида и степени аметропии, толщины роговицы, непереносимости контактной коррекции, необходимости в высокой остроте зрения для профессиональной деятельности, желания пациента значительно повысить качество жизни (желание пациента хорошо видеть без вспомогательных средств).

В настоящее время офтальмохирурги используют: ФРК, LASEK, Epi-LASIK, LASIK, FemtoLASIK, FLEx, SMILE.

1.8.1. Поверхностная эксимерная лазерная абляция роговицы

Выполнение фотоабляции передних слоёв роговицы в оптической или параоптической зоне на заданную глубину [587] при определенной энергии и профиле лазерного луча называют поверхностной эксимерной лазерной абляцией

[432, 466]. Уменьшение толщины роговицы приводит к увеличению радиуса кривизны её передней поверхности. Следовательно, при коррекции миопии роговица становится плоской. При данном виде операции существует предел для глубины абляции (100-120 мкм).

Е. Juhasz и соавт. [324] описали изменения роговичных аберраций и баланса общих АВП после проведения ФРК у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом. При этом они отметили увеличение уровня сферической аберрации по сравнению с предоперационным уровнем у пациентов с миопией средней и высокой степени.

По данным S.Serrao и соавт. [557], АВП имеют тенденцию к увеличению после коррекции миопии высокой степени. Однако они стабилизируются через 1 год после операции ФРК.

При длительном (9-14 лет) наблюдении за пациентами, которым выполнена ФРК с использованием эксимерных лазеров разных поколений 1990-х и 2000-х гг. выявлено увеличение сферической аберрации. Учёными отмечено, что ФРК увеличивала сферическую аберрацию в 1990-х гг. в 4 раза, в 2000-х гг. в 2,5 раза [133, 283, 556, 654].

После ФРК помутнение роговицы увеличивает вероятность развития аберраций третьего порядка по сравнению с контрольной группой. Развитие аберраций четвёртого порядка при этом отмечается меньше [611].

ФРК остается операцией выбора в случаях тонкой роговицы, травмоопасных видов деятельности (боевые искусства, военнослужащие и т.д.) [141].

Поверхностная эксимерная лазерная абляция роговицы эффективна при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма [29, 50, 51, 122, 144, 235, 304, 481, 498, 499, 500, 609, 647,]. Величина комы, трефойла, сферической аберрации после поверхностной эксимерной лазерной абляции роговицы существенно возрастает [131, 233, 326, 327, 371, 372, 430], причем, по мнению L. Buzzonetti и соавт. [200] больше, чем после LASIK.
Эта разница в величине АВП сохраняется до 3-6 месяцев после операции, что по результатам некоторых исследований [256, 309] зависит от разных механизмов заживления роговицы [97]. Послеоперационное увеличение АВП определяется степенью предоперационной рефракции и диаметром оптической зоны [309].

В связи с этим разработка и изменение существующего алгоритма абляции для компенсации индуцированных АВП может улучшить послеоперационные результаты [137].

1.8.2. Интрастромальная эксимерная лазерная абляция роговицы с использованием механического микрокератома

Выполнение удаления стромы роговицы с формированием роговичного лоскута [534] с последующей фотоабляцией в стромальном слое роговицы с предварительным формированием роговичного лоскута называется LASIK [496]. В настоящее время LASIK – доминирующая операция в рефракционной хирургии для моделирования роговицы [141]. В отличие от ФРК при операции LASIK боуменова оболочка не удаляется, и роговица остается анатомически целостной. Коэффициент абляции роговицы при LASIK выше, поэтому суммарная энергия лазера более низкая, чем при ФРК. Глубина абляции при LASIK может составлять 140-150 мкм и зависит от остаточной толщины стромального ложа роговицы. Сохранение центрального эпителия роговицы увеличивает комфорт пациента в послеоперационном периоде, снижает длительность восстановительного периода (заживления раны) [21, 141, 198].

Многие учёные отмечают превосходство LASIK перед ФРК при сравнении некоторых интраоперационных и послеоперационных показателей.

Выполнение операций ФРК и LASIK у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом вызывает увеличение АВП [153, 160, 271, 298, 457, 486, 602, 629].

А. Ivarsen [313] в 7-летнем рандомизированном исследовании показал, что сферическая аберрация, кома увеличиваются и остаются стабильными при наблюдении после операции ФРК и LASIK у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом. Существенных изменений АВП им не отмечено.

По мнению Y.Wang [612], послеоперационные значения сферической аберрации при ФРК и LASIK не отличаются, а величины комы после LASIK выше, чем после ФРК, но эти показатели статистически не достоверны, несмотря на различия в изменении биодинамики, структуры роговичной стромы и эпителия.

Исследователи уделяют важное значение прогнозированию изменений, связанных с формированием роговичного лоскута при операции LASIK [518].

М. Hosny [303] при операции ЛАСИК использовал механический микрокератом Moria M2. Для формирования роговичного лоскута он применил одноразовые головки, рассчитанные на толщину роговичного лоскута 90 и 130 мкм. Послеоперационные результаты не показали статистически достоверной разницы изменений АВП, связанных с толщиной сформированного роговичного лоскута. Аналогичное заключение сделал Z.Y.Cheng [232], используя для формирования роговичного лоскута одноразовые головки на 110 и 130 мкм.

I.G. Pallikaris [497] проводил 2-х этапный LASIK с измерением ABП до операции и после каждого этапа. На первом этапе роговичный лоскут он формировал механическим микрокератомом и укладывал на стромальное ложе. Через 2 месяца роговичный лоскут поднимался шпателем и выполнялась эксимерная лазерная абляция стромы. По мнению автора, формирование роговичного лоскута не вызывает изменения рефракции и корригированной остроты зрения, статистически достоверно вызывает изменение ABП.

Ряд авторов [181, 444] для оценки результатов изменения аберраций связанных с LASIK предлагали наблюдать пациентов до 6 месяцев, особенно при миопии высокой степени.

38

По заключению J.Porter [516], разделение на 3 месяца этапов формирования роговичного лоскута и эксимерной лазерной абляции стромы не выявило статистически достоверной разницы изменения АВП, связанных с изолированным формированием роговичного лоскута. Наибольший вклад в изменение сферической аберрации после операции LASIK он связывает с абляцией роговичной стромы, а не с формированием роговичного лоскута, используя механический микрокератом.

1.8.3. Интрастромальная эксимерная лазерная абляция роговицы с использованием фемтосекундного лазерного микрокератома

Фемтосекундный лазер с высокой частотой следования импульсов и контролируемой компьютером сканирующей оптической системой доставки луча выполняет локализованные микрофоторазрушения, которые могут быть размещены рядом, формируя разрезы заданной формы [570]. Учитывая очень малую длительность лазерного импульса, данная процедура получила название фемтосекундного лазерного разреза – фемтодиссекции [24, 52].

Применение фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута с последующей интрастромальной эксимерной лазерной абляцией роговицы показало эффективность, безопасность, предсказуемость и стабильность при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма [88, 272, 346, 411, 526], в том числе у пациентов с тонкой роговицей [53, 584].

S.G. Slade и соавт. [563] при сравнении результатов ФРК и FemtoLASIK с толщиной сформированного роговичного лоскута 100 мкм не выявили статистически достоверных различий в величине сферической аберрации, вертикальной комы и горизонтальной комы в послеоперационном периоде.

Значительное количество научных работ посвящено сравнению роговичного лоскута, сформированного механическим микрокератомом и фемтосекундным лазером, и изменений АВП, связанных с их применением [53, 59, 106, 201, 205, 228, 245, 329, 340, 467, 468].

Многие исследователи отмечают преимущество фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута, так как он меньше индуцирует АВП по сравнению с механическим микрокератомом [53, 59, 361, 391, 586, 657]. Эту разницу связывают с разными по толщине профилями сформированного роговичного лоскута [648] и высказывают предпочтение для персонализированной коррекции АВП [436, 643].

Однако у пациентов, прооперированных LASIK и FemtoLASIK, не выявлено статистически достоверной разницы при сравнении индуцированных АВП в обеих группах [380, 655], так как величина корректируемой миопии была определяющим фактором индуцирования АВП [302].

1.8.4. Фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула

Femtosecond Lenticule Extraction (FLEx) – полностью фемтосекундный FemtoLASIK [185, 553, 592]. Комбинация фемтосекундного лоскута И фемтосекундной экстракции оптической линзы (лентикула). He требуя использования комплексных номограмм для расчета и тестирования энергии как у эксимерного лазера, фемтосекундный лазер облегчает рабочий процесс рефракционного хирурга. Рефракционные результаты при использовании FLEx не зависят от гидратации стромального ложа роговицы и окружающих условий благодаря (определенная температура, влажность воздуха) выполнению фемтосекундного среза вместо процесса абляции.

X.T. Zhou [663] показал эффективность, безопасность и предсказуемость FLEx для коррекции миопии с изучением изменения АВП.

J. Gertnere и соавт. [264] в своём исследовании сравнили изменения АВП после операции FemtoLASIK, оптимизированного по волновому фронту, и FLEx в течение годового периода наблюдения пациентов. По их мнению, после операции FLEx индуцирование АВП было статистически достоверное меньше, чем после FemtoLASIK, оптимизированного по волновому фронту, а контрастная чувствительность выше.

Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) - удаление роговичного лентикула через малый разрез (2-3 мм) - микроинвазивная экстракция роговичного лентикула [554].

В работе R.Shah [558] показана эффективность, безопасность и предсказуемость SMILE для коррекции миопии с изучением изменения АВП.

W. Sekundo и соавт. [555] в своём исследовании показали незначительное индуцирование АВП после операции SMILE без изменения показателей контрастной чувствительности. К аналогичным результатам пришли и другие исследователи [325, 382, 438, 506, 632, 635].

Ряд авторов [383, 395, 396] связывают индуцирование горизонтальной комы на начальных этапах освоения операции SMILE с горизонтальной децентрацией при формировании роговичного лентикула.

A. Lazaridis и соавт. [366] описали, что центрация при операции SMILE лучше, чем при проведении операции FemtoLASIK с использованием активного трекера.

В целом, ряд исследователей при сравнении индуцирования АВП после операций SMILE и FemtoLASIK [258, 277, 385, 392, 625, 632] пришли к выводу, что SMILE имеет более низкую величину индукции АВП, в т.ч. сферической аберрации чем FemtoLASIK и LASEK [645].

Значительное количество работ посвящено сравнению изменений АВП после операции FLEx и SMILE и изменений АВП, связанных с их применением. [132, 228, 593]. По мнению А.Н. Vestergaard и соавт. [593], изменения АВП были похожи и статистически достоверно не отличались. При этом D.К. Тап и соавт. [575] отметили лучшую контрастную чувствительность после операции SMILE, чем после операции FLEx.

К. Катіуа и соавт. [332] выполнили работу по сравнению изменений АВП после операции FLEx и операции FemtoLASIK с коррекцией предоперационных АВП (WFG-FemtoLASIK) у пациентов с миопией. При измерении послеоперационных аберраций в глазах при ширине зрачка 6 мм изменения аберраций четвертого порядка после FLEx были статистически значительно

41

меньше, чем у пациентов, перенёсших операцию FemtoLASIK с коррекцией предоперационных ABП (WFG-FemtoLASIK), а аберрации третьего порядка статистически достоверно не различались. На основании полученных результатов К. Катiya и соавт. [332] пришли к выводу, что FLEx, по существу, эквивалентна операции FemtoLASIK с коррекцией предоперационных ABП (WFG-FLASIK) по результатам полученной остроты зрения и индуцирования ABП, хотя характеристики индуцирования ABП разные.

1.9. Персонализированная коррекция лазерной кераторефракционной операцией

Асферический профиль абляции

Оптика глаза состоит из оптических поверхностей, в которых, по меньшей мере, одна поверхность отклоняется от сферической формы.

Обычные профили абляции роговицы для эксимерных лазеров индуцируют дополнительные аберрации изображений в оптической системе глаза, особенно сферические аберрации. Это основная причина наблюдаемого ухудшения качества изображения, особенно в условиях низкой освещенности [62] и последующего большого диаметра зрачка.

Таким образом, асферические профили абляции в настоящее время разработаны и оптимизированы для всех лазерных платформ. Работающие способы включают индивидуальные профили коррекции на основе индивидуальных данных волнового фронта передней топографии роговицы, с одной стороны, и профилей коррекции, которые минимизируют индуцирование сферической аберрации с другой стороны [465].

Асферическая поверхность оптических элементов обеспечивает коррекцию аберраций, особенно сферическую аберрацию. Оптические аберрации человеческого глаза теоретически могут быть сведены к минимуму за счет использования асферической оптики. Тем не менее, результаты всегда зависит от оптических свойств роговицы и хрусталика.

Такие профили абляции должны быть разработаны и оптимизированы для конкретной лазерной платформы. Математические теоретические расчеты кажутся необходимым, но недостаточным условием. Биологическая реакция стромы роговицы и эпителия ("биодинамический отклик") может быть определена только экспериментально и должна привести к корректировке вычисленного алгоритма абляции. Результаты исследователей показывают, что асферические профили, разработанные на этой основе, могут привести к значительному снижению индуцированной сферической аберрации. Эффект, однако, ограничивается биологической реакцией и последующим повышением периферической глубины абляции [155, 158, 242, 335, 424, 479, 527, 569, 649, 661].

Т. Seiler и соавт. [549], используя асферические профили абляции при проведении ФРК у пациентов с миопией, отметили более высокую оптическую однородность в глазах, по сравнению со стандартным профилем абляции роговицы.

Многие учёные [134, 143, 156, 262, 286, 585] отметили меньшее индуцирование АВП после операции LASIK с использованием асферического профиля абляции по сравнению с результатами, полученными после LASIK со стандартным профилем абляции.

Оптимизированный профиль абляции (Wavefront-optimised)

По мнению S. Arba-Mosquera и соавт. [152], целью применения оптимизированного профиля абляции является сохранение предоперационного уровня аберрации при эксимерных лазерных кераторефракционных операциях.

Ряд авторов [135, 590] отмечают значительное индуцирование роговичных АВП после операции LASIK с применением оптимизированного профиля абляции при коррекции миопии.

Ряд исследователей [229, 263, 343, 493] отметили, что несмотря на хороший послеоперационный рефракционный результат и высокую остроту зрения LASIK [246,] и ФРК [250, 471] с применением оптимизированного профиля абляция

вызывает значительные увеличение АВП, а применение больших зон абляции способно уменьшить индукцию сферической аберрации [493].

J.D. Au и соавт. [173] отметили, что после FemtoLASIK с оптимизированным профилем абляции было отмечено увеличение АВП, без существенного индуцирования сферической аберрации.

По данным D. Smadja и соавт. [564], величина индуцированных АВП после LASIK с оптимизированным профилем абляции линейно связана со степенью корректируемой миопии.

Профиль абляции с коррекцией предоперационных АВП (Wavefront-Guided)

М. Mrochen, М. Kaemmerer, Т. Seiler [460] на рубеже XX-XXI веков представили результаты трёх оперированных пациентов с миопией методом wavefront-guided LASIK. По данным авторов, Wavefront-Guided LASIK предоставляет уникальные возможности для коррекции аномалий рефракции, улучшения остроты зрения, а также качества зрения, особенно в мезопических условиях [461, 95].

Многочисленные исследователи [138, 243, 337, 414, 425, 447, 442, 461, 501, 528, 601, 621] показали, что основное применение Wavefront-Guided профиля эксимерной лазерной абляции роговицы - оптимизация существующих методов лечения, таких как LASIK или ФРК, и исправление предоперационных АВП для улучшения оптических характеристик глаза при мезопических условиях с увеличением контрастной чувствительности.

Применение технологии распознавания глаза пациента iris registration [154, 342, 653] или iris recognition [624] с учётом торсионного изменения положения глаза пациента при перемещении пациента из вертикального положения (этап диагностики АВП) в горизонтальное положение (этап хирургии АВП) повышало качество лечения.

Тем не менее ряд авторов [157, 176, 192, 294, 314, 315, 331, 355, 357, 437, 490, 562, 565, 649] отмечали у части пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма частичное снижение, недокоррекцию и/или индуцирование АВП, в т.ч. сферической аберрации [177, 613] при использовании wavefront-guided профиля эксимерной лазерной абляции роговицы.

Сравнительное исследование эффективности Wavefront-Guided LASIK и стандартного LASIK [274, 482, 578] показало лучшую контрастную чувствительность в мезопических условиях у пациентов, перенёсших операцию Wavefront-guided LASIK, но по заключению [348] это изменение не было статистически достоверным.

Сравнительное исследование эффективности Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-optimised LASIK [291, 292, 458, 469, 491, 508, 535, 560] по данным [446] показало увеличение АВП в обеих группах, а статистически достоверной разницы между такими полиномами, как кома, трефойл, сферическая аберрация и показателями контрастной чувствительности у пациентов не выявлено.

C.W. von Mohrenfels и соавт. [600] провели сравнительное исследование эффективности Wavefront-guided LASIK и Wavefront-optimised LASIK у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом. Исследователи не выявили преимуществ Wavefront-Guided LASIK по сравнению Wavefront-optimised LASIK в показателях АВП, особенно в случаях с низкими показателями предоперационных АВП.

Y. Feng и соавт. [251] провели мета-анализ между группами пациентов, перенесших Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-optimised LASIK, чтобы определить различия в клинических исходах. По результатам анализа было установлено, что Wavefront-Guided LASIK имеет преимущество перед Wavefrontoptimised LASIK у пациентов с предоперационным показателями $AB\Pi > 0.3$ мкм. На основании полученных данных авторы сделали вывод, что технология Wavefront-Guided LASIK может быть более подходящим выбором для пациентов с миопией И сложным миопическим астигматизмом, которые имеют предоперационные значения АВП > 0,3 мкм.

45

В своей работе с наглядным названием «Wavefront-guided surgery is not for everybody!» Th. Seiler [551] ограничил эффективность применения технологии Wavefront-Guided предоперационной величиной АВП 0,3 мкм.

1.10. Комбинированные профили эксимерной лазерной абляции роговицы

De Brabander J. и соавт. [237] отметили, что асферическая поверхность позволит улучшить на сетчатке качество изображения в случае высокой аметропии и селективное воздействие на сферическую аберрацию может значительно улучшить контрастную чувствительность у аметропов.

После ФРК и других рефракционных хирургических вмешательств, жалобы на гало, блики, и монокулярную диплопию являются общими. Эти операции увеличивают асферичность роговицы, что может вызвать оптические искажения.

По мнению Т. Seiler [550], послеоперационная острота зрения коррелирует с эффективной коррекцией сферической аберрации. Эффективная коррекция сферической аберрации свидетельствует об оптических характеристиках асферических роговиц.

Ряд работ посвящён подходам для коррекции сферической аберрации при разработке технологий эксимерных лазерных рефракционных операций [2, 3, 4, 41, 55, 103, 115, 189, 199, 413, 462, 528, 640]. В частности, S. MacRae и соавт. [413] установили, что после центральной абляции роговицы в оптической зоне диаметром 4 мм происходит незначительное изменение сферической аберрации, а в зоне от 4 мм до 6 мм увеличивается сферическая аберрация. На основании полученных данных они сделали вывод, что новые профили абляции требуют большего уплощения в средней периферии роговицы, которые влекут за собой большее смещения периферии и большие переходные зоны.

Для предотвращения индуцирования сферической аберрации при абляции роговицы в коррекции миопии было предложение дополнительного уплощения периферии роговицы при добавочной абляции [222, 426, 463, 464, 546]. L. Mastropasqua и соавт. [426] предложили при коррекции миопии после основного

этапа абляции роговицы ФРК проводить дополнительную кольцевидную абляцию шириной 1-2 мм на периферических отделах роговицы.

Исследование глазных АВП у пациентов с гиперметропией и миопией перед операцией показало более высокий уровень сферической аберрации гиперметропов по сравнению с миопами [285, 397].

Эксимерная лазерная абляция роговицы при коррекции гиперметропии вызывает увеличение кривизны центральной части роговицы и уплощение средней части роговицы, что приводит к изменению сферической аберрации [484, 606].

Сравнение изменений сферической аберрации после эксимерной лазерной абляция роговицы при миопии [180, 182, 187, 293, 356] и гиперметропии [180,187, 368, 398] выявило, что векторы увеличения индуцированной сферической аберрации разнонаправлены [398]. Величина индуцированной сферической аберрации при коррекции гиперметропии отличается от величины индуцированной сферической аберрации при коррекции миопии [293, 356, 398] с коэффициентом 2,46 и 1,6 соответственно по данным А.Benito и соавт. [180].

Глубина, профиль абляции существенно влияют на распределение АВП. Разработка вклада определенных комбинаций миопического и гиперметропического профилей абляции может быть в будущем применена для компенсации периферических оптических АВП [293, 399], а номограммы, включающие коррекцию сферической аберрации, может повысить точность результатов лечения [182, 370].

1.11. Селективная коррекция АВП

Технология Wavefront-Guided эксимерной лазерной абляции роговицы предназначена для предоперационного измерения и коррекции аберрации низшего и высшего порядка. Однако, по мнению S.C. Schallhorn и соавт. [544]

47

АВП могут увеличиваться после Wavefront-Guided LASIK, и причины увеличения АВП могут быть многофакторны.

По мнению С.Т.Hood и соавт. [302], на индуцирование АВП при выполнении Wavefront-Guided LASIK оказывает влияние не толщина и диаметр роговичного лоскута, а величина сфероэквивалента.

Помимо предоперационного сфероэквивалента [137], по данным исследования, проведенного J.Bühren и соавт. [193], на изменение АВП оказывает влияние диаметр оптической зоны, создание децентрации абляции влияет на индуцирование АВП, в частности, комы. Влияние децентрации на уровень послеоперационной комы также отмечают V.Soler и соавт. [567].

Разные исследователи [137, 193] отмечают корреляцию между дооперационным и послеоперационным уровнем АВП. Величина АВП 0,25 мкм оказывает влияние на оптическое качество [422].

Установлено, что знание аберраций является важным фактором в планировании лечения [351], чтобы лучше понять взаимосвязь между аберрациями и визуальными эффектами, которые вызываются конкретными аберрациями [183, 243, 360].

Изменение шаблона абляции для компенсации индуцированных АВП может улучшить послеоперационный исход [137].

Показанием к проведению операции Wavefront-Guided LASIK является наличие значения RMS аберраций высших порядков более 0,3 мкм. [551].

При использовании Wavefront-Guided LASIK модифицируются подходы и оптимизируются показания к применению данной технологии. [341, 544, 551]. Волновой фронт состоит из отдельных АВП [16], при этом клинически значимыми в человеческом глазу являются 1-2 АВП [130]. Поэтому вполне логично обоснована коррекция только 1-2 клинически значимых АВП. В офтальмологической литературе в настоящее время имеются единичные публикации об эксимерлазерной абляции роговицы с избирательной коррекцией АВП [341].

Таким образом, распространенность АВП при миопии и сложном миопическом астигматизме определяет актуальность изучения АВП для совершенствования знаний врачей-офтальмологов о степени влияния разных факторов в диагностике, современных методах коррекции аметропии.

Ранее описанные экспериментальные модели эксимерной лазерной абляции не раскрывают особенности селективного воздействия при коррекции АВП.

Современные научные достижения позволяют рассматривать комбинированную эксимерную лазерную абляцию роговицы как способ, корректирующий индуцирование сферической аберрации при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

Сложности предоперационной диагностики АВП, выбора оптимального хирургического вмешательства связаны с недостаточным алгоритмом интерпретации полученных данных. Исследований о чувствительности, точности этих технологий до сих пор недостаточно.

Хирургические методы коррекции АВП многообразны при лазерном лечении миопии и сложного миопического астигматизма. Их выбор часто определяется наличием определенного количества хирургических приемов. В настоящее время оптимальные алгоритмы коррекции АВП не определены. В научной литературе отсутствуют контролируемые исследования селективного воздействия на АВП с помощью эксимерного лазера. Отсутствует системный подход в коррекции АВП от предоперационного уровня АВП, выбора способа хирургического вмешательства, вида лазерного излучения при удалении роговичной ткани с рефракционной целью.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Дизайн исследования

Настоящее исследование включало четыре этапа (Рисунок 2.1). На первом этапе изучена современная отечественная и зарубежная литература по коррекции аберраций высшего порядка (АВП) в лазерной рефракционной хирургии миопии и миопического астигматизма. Сформулирована научная гипотеза: послеоперационные величины АВП не одинаковы при



Рисунок 2.1 – Дизайн исследования

влиянии разных факторов, эффективность коррекции АВП можно повысить, если учитывать факторы, влияющие на развитие дооперационных АВП, биомеханические изменения роговицы, условия операционного индуцирования АВП, клинические особенности (величина зрачка, характеристика хрусталика, вид рефракции).

На втором этапе проведено экспериментальное исследование, которое включало разработку математической и компьютерной модели оптики глаза, модель рефракционной операции LASIK для расчета геометрических аберраций волнового фронта. Моделирование глубины селективной абляции роговицы в эксперименте на контактных линзах из полиметилметакрилата проведено на основе подхода с отысканием неосесимметричного обобщения формулы Маннерлина. Для изучения влияния биомеханических изменений роговицы от способа формирования роговичного лоскута на АВП была построена расчетная конечноэлементная модель роговицы.

На третьем этапе проведено ретроспективное исследование для оценки индуцирования АВП и влияния способов формирования роговичного лоскута на АВП. В исследование включены 152 пациента, проживающих в г. Екатеринбурге и Свердловской области, обратившихся в Екатеринбургский центр "Микрохирургия глаза".

Четвертый этап включал ретроспективное и проспективное контролируемое исследование 472 пациента с миопией и сложным миопическим астигматизмом. Пациентам было проведено клиническое и офтальмологическое исследование: аберрометрия, кератотопография, томография, оптическая когерентная Шеймпфлюга, исследование оптических срезов вращающейся камерой исследование контрастной чувствительности. Лечение пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом включало проведение эксимерной фемтосекундной лазерной И лазерной хирургии роговицы. Для оценки результатов лечения использованы статистические методы. По завершении исследования сделаны выводы.

2.2. Экспериментальное исследование

2.2.1. Математическое и компьютерное моделирование оптики глаза

Экспериментальное исследование включало разработку математической и компьютерной модели оптики глаза. Разработанная модель глаза состоит из роговицы, передней камеры, хрусталика, стекловидного тела и сетчатки и использована для расчета аберраций по Хартману-Шаку [183]. Компьютерная модель хрусталика построена на основании работ R.Navarro и соавт. [473]. Для оценки функций, задающей переднюю и заднюю поверхности хрусталика, использованы математические формулы [473].

Экспериментальное исследование включало так же разработку модели рефракционной операции LASIK для расчета геометрических аберраций волнового фронта. На контактных линзах из полиметилметакрилата проведено моделирование различных режимов селективной абляции роговицы. Для изучения влияния биомеханических изменений в зависимости от способа формирования роговичного лоскута на АВП построена расчетная конечноэлементная модель роговицы. При этом принималось во внимание, что лоскут, возвращенный на роговицу после операции, выполняет защитную функцию и не оказывает влияния на жесткость роговицы.

Для оценки достоверности расчетов выполнены измерения толщины лоскута, величины абляции (Δ u, Δ h, мкм) при операции Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-Guided FemtoLASIK. Измерения толщины роговицы проводили до операции, в процессе операции и после операции. Экспериментальные расчетные данные приведены для 6 мм четырех диаметральных сечений роговицы. Измерения толщины роговицы проводили на оптическом когерентном томографе переднего отрезка глаза Visante (Carl Zeiss Meditec, Германия).

2.2.2. Характеристика искусственно созданной роговицы глаза для моделирования различных режимов селективной абляции

Исследование проведено на 50 контактных линзах (Лаборатория оптической коррекции зрения КОКОБ, Россия), имитирующих роговицу человеческого глаза. Линзы выполнены из полиметилметакрилата диаметром 10 мм, толщиной 520±34 мкм, радиусом кривизны 7,8 мм и оптической силой 3,81±0,16 D. Измерение толщины линз проводили на оптическом когерентном томографе переднего отрезка глаза Visante (Carl Zeiss Meditec, Германия) до абляции и после абляции. Оптическую силу линз оценивали на линзметре AUTO LENS METER TL-2000В (TOMEY). Оптическая сила комбинации контактная линза и аберрометрический шаблон была равна 0 D. Контактную линзу размечали при помощи маркера в меридиане 12 часов и помещали в шаблон строго по меридиану при помощи устройства собственной конструкции, исключающего децентрацию линзы (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Установка и центрация контактной линзы в шаблон аберрометра WASCA

Шаблон имел постоянную рефракцию. Аберрации шаблона были стабильными при проведении измерений до и после моделирования операции. На шаблоне измеряли следующие параметры: аберрации волнового фронта (ВФ),

величину среднеквадратичного корня суммы всех оптических аберраций (RMS), оптических аберраций высшего порядка (RMS HO) и величины всех аберраций в виде коэффициентов Zernike по нотации Malacara на аберрометре WASCA (Wavefront Aberration Supported Customise Ablation) (Carl Zeiss Meditec, Германия) в скотопических условиях с максимально возможным на тестовом искусственном глазе диаметром анализируемой зоны в 5 мм.



Рисунок 2.3 – Измерение АВП в оптической системе, включающей линзу и аберрометрический шаблон на аберрометре WASCA (тип Hartman-Shake)

Аналогичным образом проводили измерения после проведения абляции. Для измерений использовали аберрометр WASCA (Рисунок 2.3), так как он обладает минимальной вариабельностью и наибольшей повторяемостью полученного результата при обследовании одного и того же объекта по сравнению с другими моделями аберрометров [533]. Полученные в результате измерений величины всех аберраций в виде коэффициентов Zernike по нотации Malacara с аберрометра WASCA, экспортировали в компьютер (CRS-Master) (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.4).

Treatment Planning		
Lens18, Lens18 4/24/200	08 OD 🥽 🚮 OS	
Refraction @ 12.50 mm Sph(D) Cyl (D) Axis (°) Wavefront -0.12 0.13 130 Manifest -3.75 2 0.00 2 0 1	Wavefront All/Allon Topocrashy Maps Palettee Divertarys Pront View Side View Wavefront Aberration Higher Order 1.00 - 0.82 - 0.64 - 0.45 -	Flap Cutter Default Pachymetry 567 [µm] Flap Thickness 180 [µm] including 1 SD Ablation Depth 46 [µm]
Target 0.00 1 0 Refraction Treated Sph[0] Cyl [D] Axis [°] Treated -3.75 0.00 0 Optical Zone	0 277 - 0 09 - - 0.39 - - 0.27 - - 0.45 - - 0.84 - - 0.82 - - 0.84 - - 0.82 - - 0.10 - (µm) Standard Scale	Post-op RST 341 [µm] (LUSmm05270° K-Readings [mm] [D] K mean 7.66 [42.94] Default User Troco Default 2-Shift
5.00 [mm] 5 5.5 6 6.5 7 Wavefront Corrections 0.19 [µm] RMSHO 6.00 [mm] Analysis	Custom Scale 270* Wreverront Ablation Topography Mass Plattes Diversary Pront View Side View Ablation Higher Order	Reduce Ablation 0.00 [µm] Add PTK 50 0 +50 Z=Elip 0.00 [µm] 50 0 0
Treatment Method Standard SCA Wavefront I and Service I and Service I and Service	1.30 - 1.18 - 1.06 - 0.94 - 0.83 - 0.71 - 0.59 - 0.47 - 0.47 - 0.35 - 0.47 - 0.35 - 0.47 - 0.35 - 0.44 - 0.47 - 0.59 -	Treatment Assistant Manifest Spherical Equivalent is not consistent with Wavefront Refraction.
Procedure © LASIK © Surface Ablation Profile © Aberration Smart Ablation © Tissue Saving Ablation	0.12 - [µm] 0.00 - Scale Auto Scale Custom Scale 270	Catcleta Close Summary Page

Рисунок 2.4 – План расчета селективной абляции горизонтальной комы Z (3;1) линзы № 18 на системе CRS-Master (Carl Zeiss Meditec, Германия). В верхней части рисунка цветовая диаграмма всех аберраций высшего порядка анализируемой оптической системы, в нижней части рисунка - цветовая диаграмма горизонтальной комы Z (3;1), селективно активируемой в режим абляции

Во всех случаях была проведена эксимерлазерная абляция (Рисунок 2.5) по миопическому алгоритму. В результате абляции оптическая сила контактной линзы была наиболее близка к нулевой. Абляцию линз выполняли на эксимерном лазере MEL-80, работающего по технологии «летающего пятна» диаметром 0,7 мм с гауссовским профилем абляции и длиной волны 193 нм (Carl Zeiss Meditec, Германия) с диаметром оптической зоны 6 мм.



Рисунок 2.5 – Процесс абляции линзы из полиметилметакрилата на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) с диаметром оптической зоны 6 мм

Экспериментальные линзы были разделены на 5 групп для изучения изменения АВП в разных режимах абляции.

В 1-ой группе на 10 линзах проведена стандартная абляция в режиме Aberration Smart Ablation, подразумевающем отсутствие коррекции АВП и коррекцию аберраций только низших порядков, таких как дефокус.

Во 2-ой группе на 10 линзах проведена абляция в режиме Wavefront-Guided по персонализированному файлу абляции с коррекцией АВП линз, полученных при помощи аберрометра WASCA, интегрированного в систему CRS-Master.

В 3-ей группе на 10 линзах проведена абляция в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией горизонтальной комы Z(3;1).

В 4-ой группе на 10 линзах проведена абляция в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией вертикальной комы Z(3;-1).

В 5-ой группе на 10 линзах проведена абляция в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией сферической аберрации Z(4;0).

Экспериментальные и расчетные данные приведены для четырех диаметральных сечений на диаметре линзы 6 мм. Измерения толщины роговицы проводили на оптическом когерентном томографе переднего отрезка глаза Visante (Carl Zeiss Meditec, Германия) до операции и после операции. Вычисления проводили для двух значений толщин линзы: 1) исходная толщина линзы до проведения операции; 2) толщины линзы после абляции, Δu, Δh, мкм.

2.3. Общая характеристика обследованных пациентов

В Екатеринбургском Центре МНТК «Микрохирургия глаза» с 2006 по 2016 гг. было проведено обследование и лечение 472 пациента с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

В работу вошли результаты проспективного исследования и лечения 472 пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом (944 глаз).

Среди обследованных пациентов было 283 (60,1%) женщин и 189 (39,9%) мужчина.

Критерии включения: лица мужского и женского пола в возрасте от 18 до 40 лет с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

Критерии исключения: лица мужского и женского пола в возрасте младше 18 и старше 40 лет, пациенты с нестабилизированной рефракцией, имеющие аутоиммунные заболевания, сахарный диабет, болезни соединительной ткани, ВИЧ-инфекцию, хронические воспаления век и глазного яблока, катаракта, глаукома, отслойка сетчатки, нейродермит, экзема, псориаз, дерматиты, заболевания онкологические и эндокринной системы, бронхиальная астма, синдром "сухого глаза". Возраст больных варьировал от 18 до 40 лет (средний возраст 28,2±5,9 лет), пациентов стратифицировали по полу и возрасту с 5-летним интервалом (табл. 2.1).

Кол-во						
пациен-	18-20	21-25	26-30	31-35	36-40	Всего
тов						
Абс.	43	124	128	126	51	472
%	9,11	26,27	27,12	26,69	10,81	100

Таблица 2.1 – Распределение пациентов по возрасту

В группу сравнения включены 72 пациента в возрасте от 18 до 40 лет (31 мужчина, 41 женщина) перенесшие операцию LASIK. Пациенты группы сравнения не предъявляли жалоб на низкую остроту зрения вдаль и вблизи с очковой коррекцией, двоение, не имели затруднения при чтении, работе за компьютером, не пользовались глазными каплями.

2.4. Клиническое и офтальмологическое обследование пациентов

Клиническое обследование включало изучение жалоб больных, развития заболевания, анамнеза жизни, данных осмотра.

При расспросе пациента уточнялись жалобы на наличие снижения зрения. При изучении развития заболевания выясняли характер, сроки снижения остроты зрения (O3), методы и эффективность проводимого ранее лечения. При сборе анамнеза жизни выясняли продолжительность заболевания и сопутствующие заболевания.

Перед оперативным лечением пациенты при необходимости были обследованы специалистами (терапевт, эндокринолог, кардиолог, дерматолог, пульмонолог, инфекционист). Дополнительные методы исследования пациентов включали электрокардиографию, флюорографию легких, спирографию, измерение артериального давления, лабораторные методы исследования (общий клинический анализ мочи, крови; биохимический анализ крови; анализ крови и мочи на сахар; анализ крови на гепатит В, гепатит С, ВИЧ).

обследование Офтальмологическое операции проводилось до всем пациентам и включало следующие методы исследования: кераторефрактометрия, визометрия без циклоплегии и визометрия с циклоплегией, оптическая биометрия, исследование полей зрения, кератотопография, аберрометрия, исследование контрастной чувствительности, тонометрия, ультразвуковая пахиметрия, ультразвуковое А- и В-сканирование.

После этого выполняли биомикроскопию, офтальмоскопию, исследование глазного дна с трехзеркальной линзой Гольдмана.

Кераторефрактометрию проводили с использованием автоматического автокераторефрактометра Topcon KR-8900 (Япония) и автоматического автокераторефрактометра Topcon KR-1 (Япония).

Для определения ОЗ использовали автоматический фороптер Topcon Auto Vision Tester CV-5000 (Япония) и набор пробных линз с оправой Carl Zeiss (Германия).

Глубину передней камеры, толщину хрусталика и длину глаза определяли ультразвуковым биометром-пахиметром Tomey AL-3000 (Япония), толщину роговицы OcuScan RxP (Alcon, США). При ультразвуковом измерении длина глаз у обследуемых пациентов составляла от 23,68 до 28,34 мм (в среднем 25,02±0,64 мм).

Поля зрения исследовали на периметре Форстера, квантитативную пороговую периметрию - методом количественной оценки дефектов поля зрения, на периметре Zeiss Meditec HFA-750i (Германия).

Скрининговый метод исследования внутриглазного давления проводится на пневмотонометре Topcon CT-80 (Япония) в положении сидя. Для контактного измерения внутриглазного давления (ВГД) использовали пневмотонометр Mentor 30 Classic (США). ВГД у пациентов до лечения варьировало от 14 до 21 мм рт.ст. (в среднем 17,1±2,9 мм рт.ст.).

Для дополнительной оценки состояния стекловидного тела, сетчатки и сосудистой оболочки проводили ультразвуковое В-сканирование А/В-сканирующей системой Humphrey 835 (США).

Биомикроскопию выполняли на щелевой лампе SL 30M Carl Zeiss (Германия). Офтальмоскопию выполняли переносным офтальмоскопом Heine Autofoc 2 с переносным зарядным устройством Heine Nica Tron S2 (Германия) и непрямым налобным бинокулярным офтальмоскопом Heine EN-20 (Германия), Keeler (Англия) с набором линз для бинокулярной офтальмоскопии 20 D (увеличение изображения 2,97х, поле зрения 50°), Triple 2 (72х, 60°), 28 D (2,13х, 58°).

Исследование глазного дна проводили на щелевой лампе SL 30M Zeiss (Германия) с универсальной линзой Гольдмана OG3M с тремя зеркалами с углом наклона 59°, 67°, 73° и широтой обзора глазного дна и передней камеры в 120° (Ocular Instruments, США).



Рисунок 2.6 – Оптический когерентный томограф Visante OCT (Carl Zeiss Meditec, Германия)

Оптическую когерентную томографию (ОКТ) роговицы у пациентов с миопией выполняли на оптическом когерентном томографе Visante OCT (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.6) с разрешением 5 мкм. Методом ОКТ определяли толщину роговицы до и после операции, толщину роговичного лоскута после операции. Полученные данные заносили в протокол. Измерение толщины лоскута у пациентов после операции в центре роговицы и в 1, 2 и 3 мм от центра проводили на оптическом когерентном томографе Visante OCT (Carl Zeiss Meditec) в режиме режимах High Resolution Corneal Quad и High Resolution Corneal Single.



Рисунок 2.7 – Кератотопограф ATLAS 995 (А) и ATLAS 9000 (Б) (Carl Zeiss Meditec, Германия)

А



Рисунок 2.8 – Расчет персонализированного файла топографической абляции

Кератотопографическое исследование роговицы проводили на кератотопографах ATLAS 995 (Рисунок 2.7) и ATLAS 9000 (Рисунок 2.7) (Carl Zeiss Meditec, Германия) путем трехкратного измерения для исключения субклинического кератоконуса, исследования роговичных АВП, для формирования персонализированного файла абляции при операциях Topography-guided LASIK на основе топографического измерения.



Рисунок 2.9 – Комбинированная диагностическая хирургическая станция CRS-Master (Customized Refractive Surgery) (Carl Zeiss Meditec, Германия)



Рисунок 2.10 – Эксимерный лазер сканирующего типа MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия)

Персонализированный файл для абляции роговицы рассчитывался (Рисунок 2.8), формировался и сохранялся на офтальмологической станции CRS-Master (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.9) с последующей передачей через USB-

flash накопитель в эксимерный лазер MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.11 – Прибор для определения контрастной чувствительности CSV-1000 (Vector Vision, США)

Перед операцией и через 1, 3, 6 и 12 месяцев исследовали контрастную чувствительность на частотах 3, 6, 12 и 18 циклов/градус на аппарате CSV-1000 (Vector Vision, США) (Рисунок 2.11).

2.5. Методы исследования аберраций высшего порядка

Перед операцией и через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции измеряли аберрации волнового фронта (ВФ), величину среднеквадратичного корня суммы всех оптических аберраций (RMS), оптических АВП (RMS HO) и величину АВП в виде коэффициентов Zernike по нотации Malacara и OSA в µm (мкм) (Рисунок 2.12) в фотопических, а также в скотопических условиях (Рисунок 2.13), при немедикаментозном мидриазе с диаметром зрачка 6 мм на аберрометре WASCA (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.14).



Рисунок 2.12 – Аберромограмма правого глаза пациента Л. по нотации Malacara (слева) и OSA (справа)



Рисунок 2.13 – Аберрометрическое исследование глаза в фотопических и скотопических условиях с системой OcuLign для совмещения изображений для аберрометрического файла абляции с распознаванием рисунка радужки (Eye Registration) и компенсацией циклоторсии и смещения центра зрачка (Offset / Torsion) на эксимерном лазере MEL-80

64



Рисунок 2.14 – Аберрометр WASCA (Wavefront Aberration Supported Cornea Ablation) (Carl Zeiss Meditec, Германия)

Данные аберрометрического исследования переносили в CRS-Master (Carl Zeiss Meditec, Германия) для формирования персонализированного файла абляции при операциях Wavefront-Guided LASIK, Wavefront-Guided Selective LASIK, Wavefront-Guided Epi-LASIK, Wavefront-Guided Selective Epi-LASIK, Wavefront-Guided FemtoLASIK (Рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Расчет персонализированного файла аберрометрической абляции

Персонализированный файл для абляции роговицы рассчитывали, формировали и сохраняли на офтальмологической станции CRS-Master (Carl Zeiss Meditec, Германия) с последующей передачей через USB-flash накопитель в эксимерный лазер MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия).

Для исключения субклинического кератоконуса исследования роговичных АВП у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом проводили трехкратное исследование глаз на Pentacam HR (Oculus, Германия) (Рисунок 2.16). Компьютер прибора Pentacam HR, используя полученную серию цифровых снимков оптических срезов роговицы анализа (138 000 истинных точек) рассчитывал трехмерную модель передней и задней поверхности роговицы. Компьютерный анализ передней поверхности роговицы. Компьютерный анализ передней поверхности роговицы.



Рисунок 2.16 – Диагностическая станция (Pentacam HR) для исследования переднего отрезка глаза методом Шаймпфлюг (Oculus, Германия)

2.6. Методы лазерной коррекции аберраций высшего порядка

Лазерную коррекцию АВП пациентам выполняли на двух офтальмологических лазерах: эксимерный лазер MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) с частотой следования импульса 250 Гц и фемтосекундный лазер

VisuMax (Carl Zeiss Meditec, Германия) (Рисунок 2.17) с частотой следования импульса 500 кГц со стандартным уровнем энергии 150±10nJ в отделении лазерной хирургии Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» в период 2006-2016 гг.



Рисунок 2.17 – Фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec, Германия)

Пациенты, получившие разные методы лазерной коррекции АВП были разделены на 11 групп (табл.2.2).

Таблица – 2.2 Группы оперированных пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом

Неперсонали-	1 группа	Стандартная операция LASIK				
зированные	72 пациента					
методы						
лечения						
Неселектив-	2 группа	Топографический LASIK				
ные	40 пациентов					
персонализи-	3 группа	Wavefront-Guided LASIK				
рованные	40 пациентов					
методы	4 группа	Wavefront-Guided Epi-LASI	X			
лечения	40 пациентов					
	5 группа	Wavefront-Guided FemtoLAS	SIK			
	40 пациентов					
Фемтосекунд-	6 группа	Фемтосекундная лазерная экстракция роговичного				
ные методы	40 пациентов	лентикула (FLEx) Микроинвазивная фемтосекундная лазерная				
лечения	7 группа					
	40 пациентов	экстракция роговичного лен	тикула (SMILE)			
Селективные	8 группа	Wavefront-guided LASIK	с селективной			
персонализи-	40 пациентов	коррекцией трефойла				
рованные методы	9 группа	Wavefront-Guided LASIK	9А подгруппа коррекция			
	40 пациентов	с селективной коррекцией	горизонтальной комы			
лечения		комы	9Б подгруппа коррекция			
			вертикальный комы			
	10 группа	Wavefront-uided LASIK c	10А подгруппа коррекция			
	40 пациентов	селективной коррекцией	квадрафойла			
		квалрафойла и	10Б подгруппа коррекция			
			вторичного астигматизма			
	44	вторичного астигматизма	~ ~			
	11 группа	LASIK с коррекцией сферической аберрации				
	40 пациентов					

2.6.1 Стандартная операция LASIK

Операция LASIK была выполнена 72 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

При анизометропии для решения о возможности проведения операции LASIK назначали пробную контактную коррекцию (патент РФ №2353342 от 27.04.2009). Непосредственно перед операцией LASIK после эпибульбарной анестезии Алкаин (Alcon) трехкратно измеряли толщину в центре роговицы ультразвуковым датчиком пахиметра RXP (Alcon) (Рисунок 2.18).



А

Рисунок 2.18 – Измерение центральной толщины роговицы ультразвуковым датчиком (А) пахиметра (Б) RXP (Alcon, США)

Роговичный лоскут формировали микрокератомом Moria Evolution 3E (Moria, Франция) с одноразовыми пластиковыми головками M2 Single Use (M2SU) 90 с вмонтированным металлическим лезвием для формирования лоскута толщиной 90 мкм (Рисунок 2.19).

После формирования микрокератомом роговичного лоскута его И отгибания, трехкратно измеряли толщину стромального ложа роговицы в центре. Толщина лоскута в центральной части была автоматически вычислена ультразвуковым пахиметром путем вычитания минимального значения толщины стромального ложа после формирования лоскута из минимального значения толщины роговицы до формирования лоскута (Рисунок 2.20).



Рисунок 2.19 – Формирование роговичного лоскута при операции LASIK микрокератом Moria 3E (Moria, Франция) одноразовой пластиковой головкой M2 Single Use (M2SU) 90 с вмонтированным металлическим лезвием для формирования лоскута толщиной 90 мкм

Readings	#1	#2	#3	Min	Flap Achieved	Potential Ablation	Ablated	Potential Enhancement
Pre-Op	493	489	495	489				
Post-Flap	403	393	399	393	96	143		
Post Ablation	311	292	295	292			101	
Post-Op	480	484	468	468				122

Рисунок 2.20 – Пахиметрический протокол при операции LASIK, выполненный ультразвуковым пахиметром RXP (Alcon, США)

Глаз пациента фиксировали пинцетом (патент на полезную модель № 63219 от 27.05.2007) (Рисунок 2.21).

Эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме ASA (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм. После проведения абляции ультразвуковым датчиком измеряли толщину стромального ложа в центре. Автоматически вычислялась толщина



Рисунок 2.21 – Фиксирование пинцетом глазного яблока для предотвращения циклоторсии с одномоментной защитой корня ножки роговичного лоскута при интрастромальной эксимерной лазерной абляции

аблированной роговичной ткани путем вычитания из значения толщины стромы абляции значения толщины стромы после абляции. После ДО укладки, промывания лоскута и подлоскутного пространства измеряли общую толщину В лечение роговицы. послеоперационном периоде проводили Тобрамицин (Tobramycin) и противовоспалительными антибактериальными Дексаметазон (Dexamethasone) препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными препаратами в каплях с целью профилактики вторичной 0.5% гипертензии Арутимол (Тимолол) (Тимолол) (Bausch&Lomb) И слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.6.2. Операция топографический LASIK

Операция топографический LASIK была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

До операции на глазу производили кератотопографическое исследование на кератотопографе ATLAS 995. Полученные В результате измерений кератотопографа ATLAS 995 данные экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции. Ha основании экспортированных данных кератотопографии И (дефокус, астигматизм), заведенных данных аберраций низшего порядка производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master (Рисунок 2.22).

Полученный файл персонализированный абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) для проведения эксимерной лазерной абляции. Непосредственно перед операцией топографический LASIK после эпибульбарной анестезии Алкаин (Alcon) трехкратно измеряли толщину в центре роговицы датчиком пахиметра RXP (Alcon). Роговичный ультразвуковым лоскут формировали микрокератомом микрокератом Moria 3E (Франция) С Single Use (M2SU) 90 одноразовыми пластиковыми головками M2 с вмонтированным металлическим лезвием для формирования лоскута толщиной 90 мкм. После формирования микрокератомом роговичного лоскута и его отгибания, трехкратно измеряли толщину стромального ложа роговицы в центре.

Толщина лоскута в центральной части была автоматически вычислена ультразвуковым пахиметром путем вычитания минимального значения толщины стромального ложа после формирования лоскута из минимального значения толщины роговицы до формирования лоскута. Эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Topography с диаметром оптической


Рисунок 2.22 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Топографический LASIK

зоны 6 мм. После проведения абляции ультразвуковым датчиком измеряли толщину стромального ложа в центре. Автоматически вычислялась толщина аблированной роговичной ткани путем вычитания из значения толщины стромы до абляции значения толщины стромы после абляции. После укладки, промывания лоскута и подлоскутного пространства измеряли общую толщину В послеоперационном роговицы. периоде проводили лечение Тобрамицин (Tobramycin) и антибактериальными противовоспалительными Дексаметазон (Dexamethasone) препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными препаратами в каплях с целью профилактики вторичной гипертензии Арутимол (Тимолол) 0,5% (Bausch&Lomb) и слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.6.3. Операция Wavefront-Guided LASIK

Операция Wavefront-Guided LASIK была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.



Рисунок 2.23 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Wavefront-Guided LASIK с включением аберраций 3-6 порядка

До операции на глазу производили измерение величин аберраций высшего порядка, таких как: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в фотопических, а также скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм. Полученные в результате измерений величины ABП в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции (Рисунок 2.23)



Рисунок 2.24 – Активация системы OcuLign для распознавания глаза пациента

(Eye Registration)



Рисунок 2.25 – Активации функции (Offset / Torsion) после поднятия роговичного лоскута для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка (Offset / Torsion) при абляции

На основании экспортированных данных АВП и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет

персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции. Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения эксимерной лазерной абляции с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) (Рисунок 2.24) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка (Offset / Torsion) (Рисунок 2.25) при абляции. Эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-Guided ASA (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм.

Формирование роговичного лоскута, его интраоперационное ультразвуковое кератопахиметрическое измерение, отгибание роговичного лоскута, его адаптацию к стромальному ложу и послеоперационное лечение проводили аналогично при операции топографический LASIK.

2.6.4. Операция Wavefront-Guided Epi-LASIK

Операция Wavefront-Guided Epi-LASIK была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом в возрасте.

До операции на глазу производили измерение величин аберраций высшего порядка, таких как: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм.

Полученные в результате измерений величины аберраций высшего порядка в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции. На основании экспортированных данных аберраций высшего порядка и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset/ Torsion) для компенсации



Рисунок 2.26 – Формирование эпителиального лоскута с назальной ножкой эпимикрокератом Epi-KTM Moria Evolution 3E (Moria, Франция) при операции Wavefront-guided Epi-LASIK



Рисунок 2.27 – Смещение эпителиального лоскута микроканюлей в назальную сторону при операции Wavefront-guided Epi-LASIK

циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции. Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения поверхностной эксимерной лазерной абляции. Для формирования эпителиального лоскута применяли эпимикрокератом Epi-KTM Moria Evolution 3E (Moria, Франция) (Рисунок 2.26).

Эпителиальный лоскут с помощью отсепаровывали металлическим сепаратором, вмонтированным в одноразовую пластиковую головку, имеющую аппланационную пластину.



Рисунок 2.28 – Просушивание поверхности боуменовой мембраны микротупфером при операции Wavefront-guided Epi-LASIK



Рисунок 2.29 – Поверхностная эксимерная лазерная абляция при операции Wavefront-guided Epi-LASIK

После формирования эпителиального лоскута, его смещали в назальную сторону (Рисунок 2.27). Поверхность боуменовой мембраны просушивали микротупфером (Рисунок 2.28).

Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения эксимерной лазерной абляции с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии И смещения центра зрачка при абляции. Поверхностную эксимерную лазерную абляцию роговицы (Рисунок 2.29) в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-guided ASA (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм. Эпителиальный лоскут укладывали на стромальное ложе. Операцию завершали наложением контактной линзы (Bausch & Lomb) на 3-4 суток. В послеоперационном периоде проводили лечение антибактериальными Тобрамицин (Tobramycin) противовоспалительными Дексаметазон И (Dexamethasone) препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными препаратами в каплях с целью профилактики вторичной гипертензии Арутимол (Тимолол) 0,5% (Bausch&Lomb) и слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.6.5. Операция Wavefront-Guided FemtoLASIK

Операция Wavefront-Guided FemtoLASIK была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

До операции на глазу производили измерение величин аберраций высшего порядка, таких как: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в фотопических, а также скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм.

Полученные аберраций результате измерений В величины высшего порядка в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) абляции. Ha персонализированного файла для расчета основании экспортированных данных аберраций высшего порядка и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции. Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения эксимерной лазерной абляции.



Рисунок 2.30 – Фиксирование контактной линзы (Treatment Pack) фемтосекундного лазерного микрокератома VisuMax (Carl Zeiss Meditec) к роговице пациента

В ходе операции Wavefront-guided FemtoLASIK по поводу миопии и сложного миопического астигматизма роговичный лоскут с запланированной толщиной 100 мкм, диаметром 8,5 мм и ножкой на 12 ч формировали с помощью фемтосекундного лазерного микрокератома VisuMax (Carl Zeiss Meditec). Для

формирования роговичного лоскута верхнюю часть специальной одноразовой контактной линзы фиксировали к лазерному микрокератому, а затем производили фиксацию при помощи вакуума нижней части специальной контактной линзы к роговице пациента (Рисунок 2.30).



Рисунок 2.31 – Слой микропузырьков газа, расслаивающий роговицу, формирующих вертикальный разрез в 100 мкм и создающий роговичный лоскут

Через эту линзу лазерный микрокератом производил формирование тончайшего слоя микропузырьков газа по спирали, расслаивающих роговицу в плоскости, формирующих вертикальный разрез в 100 мкм и создающих роговичный лоскут (Рисунок 2.31). Роговичный лоскут, сформированный фемтосекундным лазером, отделяли от стромального ложа микрошпателем.

Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения эксимерной лазерной абляции с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) после поднятия роговичного лоскута для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции.



Рисунок 2.32 – Интрастромальная эксимерная лазерная абляция при операции Wavefront-guided FemtoLASIK

Интрастромальную эксимерную лазерную абляцию (Рисунок 2.32) в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-guided ASA (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм. Послеоперационное лечение проводили аналогично как при операции LASIK.

2.6.6 Фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула (FLEx)

Операция фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула (FLEx) была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

Для формирования роговичного лоскута и роговичного лентикула в ходе операции FLEx использовали фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec) со стандартным уровнем энергии 150±10nJ.

Верхнюю часть специальной одноразовой контактной линзы фиксировали к лазерному микрокератому, а затем производили фиксацию при помощи вакуума нижней части специальной контактной линзы к роговице пациента. Через эту линзу лазерный микрокератом производил формирование тончайшего слоя микропузырьков газа по спирали, расслаивающих роговицу в плоскости и создающих оптическую линзу - лентикул и роговичный лоскут. Первым этапом формировали глубокий – рефракционный (имеющий кривизну, соответствующую степени корректируемой рефракции) срез в плоскости роговицы, который имел оптимизированную геометрию для максимального сохранения ткани



Рисунок 2.33 – Отделение роговичного лентикула пинцетом без касания

инструментом стромального ложа роговицы в проекции зрачка роговицы и диаметр 6 мм (диаметр оптической зоны). Вторым этапом формировали вертикальный круговой край роговичного лентикула толщиной в 15 мкм. Третьим этапом формировали роговичный лоскут толщиной в 120 мкм и диаметром 8 мм. Четвертым этапом формировали вертикальный край роговичного лоскута высотой в 120 мкм.

Край роговичного лоскута отделяли микрокрючком. Роговичный лоскут отслаивали шпателем и отворачивали в сторону ножки на 12 часах. Затем при помощи микрокрючка отслаивали край роговичного лентикула. Край лентикула роговицы захватывали пинцетом и отделяли от стромального ложа роговицы (Рисунок 2.33).

После этого роговичный лоскут укладывали обратно на стромальное ложе роговицы, промывали сбалансированным солевым раствором. Края лоскута просушивали микротупфером. В послеоперационном периоде проводили лечение антибактериальными Тобрамицин (Tobramycin) и противовоспалительными Дексаметазон (Dexamethasone) препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными препаратами в каплях с целью профилактики вторичной гипертензии Арутимол (Тимолол) 0,5% (Bausch&Lomb) и слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.6.7 Микроинвазивная фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула (SMILE)

Операция микроинвазивная фемтосекундная лазерная экстракция роговичного лентикула (SMILE) была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

Для формирования роговичного клапана и роговичного лентикула в ходе операции SMILE использовался фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec) со стандартным уровнем энергии 150±10nJ.

Верхнюю часть специальной одноразовой контактной линзы фиксировали к лазерному микрокератому, а затем производили фиксацию при помощи вакуума нижней части специальной контактной линзы к роговице пациента. Через эту линзу лазерный микрокератом производил формирование тончайшего слоя микропузырьков газа по спирали, расслаивающих роговицу в плоскости и создающих оптическую линзу - лентикул и роговичный клапан. Первым этапом формировали глубокий – рефракционный (имеющий кривизну, соответствующую степени корректируемой рефракции) срез в плоскости роговицы, который имел оптимизированную геометрию для максимального сохранения ткани роговицы и диаметр 6 мм (диаметр оптической зоны). Вторым этапом формировали вертикальный круговой край роговичного лентикула толщиной в 15 мкм. Третьим этапом формировали роговичный клапан толщиной в 120 мкм и диаметром 8 мм. Четвертым этапом формировали вертикальный дугообразный разрез роговичного клапана на протяжении 3.67 мм и высотой в 120 мкм.



Рисунок 2.34 – Удаление роговичного лентикула пинцетом через микронадрез во время операции SMILE

Микрокрючком роговицу расслаивали сначала в области поверхностного разреза, в который вводили микрошпатель и отслаивали роговичный клапан от передней поверхности лентикула. Затем в области глубокого среза микрокрючком отделяли край лентикула от стромы роговицы и микрошпателем отслаивали заднюю поверхность лентикула от стромального ложа роговицы. Роговичный лентикул захватывали микропинцетом и удаляли через вертикальный разрез шириной 3.67 мм (Рисунок 2.34).

Роговичный клапан и стромальное ложе промывали сбалансированным солевым раствором. Края поверхностного разреза просушивали микротупфером. В послеоперационном периоде проводили лечение антибактериальными Тобрамицин (Tobramycin) и противовоспалительными Дексаметазон (Dexamethasone) препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными препаратами в каплях с целью профилактики вторичной гипертензии Арутимол

(Тимолол) 0,5% (Bausch&Lomb) и слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.6.8. Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией трефойла

Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией трефойла была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

До операции на глазу производили измерение величин аберраций высшего порядка, таких как: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в фотопических, а также скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм.

Полученные в результате измерений величины АВП в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции. На основании экспортированных данных АВП и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции.

В компьютере CRS-Master из переданных данных выбирали АВП, абсолютные величины которых более 0,1375 мкм, затем из этих величин выбирали самую большую по абсолютному значению величину трефойла (Рисунок 2.35) и только ее из всех АВП закладывали в рассчитываемый файл абляции (патент РФ № 2420251 от 10.06.2011).



Рисунок 2.35 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Wavefront-Guided LASIK Selective с включением аберраций 3 порядка (трефойл)

В этот же компьютер вводили вручную данные аберраций низшего порядка (дефокус и астигматизм), полученные до операции путем визометрии.

Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения интрастромальной эксимерной лазерной абляции с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) после поднятия роговичного лоскута для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции. Интрастромальную эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-Guided Selective ASA (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм. Формирование роговичного лоскута, его интраоперационное ультразвуковое кератопахиметрическое измерение, отгибание роговичного лоскута, его адаптацию к стромальному ложу и послеоперационное лечение проводили аналогично при операции Wavefront-Guided LASIK.

2.6.9. Операция Wavefront-guided LASIK с селективной коррекцией комы

Операция Wavefront-guided LASIK с селективной коррекцией комы была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом. Пациенты были разделены на 2 подгруппы: с селективной коррекцией горизонтальной комы (подгруппа A) и с селективной коррекцией вертикальной комы (подгруппа Б).

До операции на глазу производили измерение величин АВП: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в фотопических, а также скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм.

Полученные в результате измерений величины АВП в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции. На основании экспортированных данных АВП и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции.

В компьютере CRS-Master из переданных данных выбирали АВП, абсолютные величины которых более 0,1375 мкм, затем из этих величин выбирали самую большую по абсолютному значению величину комы (Рисунок 2.36) и только ее из всех АВП закладывали в рассчитываемый файл абляции (патент РФ № 2420251 от 10.06.2011).

В этот же компьютер вводили вручную данные аберраций низшего порядка (дефокус и астигматизм), полученные до операции путем визометрии.

Полученные результате измерений ABΠ величины В В виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер **CRS-Master** (Customized Refractive Master) Surgery для расчета персонализированного файла абляции. На основании экспортированных данных АВП и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции.



Рисунок 2.36 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Wavefront-Guided LASIK Selective с включением аберраций 3 порядка

(кома)

Интрастромальную эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-guided ASA Selective (Aberration Smart Ablation) С диаметром 6 оптической лоскута, зоны MM. Формирование роговичного его интраоперационное ультразвуковое кератопахиметрическое измерение, отгибание роговичного лоскута, его адаптацию к стромальному ложу и послеоперационное лечение проводили аналогично при операции Wavefront-Guided LASIK.

2.6.10. Операция Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией квадрафойла и вторичного астигматизма

Операция Wavefront-guided LASIK с селективной коррекцией квадрафойла и вторичного астигматизма была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом. Пациенты были разделены на 2 подгруппы: с селективной коррекцией квадрафойла (подгруппа А) и с селективной коррекцией вторичного астигматизма (подгруппа Б).

До операции на глазу производили измерение величин АВП, таких как: кома, трефойл, вторичный астигматизм, квадрафойл, сферическая аберрация в виде коэффициентов Zernike на аберрометре WASCA в фотопических, а также скотопических условиях с диаметром зрачка не менее 6 мм.

Полученные в результате измерений величины АВП в виде коэффициентов Zernike с аберрометра WASCA экспортировали в компьютер CRS-Master (Customized Refractive Surgery Master) для расчета персонализированного файла абляции. На основании экспортированных данных АВП и заведенных данных аберраций низшего порядка (дефокус, астигматизм), производили расчет персонализированного файла абляции на компьютере CRS-Master.



Рисунок 2.37 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Wavefront-Guided LASIK Selective с включением аберраций 4 порядка (квадрафойл)

В компьютере CRS-Master из переданных данных выбирали АВП, абсолютные величины которых более 0,1375 мкм, затем из этих величин выбирали самую большую по абсолютному значению величину квадрафойла (Рисунок 2.37) или вторичного астигматизма (Рисунок 2.38) и только ее из всех АВП закладывали в рассчитываемый файл абляции (патент РФ № 2420251 от 10.06.2011). В этот же компьютер вводили вручную данные аберраций низшего порядка (дефокус и астигматизм), полученные до операции путем визометрии. Полученный персонализированный файл абляции загружали непосредственно в операционный компьютер эксимерного лазера для проведения эксимерной лазерной абляции с активацией системы OcuLign для распознавания глаза пациента (Eye Registration) и активации функции (Offset / Torsion) после поднятия роговичного лоскута для компенсации циклоторсии и смещения центра зрачка при абляции.



Рисунок 2.38 – Расчет персонализированного файла абляции для проведения операции Wavefront-Guided LASIK Selective с включением аберраций 4 порядка (вторичный астигматизм)

Интрастромальную эксимерную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме Wavefront-guided ASA Selective (Aberration Smart Ablation) с диаметром оптической зоны 6 мм. Формирование роговичного лоскута, его интраоперационное ультразвуковое кератопахиметрическое измерение, отгибание роговичного лоскута, его адаптацию к стромальному ложу и послеоперационное лечение проводили аналогично при операции Wavefront-Guided LASIK.

2.6.11. Операция LASIK с коррекцией сферической аберрации

Операция LASIK с коррекцией сферической аберрации была выполнена 40 пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом.

Операция LASIK с коррекцией сферической аберрации включала комбинацию миопического и гиперметропического профилей абляции (патент № 2301651 от 27.06.2007).

Непосредственно перед операцией LASIK с коррекцией сферической аберрации после эпибульбарной анестезии Алкаин (Alcon) трехкратно измеряли толщину в центре роговицы ультразвуковым датчиком пахиметра RXP (Alcon). Роговичный лоскут формировали микрокератомом Moria 3E (Франция) с Single Use (M2SU) 90 одноразовыми пластиковыми головками М2 с вмонтированным металлическим лезвием для формирования лоскута толщиной 90 мкм. После формирования микрокератомом роговичного лоскута и его отгибания, трехкратно измеряли толщину стромального ложа роговицы в центре. лоскута в центральной части была Толщина автоматически вычислена ультразвуковым пахиметром путем вычитания минимального значения толщины стромального ложа после формирования лоскута из минимального значения толщины роговицы до формирования лоскута. Эксимерную интрастромальную лазерную абляцию в ходе операции проводили на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) с диаметром оптической зоны 6 мм. Миопическую 2.39) интрастромальную абляцию (Рисунок выполняли глубиной соответствующей величине корректируемой близорукости, увеличенной на 2,0 диоптрии при слабой степени миопии и на 2,5 диоптрии при средней степени проводили второй операции: миопии. Затем этап гиперметропическую интрастромальную абляцию (Рисунок 2.40) глубиной, соответствующей 1,0 диоптрии при слабой степени миопии и 1,5 диоптрии при средней степени миопии (патент РФ № 2301651 от 27.06.2007).



Рисунок 2.39 – Миопическая интрастромальная абляция при операции LASIK с коррекцией сферической аберрации (первый этап)



Рисунок 2.40 – Гиперметропическая интрастромальная абляция при операции LASIK с коррекцией сферической аберрации (второй этап)

После проведения абляции ультразвуковым датчиком измеряли толщину стромального ложа в центре. Автоматически вычислялась толщина аблированной роговичной ткани путем вычитания из значения толщины стромы до абляции значения толщины стромы после абляции. После укладки, промывания лоскута и

подлоскутного пространства измеряли общую В толщину роговицы. антибактериальными послеоперационном периоде проводили лечение Тобрамицин (Tobramycin) противовоспалительными Дексаметазон И препаратами в каплях - Тобрадекс (Alcon), гипотензивными (Dexamethasone) препаратами в каплях для профилактики вторичной гипертензии Арутимол (Тимолол) 0,5% (Bausch&Lomb) и слезозамещающими препаратами в виде геля Видисик (Bausch&Lomb).

2.7. Методы статистической обработки полученных результатов

Данные, полученные при обследовании и наблюдении пациентов, вносились в компьютерную базу. Вариационные ряды, составленные из числовых значений клинических и других показателей, подвергались статистической обработке [26].

Степень достоверности полученных результатов определяется большим и репрезентативным объемом проанализированных данных, выборок исследований и количеством обследованных пациентов с использованием современных высокоинформативных методов исследования, а также применением корректных методов статистической обработки данных. Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA 12 (разработчик - StatSoft.Inc). Данные были представлены в виде средних значений и стандартной ошибки среднего для непрерывных нормально распределенных переменных, в виде медианы и минимальных И максимальных значений для непрерывных данных, не распределенных нормально, а также в виде абсолютных значений и процентов для категориальных данных. Анализ нормальности проводился с помощью теста Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Для парного сравнения непрерывных переменных, имеющих нормальное распределение, использовался tкритерий Стьюдента для независимых выборок, для переменных, не имеющих нормальное распределение - U-критерий МаннаУитни. Категориальные данные и пропорции сравнивались с использованием критерия хи-квадрат или точного

двустороннего критерия Фишера. При сравнении средних показателей, рассчитанных для связанных выборок (например, значений показателя до операции и после операции), использовался парный t-критерий Стьюдента. Для проверки различий между двумя связанными выборками переменных, не имеющих нормальное распределение, применялся W-критерий Уилкоксона. Значение р <0,05 считалось статистически значимым.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕКЦИЙ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

3.1. Результаты математического и компьютерного моделирования оптики глаза

Разработанная модель глаза состоит из роговицы, передней камеры, хрусталика, стекловидного тела и сетчатки (Рисунок 3.1). Отличия данной модели от ранее предложенных моделей в том, что роговица представлена двумя преломляющимися поверхностями – передней и задней, хрусталик имеет переменный показатель преломления и привязан к оптической оси глаза, т.е. может смещаться как твердое тело с помощью параллельного переноса. Сетчатка глаза в данной модели представлена только центральной частью – макулой.



Рисунок 3.1 – Модель глаза и ход лучей света в ней (сечение одной из плоскостей, проходящих через оптическую ось, верхняя часть): 1 – макула, 2 – стекловидное тело, 3 и 4 – задняя и передняя поверхность хрусталика, 5 – хрусталик, 6 – передняя камера, 7 – задняя поверхность роговицы, 8 – передняя поверхность роговицы, 9 – роговица, 10 – воздух, пунктирные линии – лучи света,

11 – пример одного из волновых фронтов, 12 – передний полюс роговицы.

Компьютерная модель хрусталика состоит из двух неравных частей: передней и задней. Передняя поверхность (ППХ), задняя поверхность (ЗПХ) хрусталика и поверхность раздела между его половинами представлена поверхностями второго порядка.

Таблица 3.1 – Основные (п	первичные)	параметры	модели	хрусталика
---------------------------	------------	-----------	--------	------------

		Измеряемый	Начальное	Диапазон
		(«и») или	значение в	возможных
Обозначе	Физический смысл	подбирае-	контрольном	значений
ние		мый («п»)	варианте	(только для
		параметр		подбираемых)
Ra	Радиус кривизны ППХ в	П	11.3 мм	1112 мм
	вершине			
L_l	Толщина хрусталика в центре	И	3.5 мм	-
δ_n	Разность между показателями	П	-0.0472	-0.050.04
	преломления коры и ядра			
no	Показатель преломления ядра	П	1.4181	1.41.45
R_p	Радиус кривизны ЗПХ в	П	5.6 мм	56 мм
	вершине			
Qa	Коэффициент асферичности	П	-4	-100
	ППХ			
Q_p	Коэффициент асферичности	П	-3	-50
	ЗПХ			
	Показатель степени в модели			
	(отвечает за то, насколько			
pLens	плавно или круто изменяется	П	2.9	24
	показатель преломления при			
	переходе вдоль оптической			
	оси хрусталика от ядра к коре)			
dcLensX	Смещение хрусталика как	П	0	-050.5
	целого вдоль оси Ох			
dcLensY	Смещение хрусталика как	П	0	-050.5
	целого вдоль оси Оу			

Хрусталик осесимметричен, поэтому в модели использованы цилиндрическая система координат (ρ , ϕ , z) и связанная с ней прямоугольная Декартова система координат ($x = \rho \cos \phi$, $y = \rho \sin \phi$, z). Ось O_z совпадает с оптической осью глаза. Десять параметров модели хрусталика, полностью задающие его геометрические и оптические свойства, представлены в (Таблице 3.1)

Таблица 3.2 – Производные параметры модели хрусталика, вычисляемые на основе первичных параметров

Обозначение	Физический смысл	Формула для расчёта
n_c	Показатель преломления коры	$n_0 + \delta_n$
La	Глубина передней половины хрусталика	$0.6L_l$
L_p	Глубина задней половины хрусталика	$L_l - L_a$
ϵ_a		$\left\{ \begin{array}{cc} -1 & : Q_a < -1 \\ 1 & :$ иначе
ϵ_p		$\left\{ \begin{array}{cc} -1 & : Q_p < -1 \\ 1 & : иначе \end{array} \right.$
a_a, b_a	Полуоси ППХ-коники	$\frac{\epsilon_a R_a / (Q_a + 1)}{\sqrt{a_a R_a}}$
$a_p,\ b_p$	Полуоси ЗПХ-коники	$\frac{\epsilon_p R_p / (Q_p + 1)}{\sqrt{a_p R_p}}$
Δ_a	Расстояние от центра ППХ-коники до вершины ППХ	$\epsilon_a a_a$
Δ_p	Расстояние от центра ЗПХ-коники до вершины ППХ	$L_l - \epsilon_p a_p$
f_a	Нормировочный множитель для ППХ	$(L_l^2 - 2L_l\Delta_p)/a_a^2$
f_p	Нормировочный множитель для ЗПХ	$L_p(2\epsilon_p a_p - L_p)/a_p^2$

Показатель преломления хрусталика непрерывен, достигает максимума в центре ядра и минимума на наружной поверхности (называемой также корой) хрусталика (Таблица 3.2). Следующие функции определены в «хрусталиковой» системе координат, использованной и получаемой параллельным переносом исходной так, чтобы начало координат оказалось в переднем полюсе хрусталика. Формулы проще записывать в цилиндрической «хрусталиковой» системе координат (ρ , ϕ , z), которая связана с прямоугольной «хрусталиковой» системой (x, y, z) обычным образом: $x = \rho \cos \phi$, $y = \rho \sin \phi$, так как хрусталика осесимметричный. Итак, показатель преломления передней части хрусталика задан следующей функцией:

$$n_p(\rho, z) = n_0 + \left(\frac{1}{f_p} \left(\frac{z^2 - t_a^2 + 2\Delta_p(z + t_a)}{a_p^2} + \epsilon_p \frac{\rho^2}{b_p^2}\right)\right)^{pLens} \cdot \delta_n.$$

а

$$n_a(\rho, z) = n_0 + \left(1 - \frac{1}{f_a} \left(\frac{z^2 + 2\Delta_a z}{a_a^2} + \epsilon_a \frac{\rho^2}{b_a^2}\right)\right)^{pLens} \cdot \delta_n;$$

показатель преломления задней части хрусталика задан функцией:

Функция

$$I(\rho, z) = \left(\frac{1}{f_p a_p^2} + \frac{1}{f_a a_a^2}\right) z^2 + 2\left(\frac{\Delta_p}{f_p a_p^2} + \frac{\Delta_a}{f_a a_a^2}\right) z + \left(\frac{\epsilon_p}{f_p b_p^2} + \frac{\epsilon_a}{f_a b_a^2}\right) \rho^2 + \frac{2\Delta_p t_a - t_a^2}{f_p a_p^2} - 1.$$

принимает отрицательные значения в передней части хрусталика, положительные в задней части хрусталика и равна нулю на поверхности раздела. Используя её, показатель преломления в точке (ρ, φ, z) хрусталика можно определить следующим образом:

$$n(\rho, z) = \begin{cases} n_a(\rho, z) &: I(\rho, z) < 0; \\ n_p(\rho, z) &: I(\rho, z) \ge 0. \end{cases}$$

Для моделирования задней поверхности роговицы использовали уравнение «биконической» поверхности [Einighammer 2008, Fernandez-Sanchen 2008]:

$$z(x,y) = -L_{ker} - \frac{(x-d_x)^2/R_x + (y-d_y)^2/R_y}{1 + \sqrt{1 - \left[A_x \cdot (x-d_x)^2/R_x^2 + A_y \cdot (y-d_y)^2/R_y^2\right]}},$$

где L_{ker} (греч. keras) – толщина роговицы в центре;

 d_x , d_y – координаты вершины ЗПР;

 R_x – радиус кривизны сечения ЗПР плоскостью $y = d_y$ в точке $x = d_x$, $y = d_y$, $z = -L_c$; R_y – радиус кривизны сечения ЗПР плоскостью $x = d_x$ в точке $x = d_x$, $y = d_y$, $z = -L_c$.

Величины A_x , A_y называют коэффициентами асферичности упомянутых выше сечений, а точку $x = d_x$ в точке $x = d_x$, $y = d_y$, $z = -L_c$ – вершиной ЗПР.

Водянистая влага передней камеры и стекловидное тело имеют постоянный показатель преломления. Макула представляет из себя точку с координатами $x = 0, y = 0, z = -L_o$, где L_o - длина глаза (передне-задний отрезок).

3.2. Результаты вычисления функции аберраций оптической системы

Функция аберраций глаза $W(\rho, \phi)$ являются интегральной характеристикой его оптики. В ней находят отражение все параметры глаза. Мы можем определить все неизвестные параметры глаза, вводя функцию аберраций модельного глаза под известную функцию аберраций реального глаза.

Краткое описание функции аберраций оптической системы. Пусть в пространстве с введенной цилиндрической системой координат (ρ , ϕ , z) имеется точечный источник света S, задан показатель преломления всех точек оптической системы и пусть в момент времени t = 0 S испустил фотоны во всех направлениях внутри некоторого телесного угла. Тогда в каждый момент времени $t \ge 0$ мы может узнать, где находится каждый из фотов (с помощью закона преломления света Снеллиуса и лучевого уравнения). Множество точек пространства, занимаемых фотонами в момент t > 0, называют геометрическим волновым фронтом; обозначим его через M_t . M_t будет являться поверхностью. Запишем ее уравнение в виде $z = z_t^M$ (ρ , ϕ), $\rho \le R_t$ (при расчете аберраций глаза это можно сделать, когда O_z - оптическая ось глаза).

Функция аберраций оптической системы $W(\rho, \phi)$ равна

$$W(\rho, \phi) = z_t^M(R_t \rho, \phi), \rho, \phi \leq 1.$$

Когда необходимо вычислять функцию аберраций глаза, источник света помещают в центр сетчатки (макулу), начало координат – туда же, ось O_z направляют вдоль оптической оси глаза, все точки оптической системы при этом

имеют координату $z \ge 0$. Выбирают какой-либо момент времени *t*, когда все фотоны уже вышли из глаза в окружающий его воздух.

При работе с функциями аберраций использовано их разложение по системе полиномов Цернике $Z(\rho, \phi, m, n)$ с коэффициентами C(m, n):

$$W(\rho, \phi) = \sum_{n=0}^{N} \sum_{m=-n, -n+2...n} C(n, m) Z(\rho, \phi; n, m);$$
(4)
$$Z(\rho, \phi; n, m) = \begin{cases} +N(n, m) R(\rho; n, m) \cos(m\phi) & :m \ge 0; \\ -N(n, m) R(\rho; n, m) \sin(m\phi) & :m < 0, \end{cases}$$
$$N(n, m) = \begin{cases} \sqrt{n+1} & :m = 0; \\ \sqrt{2(n+1)} & :m \ne 0; \end{cases}$$
$$R(\rho; n, m) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s![(n+|m|)/2-s]![(n-|m|)/2-s]!} \rho^{n-2s}.$$

Эта система является ортогональной на круге радиуса 1. Полиномы имеют двойную нумерацию, причем первый номер *n* называют порядком полинома; полиномов порядка *n* ровно *n*+1 штука. Для кратности часто полином $Z(\rho, \phi, m, n)$ обозначают просто Z(m, n). Аберрации нулевого порядка не учитывают, так как $Z(0, 0) \equiv 1$. Особенно важны в исследовании аберраций глаза полиномы, представленные в Таблица 3.3.

Название Обозначение Вид $2\rho^2 - 1$ Z(2, 0)Дефокус Прямой и обратный $\rho^2 \cos(2 \phi)$ Z(2, 2)астигматизм 2-го порядка Астигматизм 2-го $\rho^2 \sin(2\phi)$ Z(2, -2)порядка с косыми осями $6 \rho^4 - 6 \rho^2 + 1$ Z(4, 0)Сферическая аберрация

Таблица 3.3 – Важнейшие компоненты функции аберраций

где

3.3. Результаты математического

моделирования операции LASIK

Для математического моделирования операции LASIK использованы цилиндрическая система координат (ρ, φ, z) и связанная с ней прямоугольная Декартова система координат:

$$\left(\begin{array}{c}
x = \rho \cos \phi \\
y = \rho \sin \phi \\
z = z
\end{array}\right)$$

 O_z – оптическая ось.

Пусть известны: уравнение ППР $z = z_1$ (ρ , ϕ), радиус зоны абляции R_{abl} , толщина лоскута H_{flap} и профиль абляции z = a (ρ , ϕ), $\rho \leq R_{abl}$.

Вначале сформируем заднюю поверхность лоскута, отступив по нормали к ППР вглубь глаза на расстояние H_{flap} . Ее векторное уравнение $\dot{\mathbf{r}} = \dot{\mathbf{r}}_{flap}$ будет следующим:

$$\acute{\mathbf{r}}_{flap} = \acute{\mathbf{r}}_1 + H_{flap} \acute{\mathbf{n}}_1,$$

где
$$f_1 = \begin{pmatrix} x = \rho \cos \phi \\ y = \rho \sin \phi \\ z = z_1(\rho, \phi) \end{pmatrix}$$
 векторное уравнение ППР,

- единичный вектор нормали, имеющий положительную компоненту z,

. После отгибания лоскута поверхность с тем же уравнением

 $\dot{\mathbf{r}} = \dot{\mathbf{r}}_{flap}$ будет представлять собой стромальное ложе роговицы. Уравнение поверхности ложа после абляции имеет вид $\dot{\mathbf{r}}_{abl}(\rho, \phi) = \begin{pmatrix} x_{flap}(\rho, \phi) \\ y_{flap}(\rho, \phi) \\ z_{flap}(\rho, \phi) + a(\rho, \phi) \end{pmatrix}$.

Отступив по нормали в противоположном к \dot{n}_1 направлении на ту же величину H_{flap} , мы получим ППР после операции (Рисунок 3.2):

$$\dot{\mathbf{r}}_2(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\phi}) = \dot{\mathbf{r}}_{abl} - H_{flap} \dot{\mathbf{n}}_1$$
.

Ключевой для модели операции является формула глубины абляции. В литературе имеется лишь указание на осесимметричную формулу $a(\rho, \phi) = a(\rho)$:

$$a(\rho) = \sqrt{R^2 - \rho^2} - \sqrt{\left[\frac{R \cdot (n-1)}{n-1 + R \cdot D}\right]^2 - \rho^2} - \sqrt{R^2 - r_{abl}^2} + \sqrt{\left[\frac{R \cdot (n-1)}{n-1 + R \cdot D}\right]^2 - r_{abl}^2},$$
(5)

где R – начальный радиус кривизны ППР в центре, n – показатель преломления роговицы, D – необходимая коррекция (в случае миопии D < 0), r_{abl} – радиус абляции.



Рисунок 3.2 – Модель роговицы до и после лечения, сечение плоскостью проходящей через ось глаза, верхняя часть: 1 – ППР до начала операции, 2 – ложе до начала абляции, 3 – ложе после абляции, 4 – ППР после укладывания лоскута, 5 - ЗПР до и после операции. Единица длины – 1 мм.

Биометрическое моделирование роговицы глаза осуществляли при действии внутреннего давления на основе нелинейной краевой задачи теории упругости с

использованием численного метода решения и анализировали состояния роговицы в дооперационный и послеоперационный периоды.

3.4. Результаты расчета геометрических аберраций волнового фронта на основе математической и компьютерной модели глаза

3.4.1. Значение формы передней поверхности роговицы

Форма передней поверхности роговицы (ППР) в эксперименте восстановлена численно по данным кератотопографии.

В цилиндрической системе координат (ρ , ϕ , z) пусть *i*-я полуплоскость имеет уравнение $\phi = i \Delta \phi$, а *j*-я точка отвечает значению $\rho = j \Delta \rho$. Мы используем кератотопограммы (КТГ), измеренными при $\Delta \phi = 10^{\circ}$; $\Delta \rho = 0,5$ мм; *i*=0, 1,...,35; *j*=0, 1,..., 5. КТГ представляет собой матрицу k, каждый элемент k_{ij} которой – это преломляющая сила сечения ППР *i*-ой полуплоскостью, вращающейся вокруг оптической оси в *j*-ой точке. Из геометрической оптики известно, что преломляющая сила k_{ij} плоской кривой и ее кривизна K_{ij} связаны соотношением

$$\mathbf{k}_{ij} = \mathbf{K}_{ij} \cdot (n_1 - n_2),$$

где $n_{1,2}$ – показатели преломления вещества по обе стороны от кривой. В нашем случае n_1 – показатель преломления роговицы (1.376), n_2 – воздуха (1).

ППР можно приблизить поверхностью, уравнение которой зависит от десяти параметров *p*₀,..., *p*₉ и выглядит следующим образом:

$$z(\rho,\phi;\vec{p}) = \frac{R(\phi;\vec{p}) - \sqrt{R^2(\phi;\vec{p}) - A(\phi;\vec{p}) \cdot \rho^2}}{A(\phi;\vec{p})},$$
(1)

где

$$\vec{p} = (p_0, p_1, \dots, p_9);$$

$$R(\phi; \vec{p}) = p_0 + p_1 \sin(\phi) + p_2 \cos(\phi) + p_3 \sin(2\phi) + p_4 \cos(2\phi);$$

$$A(\phi; \vec{p}) = p_5 + p_6 \sin(\phi) + p_7 \cos(\phi) + p_8 \sin(2\phi) + p_9 \cos(2\phi).$$

Для подбора параметром мы использовали метрику *l*₁ и квазинъютоновский метод решения задачи оптимизации:

$$\|\mathbf{K}^{appr}(\vec{p}) - \mathbf{K}\| = \sum_{i} \sum_{j} \left| \mathbf{K}_{ij}^{appr}(\vec{p}) - \mathbf{K}_{ij} \right| \to \min,$$
(2)

Где $\mathbf{K}^{appr}(p)$ – матрица кривизн искомой ППР, а \mathbf{K} – матрица кривизн, найденная по реальной КТГ. (Если в матрице \mathbf{k} отсутствуют некоторые элементы, то они отсутствуют и в \mathbf{K} , а в (2) мы проводим суммирование лишь по имеющимся элементам). Согласно определению КТГ, элементы матрицы $\mathbf{K}^{appr}(p)$ являются кривизнами плоских кривых, упомянутых в предыдущем абзаце сечений ППР.

Мы провели численный подбор параметров для одной реальной КТГ $\dot{\mathbf{k}}$. Вначале мы вычислили матрицу $\dot{\mathbf{K}}$, а затем решили оптимизационную задачу и получили вектор \dot{p} . По величине || $\mathbf{K}^{appr}(p) - \dot{\mathbf{K}}$ || легко найти среднюю абсолютную ошибку в преломляющей силе, которая для контрольного варианта составила 0.13 D. Ознакомившись с матрицей ошибок, мы сочли качество приближения достаточным. Приведем результаты расчета параметров $\dot{p}_0, \ldots, \dot{p}_9$ (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Значения параметров, описывающих форму ППР (контрольный вариант)

Коэффициенты в $R(\phi; \acute{p})$				
$\acute{p_0}$	$\dot{p_1}$	\acute{p}_2	\acute{p}_3	\acute{p}_4
7.949	0.007	0.006	0.011	0.043
Коэффициенты в А (ϕ : \dot{p})				
			() 1)	
\acute{p}_5	\acute{p}_6	$\acute{p_7}$	$\acute{p_8}$	$\acute{p_9}$
0.936	-0.013	-0.040	0.008	-0.039



Рисунок 3.3 – График функции $R = R(\phi; \acute{p})$

График функции R = R (ϕ ; \dot{p}) на периоде (0,2 π) имеет два максимума и два минимума, то же самое можно сказать и о графике A=A (ϕ ; \dot{p}). Иногда форму ППР описывают, пренебрегая коэффициентами p_1 , p_2 , p_6 , p_7 . При этом считают, что максимумы R = R (ϕ ; \dot{p}) (A=A (ϕ ; \dot{p})) совпадают и их минимумы совпадают. На (Рисунок 3.3) и (Рисунок 3.4) представлены графики этих функций, полученные из реальной КТГ.

На графиках функций (Рисунок 3.3) и (Рисунок 3.4) максимумы R довольно близки, минимумы R – тоже, но максимумы A существенно различаются, а минимумы A весьма далеки друг от друга. Следовательно, если пренебрегать коэффициентами p_1 , p_2 , p_6 , p_7 - значить моделировать ППР слишком грубо. Необходимость принимать во внимание эти коэффициенты так же была подтверждена при помощи пробного расчета без их учета. Средняя абсолютная ошибка для преломляющей силы в этом случае увеличилась приблизительно на треть и составила 0.17 D.



Рисунок 3.4 – График функции A = A (ϕ ; \dot{p})

3.4.2. Измеряемые и подбираемые параметры модели глаза до операции

Глаз каждого пациента до операции описывается уравнениями, в которых индивидуальными являются лишь несколько скалярных параметров. Некоторые параметры можно измерить (прямо или косвенно) в условиях клиники, в то время как остальные требуют специального подбора.

Таблица 3.5 – Методы дооперационной диагностики и измеряемые параметры глаза

Метод диагностики	Измеряемые параметры	
Биометрия глазных яблок	Глубина передней камеры, толщина хрусталика,	
	длина глаза (передне-задний отрезок) вдоль оптической оси (мм)	
Пахиметрия	Толщина роговицы в центре (мкм)	
Аберрометрия	Коэффициенты разложения функции аберраций по полиномам	
	Цернике (мкм), радиус зрачка в скотопических условиях	
Часть глаза	Наименования параметров	Кол-во
-------------	------------------------------------------------------	----------
		скаляров
ЗПР	Координаты вершины,	2
	радиусы кривизн,	2
	коэффициенты асферичности (см. (3))	2
Хрусталик	Радиусы кривизн передней и задней поверхностей	2
	их коэффициенты асферичности, показатели преломления	2
	в центре и в коре,	2
	показатель степени в модели хрусталика (pLens),	1
	децентрация по двум осям	2
Сетчатка		
(макула)	Децентрация по двум осям	2

Таблица 3.6 – Параметры глаза, подбираемые по аберрометрии

В общей сложности, напрямую измерить удается 5 параметров глаза, по результатам кератотопографии мы подбираем 10 параметров ППР (см. (1)). В (Таблице 3.5) перечислены методы дооперационной диагностики и измеряемые ими величины. После этого подбору по результатам аберрометрии подлежат еще 17 параметров глаза (Таблица 3.6).

Вычисление по коэффициентам разложения функции аберрации по полиномам Цернике параметров глаза, которые не могут быть измерены клинически.

При подборе параметров глаза мы использовали две функции аберраций:

- первая функция, зависящая от искомых параметров $W(\rho, \phi; \acute{p})$

- вторая (целевая) функция, измеряемая аберрометром $W^*(\rho, \phi)$.

Для расчета контрольного варианта значения неизвестных параметров подбирали под функцию аберраций $W^* = 9$ мкм · Z(2,0) - 1 мкм · Z(2,2).

Целевые коэффициенты были равны

 $C^*(2,0)=9$ мкм, $C^*(2,2)=-1$ мкм, остальные $C^*(n, m)=0$.

Подбор проводили следующим образом.

В приближения начального качестве использовали усредненные значения параметров $\dot{p} = \dot{p}_0$. Параметры ППР взяты из реальных кератотопограмм. Зафиксировали плоскость z = 0, она касается ППР в центре. «Виртуальный» источник света находился в макуле. Мы определяли уравнения лучей света при их выходе из глаза с помощью закона преломления света Снеллиуса (преломление на границе раздела двух сред с разными показателями преломления) и лучевых уравнений (расчет пути луча в хрусталике, имеющем непрерывный и 1-гладкий показатель преломления). Тогда аргументы функции W - координаты (ρ , ϕ) точек пересечения лучей с плоскостью z = 0 (с нормировкой *р*), а значения – оптические длины путей лучей при этом пересечении. После этого заданную на таком дискретном множестве точек функцию W мы приближали суммой по методу наименьших квадратов (количество точек превосходило 100, а количество неизвестных коэффициентов при полиномах Цернике было равно 28). Полученные коэффициенты разложения обозначили через С (n, m; ý).

Была поставлена оптимизационная задача

$$\mathcal{F}(\vec{p}) = \sum_{n=1}^{6} \sum_{m=-n, -n+2...n} |C(n, m; \vec{p}) - C^*(n, m)| \longrightarrow \min .$$

При этом использован алгоритм градиентного спуска:

$$\dot{p}_{k+1} = \dot{p}_k - l_k \operatorname{grad} F(\dot{p}_k), k = 0, 1, 2...,$$

где l_k – коэффициент, управляющий длиной шага. Расчет всех 17 частных производных является трудоемкой задачей, поэтому направление спуска мы меняли лишь когда следующий шаг выбранной длины в направлении антиградиента приводил к увеличению минимизируемой функции. Подробнее: пусть заданы начальные значения p_0 , l_0^* . Примем

 $l_{k}^{i} = i l_{k}^{*}, \ \dot{p}_{k+1}^{i} = \dot{p}_{k} - l_{k}^{i} \operatorname{grad} F(\dot{p}_{k}) = \dot{p}_{k} - i l_{k}^{*} \operatorname{grad} F(\dot{p}_{k}), \ i = 1, 2, 3...$ Вначале i = 1. Пока $F(\dot{p}_{k+1}^{i+1}) < F(\dot{p}_{k+1}^{i}), \ i$ увеличивали на 1. При первом нарушении этого неравенства принимали $\dot{p}_{k+1} = \dot{p}_{k+1}^{i}$, спуск в направлении антиградиента считали завершенным. Частные производные мы аппроксимировали с помощью разностей «вперед». При изменении направления спуска величина *l* и приращения параметров в разностях уменьшались (в 10 раз). Направление спуска было изменено только дважды. Минимизируемая функция при начальных значениях параметров была равна 4.09, при первом изменении направления спуска – 2.16, при втором и в итоге – 2.14. Разложение функции аберраций по полиномам Цернике вплоть до шестого порядка имело для контрольного варианта следующие коэффициенты, мкм:

$$Z (1, -1) = -0,22, Z (1,1) = -0,38,$$

 $Z (2,0) = 8.98, Z (2,2) = -1.15,$
 $Z (4,0) = 0.66.$

Таблица 3.7 – Значения параметров, которые можно измерить при дооперационной диагностике

Метод диагностики	Измеряемые параметры	Значения параметров, мм
Биометрия	Глубина передней камеры,	3.63
глазных яблок	толщина хрусталика	3.50
	длина глаза (передне-задний	
	отрезок)	
	вдоль оптической оси	27.0
Пахиметрия	Толщина роговицы в центре	
		0.58
Пупиллометрия	Радиус зрачка в скотопических	
	условиях	2.90

Все остальные коэффициенты для полиномов 2-6-го порядков по модулю были меньше 0.2 мкм. В (Таблица 3.7) указаны значения заранее измеренных параметров. В (Таблице 3.8) сведены результаты подбора – значения параметров, перечисленных в (Таблица 3.6).

Часть	Наименования	Кол-во	Значения
глаза	параметров	скаляров	параметров
ЗПР	Координаты вершины,	2	0.0; 0.0
	радиусы кривизн,	2	6.53; 6.53
	коэффициенты асферичности	2	-0.1; -0.1
Хрусталик	Радиусы кривизн передней и задней поверхностей,	2	11.3; 5.6
	их коэффициенты асферичности	2	-4.0; -3.0
	показатели преломления в центре и в коре,	2	1.412; 1.364
	показатель степени в модели хрусталика (<i>pLens</i>),	1	2.9
	децентрация по двум осям	2	-0.001; - 0.001
Сетчатка	Децентрация		
(макула)	по двум осям	2	0.0; 0.0

Таблица 3.8 – Значения параметров глаза, подобранные по аберрометрии

3.4.3. Создание неосесимметричной формулы для нахождения глубины моделируемой абляции

В современной литературе описана осесимметричная формула для моделирования глубины абляции $a(\rho, \phi) = a(\rho)$:

$$a(\rho) = \sqrt{R^2 - \rho^2} - \sqrt{\left[\frac{R \cdot (n-1)}{n-1 + R \cdot D}\right]^2 - \rho^2} - \sqrt{R^2 - r_{abl}^2} + \sqrt{\left[\frac{R \cdot (n-1)}{n-1 + R \cdot D}\right]^2 - r_{abl}^2},$$
(5)

Для решения нашей задачи такая формула неприменима по следующим причинам. Во-первых, с ее помощью невозможно рассчитать коррекцию астигматизма и других неосесимметричных аберраций более высоких порядков. Во-вторых, формула работает лишь для осесимметричных роговиц. В обоих случаях *a* (0, ϕ) существенно зависит от ϕ , что не позволяет найти глубину абляции в центре роговицы.

В качестве подхода к нахождению подходящей формулы можно предложить следующее. Пусть для центра роговицы известны глубина абляции A_0 и радиус кривизны передней поверхности R (ϕ). Тогда из уравнения a (0, ϕ) = A_0 выразим D:

$$D = -(n-1) \cdot \left[\frac{2\left(A_0 - R(\phi) + \sqrt{R^2(\phi) - r_{abl}^2}\right)}{r_{abl}^2 + \left(A_0 - R(\phi) + \sqrt{R^2(\phi) - r_{abl}^2}\right)^2} + \frac{1}{R(\phi)} \right].$$

Подставив его в уравнение (5), получим неосесимметричную формулу с a(0, ϕ) $\equiv A_0$.

3.4.4. Расчет формы передней поверхности роговицы и аберраций моделируемого глаза после лечения

Толщина лоскута составила 140 мкм, глубина абляции в центре – 37 мкм, радиус абляции – 3 мм, сфероэквивалент коррекции – (-3,0 D). Разложение функции аберраций по полиномам Цернике вплоть до шестого порядка имело для контрольного варианта следующие коэффициенты, мкм:

$$Z(1, -1) = -0,32,$$

 $Z(2,0) = 1.7, \quad Z(2,2) = -0,69,$
 $Z(4,0) = 0.90, \quad Z(5, -5) = -0,26.$

Модули всех остальных коэффициентов для полиномов 1-6-го порядков были меньше 0,2 мкм; Радиус зрачка был равен 2.9 мм как до, так и после лечения.

Нужно отметить, что в результате модулированной операции коэффициент Z (4,0) возрос с 0,66 мкм до 0,90 мкм, что качественно согласуется с клиническими результатами LASIK: часто до лечения сферическая аберрация глаза мала, а после – становится больше и начинает снижать зрение пациента.

3.5. Результаты изменений АВП при различных режимах селективной абляции в эксперименте

Изучение изменений АВП в разных режимах абляции проведено на экспериментальных линзах. В 1-ой группе проведена стандартная абляция в режиме Aberration Smart Ablation, во 2-ой группе - в режиме Wavefront-Guided по персонализированному файлу абляции, в 3-ей группе - в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией горизонтальной комы Z(3;1), в 4-ой группе - в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией вертикальной комы Z(3;-1),

в 5-ой группе - в режиме Wavefront-Guided Selective с коррекцией сферической аберрации Z(4;0).

В 1-ой и 2-ой группах АВП статистически значимо не изменялись (p>0,05).

В 3-ей группе наблюдалось статистически значимое уменьшение аберрации Z(3;1) (р <0,05). Остальные АВП в 3-ей группе статистически значимо не изменялись (р>0,05). Наблюдалась статистически значимая корреляция между полученными изменениями и планируемыми изменениями аберрации Z(3;1) с коэффициентом корреляции R = 0,97.

В 4-ой группе наблюдалось статистически значимое уменьшение аберрации Z(3;-1) (р <0,05). Остальные АВП в 4-ой группе статистически достоверно не изменялись (р>0,05). Наблюдалась статистически значимая корреляция между полученными изменениями и планируемыми изменениями аберрации Z(3;-1) с коэффициентом корреляции R = 0,98.

В 5-ой группе наблюдалось статистически значимое уменьшение аберрации Z(4;0) (р <0,05). Остальные АВП в 5-ой группе статистически значимо не изменялись (р>0,05). Однако наблюдалась статистически незначимая корреляция

между полученными изменениями и планируемыми изменениями аберрации Z(4;0) с коэффициентом корреляции R=0,48.



Рисунок 3.5 – Измерение толщины линзы на оптическом когерентном томографе переднего отрезка глаза Visante (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме High Resolution Corneal до абляции. Толщина линзы в центре 567 мкм



Рисунок 3.6 – Измерение толщины линзы на оптическом когерентном томографе переднего отрезка глаза Visante (Carl Zeiss Meditec, Германия) в режиме High Resolution Corneal после абляции. Толщина линзы в центре 526 мкм (Δ 41 мкм)

Статистически значимой разницы между сравниваемыми группами в глубине абляции на экспериментальных линзах выявлено не было (Рисунок 3.5) и (Рисунок 3.6). Глубина абляции линз составила 35 ± 6 мкм.

Статистически значимых различий дооперационных и послеоперационных показателей рефракции на экспериментальных линзах между сравниваемыми группами найдено не было (p>0,05). Во всех группах после абляции наблюдалось статистически значимое увеличение RMS, связанное с изменением рефракции экспериментальных линз.

Результаты измерений аберраций 3-го и 4-го порядков, которые статистически значимо изменились по модулю в виде коэффициентов Zernike (Z 3; 4) по нотации Malacara до и после абляции в 3-ей, 4-ой и 5-ой группах представлены в (Таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Величины АВП линз по модулю до и после эксимерной лазерной абляции *(p<0,05)

Вид аберраций	До абляции,	После абляции,
	МКМ	МКМ
Z (3;1) в 3-ей группе с		
Wavefront-Guided абляцией с	$0{,}28\pm0{,}03$	$0,\!09\pm0,\!07*$
коррекцией горизонтальной		
комы (n=10)		
Z (3;-1) в 4-ой группе с		
Wavefront-Guided абляцией с	$0,\!31 \pm 0,\!08$	$0,\!09\pm0,\!06*$
коррекцией вертикальной		
комы (n=10)		
Z (4;0) в 5-ой группе с		
Wavefront-Guided абляцией с	$0,\!41 \pm 0,\!05$	$0,\!15\pm0,\!10*$
коррекцией сферической		
аберрации (n=10)		

В 1-ой группе АВП статистически значимо не изменялись (p>0,05), так как стандартная абляция по миопическому алгоритму рассчитана только на

коррекцию дефокуса – аберрации низшего порядка и теоретически не должна влиять на АВП. Статистически значимое уменьшение аберраций Z(3;1), Z(3;-1) и Z(4;0) в 3-ей, 4-ой и 5-ой группах соответственно показывает эффективность Wavefront-Guided Selective абляции.

Таким образом, при выполнении Wavefront-guided абляции по миопическому алгоритму на экспериментальных линзах ожидаемого уменьшения величин АВП выявлено не было. Применение Wavefront-Guided Selective абляции позволило эффективно корректировать отдельные АВП. Применение Wavefront-Guided Selective абляции целесообразно в коррекции клинически значимых АВП в отличие от Wavefront-Guided абляции.

3.6. Результаты биомеханического моделирования расчетной конечноэлементной роговицы глаза для изучения ее состояния до и после операции FemtoLASIK

Геометрическая модель роговицы глаза представлена двумя фрагментами (Рисунок 3.7). На верхнем фрагменте показано поперечное сечение роговицы, отчетливо характеризующее изменение толщины. Роговица имеет форму эллипса с большой осью 13,5 мм и малой осью 12,6 мм. Толщина роговицы изменяется в интервале от 0,5 мм в центральной части до 1,2 мм на периферии. Радиус кривизны R в плоскости YOX принимался равным 7,8 мм, а в плоскости ZOY – 6,5 мм.

В процессе проведения операции на круге диаметром 6 мм модели роговицы с использованием лазера вырезается лоскут определенной толщины. Эта область отмечена красным цветом на (Рисунок 3.8) с изображением аксонометрического вида роговицы. При проведении Wavefront-Guided LASIKоперации с использованием микрокератома толщина лоскута может изменяться в довольно широком диапазоне от 146 мкм в центре роговицы до 200 мкм на периферической части.



Рисунок 3.7 – Геометрическая модель роговицы глаза



Рисунок 3.8 – Аксонометрический вид модели роговицы глаза

При использовании Wavefront- Guided FemtoLASIK-метода описанный выше срез лоскута производится лучом лазера, поэтому его толщина является постоянной величиной, равной 100 мкм. Отклонения от этой толщины не превышают 10 мкм. Затем вырезанный лоскут роговицы отгибается в сторону от области хирургического вмешательства и с помощью эксимер-лазера производится абляция нижерасположенных слоев роговицы. После выполнения операции лоскут возвращается обратно на свое место и выполняет функцию "пластыря".

Формирование расчетной конечноэлементной модели роговицы проводили предполагая, что изменяется только центральная часть роговицы с диаметром 6 мм. Эта часть роговицы изображена на левом фрагменте рисунка 3.9. Неизменная часть модели роговицы изображена на правом фрагменте рисунка 3.9.



Рисунок 3.9 – Центральная (слева) и периферическая (справа) части расчетной модели роговицы глаза

Такой подход к созданию расчетной модели роговицы позволяет достаточно оперативно изменять ту ее часть, которая истончается при выполнении операции и не менять остальную ее часть. В период подготовки пациента к операции, в четырех диаметральных сечениях роговицы, расположенных под углом 45° по отношению друг к другу, на диаметре 6 мм определяется ее толщина. В свою очередь, в каждом сечении роговицы с шагом равным 1 мм вдоль диаметра,

измеряли ее толщину. Эти толщины ДЛЯ одного ИЗ отмеченных выше сечений обозначены через h₀.. h₆ (Рисунок 3.9). Поскольку центральная толщина h₀ роговицы в каждом сечении должна быть одной и той же, то в модели принималась наименьшая величина в случае её отличия при выполнении измерений в различных сечениях роговицы. Таким образом, при моделировании роговицы в дооперационный период имеется набор из двадцати пяти точно измеренных значений толщин роговицы. Этот набор толщин является каркасом, строится расчетная модель изменяемой на котором части роговицы. Использование линейчатой поверхности, которая может быть натянута на обозначенный каркас, будет сопровождаться аномальными величинами, характеризующими напряженно-деформированное состояние.



Рисунок 3.10 – Аппроксимация толщины роговицы с использованием кубических сплайнов

Этот факт обусловлен тем, что в точках измерения толщин нарушается непрерывность первой производной от линейной функции, описывающей изменение толщины слева и справа от точки. Для устранения отмеченной

аномалии для моделирования использовали кубические сплайны, позволяющие обеспечить непрерывность самой функции, её первой и второй производных.

На верхнем фрагменте рисунка (Рисунок 3.10) изображены ломаные линии, характеризующие изменение толщины роговицы по диаметру для четырех сечений оперируемого глаза.

На нижнем фрагменте рисунка (Рисунок 3.10) приведен набор измеренных толщин для одного из сечений и показана линейная и гладкая интерполяция с использованием кубических сплайнов.

Поскольку в анализируемом случае значение первой (или второй) производной на границе неизвестно, то можно задать естественные граничные условия $F''(A_1)=0$, $F''(A_2)=0$, и получить естественный сплайн. Погрешность интерполяции естественным сплайном составляет $O(h^2)$. При этом максимум погрешности наблюдается в окрестностях граничных узлов, во внутренних узлах точность интерполяции значительно выше. Между точками, расположенными на одинаковом удалении от центра роговицы, так же использовали аппроксимацию кубическими сплайнами.

Для расчетной конечноэлементной модели роговицы глаза использовали объемный конечный элемент с десятью узлами и тридцатью степенями свободы. Модель содержит 14887 узлов и 8670 конечных элементов и позволяет учитывать реальную геометрию роговицы и моментное напряженное состояние, поскольку вычислительный процесс основан на решении нелинейной краевой задачи теории упругости. Сравнение представленных расчетных моделей позволяет сформировать наглядное представление об их заметном отличии в центральной части и незначительном отличии в периферийной части роговицы. Для решения нелинейной краевой задачи необходимо сформулировать граничные условия, в связи с этим на периферийной поверхности расчетной модели роговицы накладывались ограничения на все перемещения в узлах. Материал роговицы полагался изотропным с модулем упругости Е = 0,83 МПа и коэффициентом поперечной деформации µ = 0,48. Расчетная модель позволяет довольно просто

изменять механические характеристики при выполнении расчета напряженнодеформированного состояния.

3.7. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния роговицы глаза под действием внутриглазного давления

Для создания расчетной конечноэлементной модели роговицы глаза использован объемный конечный элемент с десятью узлами и тридцатью степенями свободы (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Конечноэлементная модель роговицы глаза

Модель содержит 14887 узлов и 8670 конечных элементов и позволяет учитывать реальную геометрию роговицы и моментное напряженное состояние, поскольку вычислительный процесс основан на решении нелинейной краевой задачи теории упругости. В центральной части роговицы сетка расчетной конечноэлементной модели имеет меньшие размеры по сравнению с периферической частью. Два фрагмента на рисунке (Рисунок 3.12) характеризуют размеры конечных элементов в поперечном сечении роговицы до и после операции.



Рисунок 3.12 – Конечноэлементная модель роговицы в поперечном сечении до и после операции

На верхнем фрагменте рисунка (Рисунок 3.12) изображена расчетная модель роговицы глаза, построенная по результатам измерений до операции. На нижнем фрагменте рисунка (Рисунок 3.12) изображена идентичная модель роговицы глаза после отгибания лоскута и абляции. Сравнение представленных расчетных моделей роговицы позволяет сформировать наглядное представление об их заметном отличии в центральной части и незначительном отличии в периферической части.



Рисунок 3.13 – Схема нагружения модели роговицы глаза

При моделировании роговицы глаза было положено, что изнутри она нагружена равномерным давлением величиной p=18 мм рт. ст. Схема нагружения модели роговицы изображена на рисунке (Рисунок 3.13). Для решения нелинейной краевой задачи необходимо сформулировать граничные условия, в связи с этим на периферической поверхности расчетной модели роговицы накладывали ограничения на все перемещения в узлах. Материал роговицы полагался изотропным с модулем упругости E = 0,83 МПа и коэффициентом поперечной деформации $\mu=0,48$. Модуль упругости роговицы может изменяться в довольно широком диапазоне: от 0,1 до 1,0 МПа. Расчетная модель позволяет довольно просто изменять механические характеристики при выполнении расчета напряженно-деформированного состояния.

Распределение перемещений в роговице глаза изображено на рисунке (Рисунок 3.14). При этом каждому цветовому оттенку на приведенной ниже шкале соответствует строго определенный интервал перемещений.



Рисунок 3.14 – Мозаика перемещений на модели роговицы глаза, мкм

пятно овальной формы располагается в Окрашенное красным цветом центральной части роговицы (Рисунок 3.14) и соответствует области наибольших перемещений. С увеличением расстояния от центра до анализируемой области, величина перемещений уменьшается. Этот факт объясняется тем, что изгибная жесткость роговицы с увеличением расстояния от центра заметно возрастает и в периферической части превышает аналогичную величину жесткости В центральной части более чем на порядок. Это обстоятельство свидетельствует о том, что использование мембранной теории тонких оболочек применительно к расчету напряженного состояния роговицы приводит недостоверным К результатам.

Изменение изгибных напряжений в диаметральном сечении 180°-0° модели роговицы глаза представлено двумя фрагментами на рисунке (Рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Изменение изгибных напряжений в диаметральном сечении

модели роговицы глаза

Верхний фрагмент (Рисунок 3.15) характеризует изменение изгибных напряжений в роговице до проведения операции, нижний фрагмент - после выполнения операции. В обоих случаях наибольшие напряжения наблюдаются на периферической части поверхности роговицы. Их максимальная величина равна 13,42 кПа до операции и 17,46 кПа после операции. В центральной части роговицы до операции максимальная величина анализируемых напряжений составляет 8,72 кПа, а после операции – 11,67 кПа. Кроме того, в центральной части напряжения по толщине роговицы не меняют знак и в любой точке сечения являются растягивающими. В краевой части, напротив, изгибные напряжения по толщине роговицы изменяют знак с минуса по наружной поверхности на плюс по внутренней поверхности.

Уменьшение толщины роговицы сопровождается увеличением изгибных напряжений в центральной части роговицы на 25% и более, двукратным изгибным возрастанием применительно к сжимающим напряжениям на периферической части. Экспериментальные кривые в координатах «напряжение» - «деформация» характеризуют величину напряжений в роговице глаза человека в зависимости от степени деформации. При деформации 7,38%, которая имеет место в периферической части роговицы по данным расчета, величина напряжений разрыва, полученная по отмеченной кривой, незначительно превышает 50 кПа. На основе такого сравнения можно сделать заключение о том, что суммарное уменьшение толщины роговицы на 120 – 150 мкм в результате абляции и отгибания лоскута не приводит к напряженному состоянию роговицы близкому к потере прочности.

С целью оценки достоверности полученных результатов расчетов был выполнен ряд вычислений для пациентов, прооперированных посредством Wavefront-Guided FemtoLASIK операции. В таблице (Таблица 3.10) приведены результаты измерений и вычислений. Измерения толщины роговицы проводили до операции, в процессе операции и после операции.

126

Радиус, мм	Тол- щина до операци и, мкм	Абля- ция, мкм	Толщина лоскута, мкм	Тол- щина после абля- ции, мкм	Изме- ренная толщина после операции, мкм	Расчет- ная толщина после опера- ции, мкм	Экспери- ментальное изменение толщи- ны, мкм	Разность переме- щений, мкм
180°-0°						MKM		
-3	548	13,53	96	459	555	534,47	20,53	18,33
-2	517	43,25	97	413	510	473,75	36,25	34,21
-1	503	57,74	95	396	491	445,26	45,74	41,27
0	501	62,00	95	396	491	439	52	48,43
1	515	57,96	95	407	502	457,04	44,96	43,58
2	539	43,16	95	414	509	495,84	13,16	14,12
3	574	12,87	95	503	598	561,13	36,87	35,76
225°-45°								
-3	539	13,94	96	473	569	525,06	43,94	38,27
-2	518	42,89	96	419	515	475,11	39,89	36,03
-1	506	57,25	96	349	485	448,75	36,25	33,92
0	506	62,00	95	402	497	444	53	48,17
1	523	58,1	94	382	476	464,9	11,1	12,12
2	557	44,2	95	402	497	512,8	-15,8	-11,38
3	606	14,14	95	488	583	591,86	-8,86	-6,14
270°-90°								
-3	557	15,10	95	452	547	541,9	5,10	3,76
-2	519	43,25	96	403	499	475,75	23,25	20,13
-1	515	57,42	95	392	487	457,58	29,42	27,02
0	518	62,00	97	382	479	456	23	24,04
1	514	58,33	96	391	487	455,67	31,33	30,41
2	536	43,53	96	432	528	492,47	35,53	33,23
3	594	13,93	96	530	616	580,07	35,93	32,67
315°-135°								
-3	557	13,14	94	504	598	543,86	54,14	49,87
-2	528	43,89	96	452	548	484,11	63,89	58,28
-1	510	57,11	96	405	501	452,89	48,11	46,07
0	511	62,00	96	389	485	449	36	34,43
1	517	57,85	97	393	490	459,15	30,85	27,96
2	538	43,87	94	408	502	494,13	7,87	6,18
3	585	13,19	95	485	580	571,81	8,19	6,91

При этом принималось во внимание то обстоятельство, что лоскут, возвращенный на роговицу после операции, выполняет защитную функцию пластыря и не оказывает влияние на жесткость роговицы. В предпоследнем столбце (Таблица 3.10) приведены величины, характеризующие экспериментальное изменение толщины, полученные как разность между измеренной и расчетной толщиной роговицы после операции. В последнем столбце таблицы (Таблица 3.10) приведены величины, характеризующие разность перемещений роговицы до и после проведения операции.

С целью оценки корреляции между изменением толщины роговицы и разностью перемещений для всех четырех диаметральных сечений на рисунке (Рисунок 3.16) изображены восемь линий, обозначенных цифрами от 1 до 8.



Рисунок 3.16 – Расчетные и экспериментальные изменения значений перемещений и толщины роговицы глаза

Нечетные линии характеризуют разность толщин роговицы, а четные – разность перемещений роговицы до и после операции. Надпись над линиями указывает их принадлежность к конкретному диаметральному сечению. Анализ приведенных линий свидетельствует о заметной корреляции между линиями, расположенными в одном диаметральном сечении и менее выраженной корреляцией между линиями в разных сечениях. Довольно значительный разброс анализируемых величин можно объяснить рядом причин, к числу важнейших из которых следует отнести анизотропию материала роговицы, неоднородность механических свойств по объему.

При изменении внутриглазного давления в диапазоне от 15 до 30 мм рт. ст. модуль упругости роговицы не изменяет своего значения, но с увеличением давления его величина резко возрастает. Этот факт можно объяснить только нелинейностью материала роговицы или изменением его структуры. Предложенная математическая модель роговицы глаза позволяет проводить расчеты для анизотропного материала при рассматриваемом нагружении. Вместе с тем, для получения достоверных результатов расчетов необходимо располагать достаточно точно определенными механическими характеристиками материала роговицы.

Таким образом, использование математического моделирования на основе конечноэлементной модели роговицы глаза подтвердило его эффективность. В предложенном методе анализа напряженно-деформированного состояния роговицы использован объемный конечный элемент и нелинейная модель. Это позволило учитывать переменную толщину роговицы по всему её объему и строить расчетную математическую модель с учетом реальных толщин, определенных с помощью оптической измерительной техники. Определение напряженно-деформированного состояния осуществляли на основе решения нелинейной краевой задачи теории упругости. Расчет напряжений и перемещений во множестве узловых точек роговицы позволяет офтальмохирургу сформировать более полное представление о влиянии параметров, изменяемых в процессе операции, на состояние оперированного глаза пациента.

129

На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

1. Модули всех коэффициентов для полиномов 3-6-го порядков были меньше 0,2 мкм.

2. Радиус зрачка был одинаков до и после лечения.

3. В результате модулированной операции отмечено возрастание коэффициента Z (4,0) с 0,66 мкм до 0,90 мкм, что качественно согласуется с клиническими результатами LASIK: до лечения сферическая аберрация глаза мала, а после – увеличивается со снижаением зрения пациента.

4. Выполнение Wavefront-Guided абляции по миопическому алгоритму на экспериментальных линзах не приводит к ожидаемому уменьшению величин АВП.

5. Применение Wavefront-Guided Selective абляции позволило эффективно корректировать отдельные АВП.

6. Применение Wavefront-Guided Selective абляции целесообразно в коррекции клинически значимых АВП в отличие от Wavefront-Guided абляции.

7. При изменении внутриглазного давления в диапазоне от 15 до 30 мм рт. ст. модуль упругости роговицы не изменяет своего значения, но с увеличением давления его величина резко возрастает.

8. Предложенная математическая модель роговицы глаза позволяет проводить расчеты для анизотропного материала при рассматриваемом нагружении.

9. Таким образом, использование математического моделирования на основе конечноэлементной модели роговицы глаза позволило учитывать переменную толщину роговицы по всему её объему и строить расчетную математическую модель с учетом реальных толщин, определенных с помощью оптической измерительной техники. Расчет напряжений и перемещений во множестве узловых точек роговицы позволяет офтальмохирургу сформировать

более полное представление о влиянии параметров, изменяемых в процессе операции, на состояние оперированного глаза пациента.

ГЛАВА 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ АБЛЯЦИИ РОГОВИЦЫ, ФОРМИРОВАНИЯ РОГОВИЧНОГО ЛОСКУТА И ЛЕНТИКУЛА В РАЗВИТИИ ИНДУЦИРОВАННЫХ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

4.1. Результаты изменений АВП при неперсонализированной операции LASIK у пациентов 1-ой группы

Первую группу составили 72 пациента (144 глаза) с миопий и сложным миопическим астигматизмом. Всем пациентам данной группы проведена операция LASIK по поводу миопии и миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) с диаметром оптической зоны 6 мм. У большинства пациентов (87%) данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1,3,6 и 12 месяцев после операции.

Таблица 4.1 – Показатели визометрии и сфероэквивалента у пациентов до операции LASIK и в 1-е сутки после операции (n=144) *(p<0,05).

Острота зрения без			Сфероэквивалент (D)		Острота зрения	
N⁰	корро	екции			с корр	екцией
группы	до	после	д0	после	д0	после
	операции	операции	операции	операции	операции	операции
1 группа	0,06±0,01	0,83±0,19*	-4,46±0,96	-0,07±0,34*	0,92±0,13	0,96±0,11
операция						
LASIK						

У пациентов 1-й группы роговичный лоскут формировали микрокератомом Moria Evolution 3E (Moria, Франция) с одноразовыми пластиковыми головками M2 Single Use (M2SU) 90 с вмонтированным металлическим лезвием для формирования лоскута толщиной 90 мкм. В первые сутки после операции LASIK были достигнуты высокие сравнимые визометрические результаты с эмметропической рефракцией (Таблица 4.1). Толщина сформированного лоскута варьировала в широких пределах и составила в 1-ой группе 132 ± 19 мкм (от 87 до 187 мкм) (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Показатели интраоперационных пахиметрических измерений (n=144) *(p<0,05)

№ Группы	Толщина роговицы до операции, мкм	Толщина лоскута (min - max), мкм	Толщина стромального ложа, мкм	Толщина роговицы после операции, мкм
1 группа операция LASIK	520 ± 40	132 ± 19 (87 - 187)	394 ± 25	461 ± 29*

Толщина стромального ложа роговицы после среза лоскута и проведенной абляции была не менее 250 мкм. В 1-ой группе толщина сформированного роговичного лоскута на первом глазу - 131 ± 17 мкм и на втором глазу - 133 ± 20 мкм статистически значимо не различалась (p>0,05) (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Толщина сформированного роговичного лоскута на первом и втором глазах в сравниваемых группах пациентов (n=144)

№ группы	Толщина роговичного лоскута первого глаза, мкм	Толщина роговичного лоскута второго глаза, мкм	р
l группа операция LASIK	131 ± 17	133 ± 20	0,919

Таким образом, выполнение интраоперационной пахиметрии при операции LASIK необходимо во всех случаях, так как значительные колебания в толщине сформированного роговичного лоскута вызывают необходимость изменения в ходе операции параметров абляции и позволяют достигать максимального функционального результата при условии сохранения минимальной толщины стромального ложа в 250 мкм для предотвращения риска развития послеоперационной кератэктазии.

Сферический эквивалент рефракции до операции составил -4,46±0,96 D. Максимальная острота зрения с коррекцией до операции составила 0,92±0,13, острота зрения без коррекции после операция была достоверно выше – 0,96±0,11 (p<0,002). В то же время суммарные АВП поле операции достоверно увеличились: RMS НО после операции составил 0,51±0,34 мкм, в сравнении с дооперационным - 0,32±0,08 мкм (p<0,001). Изменения в структуре АВП представлены в таблице (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 -	– Структура	аберрации	высшего	порядка	до и после	стандартно	го
LASIK (n=144	4)						

	До операции,	После	р
Коэффициенты Zernike	МКМ	операции,	
		МКМ	
Трефойл Z(3;-3)	0,01±0,12	0,04±0,14	p<0,07
Вертикальная кома Z(3;-1)	0,13±0,12	0,29±0,22	p<0,05
Горизонтальная кома Z(3;1)	0,26±0,09	0,79±0,42	p<0,05
Трефойл Z(3;3)	0,09±0,13	0,12±0,11	p<0,05
Сферическ. аберрация Z(4;0)	0,04±0,16	-0,73±0,17	p<0,05

После операции стандартный LASIK достоверно увеличились все аберрации, за исключением трефойла Z(3;-3). Однако коэффициент корреляции показал, что наибольшее увеличение RMS НО происходило за счет сферической аберрации (коэффициент Спирмена +0,73).

В то же время, увеличение сферической аберрации произошло не на всех глазах, на 37 (25,6%) из 144 глаз она не изменилась или даже уменьшилась. Дооперационные значения сферической аберрации, а также других АВП в группе с послеоперационным увеличением сферической аберрации статистически значимо не отличались от таковых в группе, где сферическая аберрация после операции не изменилась.

Выполнение операции LASIK, несмотря на значительное повышение остроты зрения, приводит к увеличению АВП в оптической системе глаза. Увеличение АВП происходит в основном за счет сферической аберрации. На увеличение сферической аберрации после стандартного LASIK влияют не столько исходные данные аберраций пациента, сколько сама методика проведения операции.

4.2 Результаты изменений АВП при операции топографический LASIK у пациентов 2-ой группы

Вторую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция топографический LASIK (Рисунок 4.1) в режиме персонализированной топографической абляции при помощи системы CRS-Master с интегрированным кератотопографом ATLAS 995. Операцию выполняли на эксимерном лазере MEL-80 (Carl Zeiss Meditec, Германия) с диаметром оптической зоны 6 мм

Flap Cutter Default
Pachymetry 530 [µm]
Flap Thickness 180 [µm]
Ablation Depth 46 [µm]
Post-op RST 304 [µm] 0.18mm@326°

А

Рисунок 4.1 – Расчет глубины абляции (Ablation Depth) при стандартном LASIK 67 мкм (А) и топографическом LASIK 46 мкм (Б) при одинаковой величине СЭ и оптической зоне

Б

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1,3,6 и 12 месяцев после операции.

Результаты лечения пациентов 2-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 1-й группы. Острота зрения без коррекции до операции в 1-ой и 2-ой группах была 0,06±0,01; 0,05±0,03 и после операции составила 0,83±0,03; 0,83±0,16 (p>0,05).

Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 1-ой группе составил -4,46 \pm 0,96 D., острота зрения (ОЗ) с коррекцией 0,92 \pm 0,13. Во 2-ой группе Сферический эквивалент (СЭ) до операции составил -5,89 \pm 1,42 D, ОЗ с коррекцией 0,96 \pm 0,09. Величина абляции составила 81 \pm 12µm и 73 \pm 11µm соответственно (p<0,05).

Через 6 месяцев после операции СЭ в 1-ой группе составил – 0,02 ± 0,35 D, во 2-ой группе – 0,31 ± 0,36 D. Предсказуемость послеоперационного рефракционного результата при коррекции миопии (Рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Предсказуемость результатов в 1-ой группе стандартный LASIK (А) и 2-ой группе топографический LASIK (Б)

ОЗ без коррекции была в 1-ой группе $0,83 \pm 0,03$, с коррекцией $0,96 \pm 0,11$, во 2-ой группе без коррекции $0,83 \pm 0,16$, с коррекцией $0,94 \pm 0,11$. В обеих группах после операции произошло увеличение сферической аберрации Z(4;0) -

 $0,73\pm0,17$ µm и -0,52±0,4 µm, а также увеличение среднеквадратичного корня суммы АВП (RMS HO): 0,51±0,34 µm и 0,47±0,13 µm соответственно (Таблица 4.5).

Контрастная чувствительность в обеих группах была сопоставимой (Рисунок 4.3) и статистически значимой разницы не выявлено (Рисунок 4.4). **Таблица 4.5** – Изменение RMS HO (µm) и сферической аберрации (µm) после операции LASIK (1-ая группа (n=144)) и топографический LASIK (2-ая группа(n=80)) *(p<0,05)

	RMS	HO (μm)	Сферич. аберрация (µm)		
	1-ая группа	2-ая группа	1-ая группа	2-ая группа	
	операция	Топографичес-	операция	топографичес-	
	LASIK	кий LASIK	LASIK	кий LASIK	
До операции	$0,32 \pm 0,08$	$0,\!34 \pm 0,\!15$	$0,04 \pm 0,16$	$0,\!05 \pm 0,\!19$	
Через 3 мес. после операции	0,51 ± 0,34*	0,47 ± 0,13*	$-0,73 \pm 0,17*$	$-0,52 \pm 0,4*$	



Рисунок 4.3 – Контрастная чувствительность в 1-й группе стандартный LASIK (А) и во 2-й группе топографический LASIK (Б) до операции

Индуцирование всех АВП, в частности сферической аберрации, в обеих группах свидетельствует о преимущественно биомеханических изменениях оперированной роговицы. Меньший объем абляции у пациентов, которым проведена операция топографический LASIK с алгоритмом персонализированной топографической абляции, позволяет ее применять при высоких степенях миопии и сложного миопического астигматизма, а также при меньших предоперационных пахиметрических показателях роговицы.





Таким образом, наряду с изменением величины сферической аберрации и RMS HO, операция топографический LASIK с алгоритмом персонализированной топографической абляции по поводу миопии и миопического астигматизма является эффективным методом в коррекции миопии и миопического астигматизма со стабильным, предсказуемым рефракционным эффектом при меньшем объеме абляции.

4.3 Результаты изменений АВП при персонализированной операции Wavefront-Guided LASIK у пациентов 3-ей группы

Третью группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-guided LASIK по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) с коррекцией АВП при помощи системы CRS-Master, интегрированной в аберрометр WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции.

Результаты лечения пациентов 3-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 1-й группы.



Рисунок 4.5 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента после операции Wavefront-Guided LASIK в косом меридиане (225°-45°), совпадающем с ходом движения головки микрокератома. Метками обозначена асимметрия толщины роговичного лоскута между нижним и верхним секторами на расстоянии 2 мм и 3 мм от центра роговицы

Толщина роговицы в центре до операции была 562±17 мкм и стала после операции 499±19 мкм (p<0,05). Толщина лоскута в центре составила 134±16 мкм. Толщина роговичного лоскута в нижнем секторе на расстоянии 2 и 3 мм от центра

роговицы в косом меридиане ($225^{\circ}-45^{\circ}$) (Рисунок 4.5), совпадающем с ходом движения головки микрокератома, составила 156 ± 16 мкм и 172 ± 13 мкм соответственно, в вертикальном меридиане ($270^{\circ}-90^{\circ}$) - 153 ± 18 мкм и 165 ± 16 мкм. Эти величины были статистически значимо больше толщины роговичного лоскута в верхнем секторе в симметричных точках указанных меридианов - 142 ± 15 мкм и 156 ± 18 мкм; 143 ± 13 мкм и 155 ± 16 мкм. В симметричных точках относительно центра в других исследованных меридианах статистически значимой разницы не выявлено. Полученные данные не коррелировали с данными дооперационной толщины роговицы соответствующих точек.

Острота зрения без коррекции до операции была $0,05\pm0,02$, после операции составила $0,86\pm0,04$ (p<0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции составил -4,67±1,94 D, после операции $0,01\pm0,33$ D (p<0,05). Острота зрения с коррекцией до операции была $1,0\pm0,14$, после операции $-1,0\pm0,09$ (p>0,05) (Таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Показатели визометрии и сфероэквивалента у пациентов 3-ей группы (n=80) до операции Wavefront-Guided LASIK и в 1-е сутки после операции

	До операции Wavefront- guided LASIK	После операции Wavefront- guided LASIK	р
Сферический			
эквивалент, D	- 4,67 ± 1,94	$0,01 \pm 0,33$	p < 0,05
Острота зрения			
без коррекции	$0,05 \pm 0,02$	$0,\!86\pm0,\!04$	p < 0,05
Острота зрения			
с коррекцией	$1,0 \pm 0,14$	$1,\!00\pm0,\!09$	p > 0,05

Среднеквадратичный корень суммы АВП (RMS HO) до операции был 0,33 ± 0,07 µm, после операции увеличился до 0,46±0,25 µm (p<0,05). Величина

сферической аберрации глаз до операции была $0,03\pm0,23$ µm, после операции увеличилась в отрицательную сторону до $-0,62\pm0,16$ µm (p<0,05). Величина вертикальной комы Z(3;-1) глаз до операции была $0,08 \pm 0,31$ µm и после операции составила $0,07\pm0,46$ µm (p>0,05). Величина горизонтальной комы Z(3;1) глаз до операции была $0,22 \pm 0,37$ µm и после операции составила $0,38\pm0,7$ µm (p>0,05) (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Показатели аберраций высшего порядка у пациентов 3-ей группы (n=80) до операции Wavefront-guided LASIK и в 1-е сутки после операции

	До операции Wavefront- guided LASIK	После операции Wavefront- guided LASIK	р
RMS HO, μm	$0,\!33 \pm 0,\!07$	$0,\!46 \pm 0,\!25$	p < 0.05
Сферическая			
Аберрация Z(4;0),	$0,03 \pm 0,23$	$-0,62 \pm 0,16$	p < 0.05
μm			
Горизонтальная			
кома Z(3;1), µm	$0,\!22 \pm 0,\!37$	$0,\!38\pm0,\!7$	p > 0.05
Вертикальная			
кома Z(3;-1), µm	$0,\!08 \pm 0,\!31$	$0,\!07 \pm 0,\!46$	p > 0.05

Данные контрастной чувствительности после операции Wavefront-Guided LASIK на всех частотах уменьшились.

Асимметричная неравномерность роговичного лоскута по толщине объясняется особенностями механического выкраивания лоскута микрокератомом, длительностью наложения вакуумного кольца на глаз, кривизной и диаметром роговицы оперируемого глаза, её биомеханическими характеристиками. Таким образом, по данным оптической когерентной томографии выявлена неравномерность толщины роговичного лоскута в симметричных точках исследованных меридианов, которая обусловлена направлением движения головки микрокератома. Наряду со статистически значимыми изменениями величины сферической аберрации и RMS HO при операции Wavefront-Guided LASIK не отмечалось статистически значимого изменения вертикальной и горизонтальной комы.

В 3-ой группе СЭ до операции составил - 4,67±1,94 D, O3 с корр. 1,0±0,14. Через 3 месяца после операции СЭ в 3-ой группе – 0,20±0,56 D. O3 без корр. в 3ей группе была 0,92± 0,04, с корр. 1,02±0,07 (p<0,05). К 3 месяцам после операции разница между аберрациями 3-го порядка, а также среднеквадратичного корня суммы АВП (RMS HO) в 3-ей группе было меньшей, чем в 1-ой группе (на 0,77 µ и 0,09 µ) соответственно.

Таким образом, операция Wavefront-Guided LASIK с учетом коррекции аберраций волнового фронта при миопии и сложном миопическом астигматизме вызывает меньшее индуцирование АВП.

В 1-ой и 3-ей группах к 3 месяцам после операции произошло увеличение всех типов АВП, но в 1-ой группе без коррекции аберраций увеличение комы Z(3;1) Z(3;-1) было в 2 раза достоверно выше и сферической аберрации Z(4;0) в 1,17 раза больше, изменение других показателей АВП вообще оказалось статистически не значимым.

При проведении операции Wavefront-Guided LASIK с коррекцией аберраций волнового фронта с созданием программного файла для компьютера эксимерного лазера MEL-80 наблюдается в 1,17 раза меньшее увеличение сферических аберраций по сравнению с операцией LASIK без коррекции аберраций волнового фронта. Это связано с алгоритмом абляции и, соответственно, с большим изменением формы роговицы, а также с тем, что в исследовании не использовался специальный поправочный коэффициент для сферических аберраций. Между изменениями всех ABП роговицы, измеренными с помощью Pentacam HR и всей оптической системы глаза (WASCA), за исключением сферической аберрации Z (4; 0) (R = 0,689), статистически значимой зависимости найдено не было.

Найдена статистически значимая зависимость между изменениями АВП всей оптической системы глаза (WASCA) и передней поверхности роговицы с использованием Atlas 9000 у аберраций: Z (3; -1) с коэффициентом корреляции R=0,574, Z (3; -3) с коэффициентом корреляции R=0,499, Z (4;4) с коэффициентом корреляции R=0,439 и Z (4; 0) с коэффициентом корреляции R=0,583.

Таким образом, Pentacam HR не позволяет выявить статистически значимые изменения АВП, кроме сферической аберрации, после операции Wavefront-Guided LASIK по поводу миопии и миопического астигматизма, по сравнению с аберрометром WASCA.

Atlas 9000 позволяет выявить статистически значимые изменения таких аберраций высших порядков, как Z(3; -1), Z(3; -3), Z(4;4), Z(4; 0) после операции Wavefront-Guided LASIK по поводу миопии и сложного миопического астигматизма по сравнению с аберрометром WASCA.

При проведении операции Wavefront-Guided LASIK как с коррекцией аберраций волнового фронта, так и без нее изменения аберраций выше четвертого порядка и среднеквадратичного корня всех аберраций были очень малы и статистически не значимы, что свидетельствует о том, что в дальнейших исследованиях можно их не учитывать.

4.4. Результаты Wavefront-Guided алгоритма абляции и изменений АВП при операции Wavefront-Guided Epi-LASIK у пациентов 4-ой группы

Четвертую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-Guided Epi-LASIK в режиме персонализированной абляции по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере

MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) с коррекцией АВП при помощи системы CRS-Master, интегрированной в аберрометр WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1,3,6 и 12 месяцев после операции.

В 4-ой группе для формирования эпителиального лоскута применялся эпимикрокератом Evolution 3E Epi-KTM (Moria, Франция). Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции.

Результаты лечения пациентов 4-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-ей группы.

Острота зрения без коррекции до операции в 3-ей и 4-ой группах была $0,05\pm0,02; 0,06\pm0,02$ соответственно и после операции $1,02\pm0,07; 0,99\pm0,02$ соответственно (p>0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 3-ей и 4-ой группах составил -4,67±1,94D; -3,39±0,83D соответственно и после операции - $0,02\pm0,56$ D; -0,37±0,31D соответственно (p>0,05).

Острота зрения с коррекцией до операции в 3-ей и 4-ой группах была 1,0±0,09; 0,99±0,02 соответственно и после операции 1,0±0,09; 1,0±0,02 соответственно (p>0,05). Среднеквадратичный корень суммы аберраций высшего порядка (RMS HO) до операции в 3-ей и 4-ой группах был 0,33±0,07 μ m, 0,34±0,12 μ m соответственно и после операции увеличился до 0,46 ± 0,25 μ m, 0,46 ± 0,08 μ m соответственно (p>0,05).

В 3-ей и 4-ой группах величины аберраций Z(3;-3), Z(3;-1), Z(3;3), Z(4;-4), Z(4;-2), Z(4;2), Z(4;4) до и после операции статистически значимо не различались. Величина сферической аберрации глаз Z(4;0) в 3-ей и 4-ой группах до операции была $0,03\pm0,23$ µm; $0,04\pm0,28$ µm, после операции увеличилась в обеих группах в отрицательную сторону до $-0,53\pm0,38$ µm; $-0,21\pm0,36$ µm соответственно (p>0,05).

В 3-ей группе величина аберрации Z(3;1) до и после операции статистически значимо не изменилась и составила $0,22 \pm 0,37$ µm и $0,38 \pm 0,7$ µm.
В 4-ой группе величина аберрации Z(3;1) статистически значимо увеличилась и составила $0,26\pm0,69~\mu$ m и $0,79\pm0,42~\mu$ m (p<0,05)соответственно (Таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Изменение RMS HO (μm), сферической аберрации (μm) и горизонтальной комы Z(3;1) (μm) после операции в 3 (n=80) и 4 группах (n=80) *(p<0,05)

	RMS HO (µm)		Сферическая		Горизонтальная	
			аберрация (µm)		кома Z(3;1) (µm)	
	3 а	4-я группа	3-я группа	4-я группа	3-я	4-я
	5-я	Wavefront-	Wavefront-	Wavefront-	группа	группа
		Guided	Guided	Guided	Wavefront-	Wavefront
	wavefront-	Epi-LASIK	LASIK	Epi-LASIK	Guided	-Guided
	Guided				LASIK	Epi-
	LASIK					LASIK
До						
опера	0,33±0,07	0,34±0,12	0,03±0,23	$0,04{\pm}0,28$	$0{,}22\pm0{,}37$	0,26±0,69
ции						
3 мес.						
после	0.46+0.25	0.46+0.00	0.02 + 0.10	0.21 ± 0.26	0.28 + 0.7	0.70+0.42*
опера	0,46±0,25	0,46±0,08	-0,62±0,16	$-0,21 \pm 0,36$	$0,38 \pm 0,7$	0,79±0,42*
ции						

После операции Wavefront-Guided Epi-LASIK у пациентов глаза были спокойны (Рисунок 4.5), контактная линза в правильном положении (Рисунок 4.6).



Рисунок 4.5 –

Правый глаз

пациента М. с контактной линзой в первые сутки после операции Wavefront-Guided Epi-LASIK.



Рисунок 4.6 – Оптическая когерентная томограмма правого глаза пациента М. Контактная линза на роговице в первые сутки после операции Wavefront-Guided Epi-LASIK.

После удаления контактной линзы у пациентов, перенесших операцию Wavefront-Guided Epi-LASIK эпителизация была полная, отмечался рыхлый

эпителий в центре (Рисунок 4.7). Через 3-6 месяцев у 7 пациентов (17,5%) наблюдали центральное помутнение роговицы (haze) 1ст. (Рисунок 4.8).



Рисунок 4.7 – Правый глаз пациента М. на пятые сутки после операции Wavefront-Guided Epi-LASIK. Контактная линза удалена, полная эпителизация роговицы



Рисунок 4.8 – Правый глаз пациента М. через три месяца после операции Wavefront-Guided Epi-LASIK. Центральное помутнение роговицы (haze) 1 ст.

Контрастная чувствительность в обеих группах была сопоставимой (Рисунок 4.9) до операции и снижена после операции (Рисунок 4.10).



Рисунок 4.9 – Контрастная чувствительность в 3-ей группе Wavefront-Guided LASIK (А) и в 4-й группе Wavefront-Guided Epi-LASIK (Б) до операции



Рисунок 4.10 – Контрастная чувствительность в 3-ей группе Wavefront-Guided LASIK (А) и в 4-й группе Wavefront-Guided Epi-LASIK (Б) после операции

Таким образом, Wavefront-Guided Epi-LASIK и Wavefront-Guided LASIK не только не устраняют предоперационные ABП, но и индуцируют сферическую аберрацию Z(4;0), a Wavefront-Guided Epi-LASIK также индуцирует горизонтальную кому Z(3;1).

4.5. Результаты Wavefront-guided алгоритма абляции и изменений АВП при операции Wavefront-Guided FemtoLASIK у пациентов 5-ой группы

Пятую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-Guided Femto-LASIK в режиме персонализированной абляции по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) с коррекцией АВП при помощи системы CRS-Master, интегрированной в аберрометр WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции.

В 5-ой группе для формирования роговичного лоскута с запланированной толщиной 100 мкм с ножкой на 12 часах применялся фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec, Германия).

Результаты лечения пациентов 5-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-й группы.

В 3-ей и 5-й группах острота зрения без коррекции до операции составляла $0,05\pm 0,02$ и $0,14\pm 0,11$ соответственно, после операции – $0,86\pm 0,04$ и $0,99\pm 0,02$ соответственно. Между сравниваемыми группами, как до операции, так и после операции, статистически значимых различий нет (p>0,05). Что касается остроты зрения с коррекцией, то до операции она была у пациентов 3-ей и 5-ой групп 0,86 $\pm 0,04$ и $0,99 \pm 0,02$ соответственно, после операции – $1,0 \pm 0,09$ и $0,99 \pm 0,02$ соответственно, после операции – $1,0 \pm 0,09$ и $0,99 \pm 0,02$ соответственно, после операции и до операции, и после операции статистически значимых различий не выявлено (p > 0,05).

Сферический эквивалент (СЭ) до операции был $-4,67 \pm 0,63$ и $-2,44 \pm 1,04$ D в 3-ей и 5-ой группах соответственно. После операции значения СЭ составили $(0,01 \pm 0,33)$ D и $(0,0 \pm 0,0)$ D соответственно. И вновь между группами как до операции, так и после операции статистически значимых различий не выявлено (р > 0,05).

В 3-ей группе после операции Wavefront-Guided LASIK толщина лоскута в центре составила 135 ± 16 мкм. Толщина роговичного лоскута в нижнем секторе на расстоянии 2 и 3 мм от центра роговицы в косом меридиане ($225^{\circ}-45^{\circ}$) (Рисунок 4.11), совпадающем с ходом движения головки микрокератома, составила 156 ± 16 мкм и 172 ± 13 мкм соответственно, в вертикальном меридиане ($270^{\circ}-90^{\circ}$) - 153 ± 18 мкм и 165 ± 16 мкм соответственно. Эти величины статистически значимо были больше толщины роговичного лоскута в верхнем секторе в симметричных точках указанных меридианов - 142 ± 15 мкм и 156 ± 18 мкм соответственно; 143 ± 13 мкм и 155 ± 16 мкм соответственно. В симметричных точках относительно центра в других исследованных меридианах статистически значимой разницы не выявлено (Таблица 4.9).



Рисунок 4.11 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента после операции Wavefront-Guided LASIK в косом меридиане (225°-45°), совпадающем с ходом движения головки микрокератома. Выявлена асимметрия толщины

роговичного лоскута между нижним и верхним сектором на расстоянии 2 и 3 мм

от центра роговицы

Расстояние от	Угловое направление скана в градусах			
центра, мм	180⁰ - 0 ⁰	225 ⁰ - 45 ⁰	270 [°] - 90 [°]	315 ⁰ - 135 ⁰
- 3	$164,87 \pm 14,64$	$171,70 \pm 13,42$	$165,03 \pm 16,30$	$168,\!17\pm15,\!97$
- 2	$151,33 \pm 14,13$	$155,97 \pm 15,66$	$153,37 \pm 18,06$	$151,13 \pm 18,16$
- 1	$142,47 \pm 15,02$	$141,67 \pm 15,67$	$142,33 \pm 15,46$	$142,33 \pm 18,97$
0 1		134,73	$3 \pm 15,70$	
1	$138,73 \pm 17,47$	$136,83 \pm 14,98$	$135,40 \pm 16,27$	$134,30 \pm 31,68$
2	$147,67 \pm 15,35$	$142,00 \pm 14,81$	$142,83 \pm 13,44$	$150,17 \pm 14,88$
3	$161,30 \pm 18,42$	$156,57 \pm 18,51$	$155,17 \pm 15,83$	$164,47 \pm 13,27$

Таблица 4.9 – Толщина роговичного лоскута у пациентов 3-ей группы (n=80) после операции Wavefront-Guided LASIK, в мкм



Рисунок 4.12 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента после операции Wavefront-Guided FemtoLASIK в косом меридиане (225°-45°). Не выявлено асимметрии толщины роговичного лоскута между нижним и верхним сектором на расстоянии 2 и 3 мм от центра роговицы

Таблица 4.10 – Толщина роговичного лоскута у пациентов 5-ой группы после операции FemtoLASIK, (n=80), в мкм

Расстояние от	Угловое направление скана в гра		tycax	
центра, мм	180⁰ - 0 ⁰	225 ⁰ - 45 ⁰	270 ⁰ - 90 ⁰	315º - 135º
- 3	$101,71 \pm 3,34$	$100,25 \pm 3,27$	$100,79 \pm 3,18$	$100,96 \pm 3,11$
- 2	$100,96 \pm 3,36$	$100,63 \pm 3,46$	$100,71 \pm 3,69$	$100,38 \pm 2,95$
- 1	$101,13 \pm 3,30$	$100,33 \pm 2,93$	$100,42 \pm 3,08$	$100,38 \pm 2,90$
0		100,	$71 \pm 2,91$	
1	$101,04 \pm 3,30$	$100,25 \pm 2,83$	$99,83 \pm 3,40$	$100,67 \pm 3,12$
2	$101,29 \pm 3,38$	$100,71 \pm 3,01$	$100,75 \pm 3,48$	$100,71 \pm 2,99$
3	$100,92 \pm 3,22$	$100,00 \pm 2,60$	$100,79 \pm 3,12$	$100,92 \pm 3,34$

В 5-ой группе после операции Wavefront-Guided FemtoLASIK толщина лоскута в центре составила 101 ± 3 мкм (Рисунок 4.12), а в симметричных точках относительно центра во всех исследованных меридианах статистически значимой разницы в толщине сформированного роговичного лоскута не выявлено (Таблица 4.10).

Применение в эксимерлазерной рефракционной хирургии фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута позволяет выкраивать равномерный, симметричный по толщине роговичный лоскут.

Сформированный фемтосекундным лазером лоскут роговицы сводит к минимуму индуцирование АВП и их вклад в расчете параметров при персонализированной эксимерлазерной хирургии в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

При исследовании на Pentacam в 3-ей группе, где для формирования роговичного лоскута с ножкой на 12 часах применялся микрокератом Evolution 3E (Moria) с головками M2 SU 90:

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 1 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла 76,83 ± 6,9; после

операции 77,08 \pm 10,88 и разница между до и послеоперационными данными была 0,25 \pm 7,47 и была статистически не значимой (p = 0,8).

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 2 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла $317,17 \pm 20,15$; после операции $317,72 \pm 27,09$ и разница между до и послеоперационными данными была $0,56 \pm 14,83$ и была статистически не значимой (p = 0,51).

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 3 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла 743,75 \pm 40,58; после операции 745,17 \pm 47,68 и разница между до и послеоперационными данными была 1,42 \pm 23,7 9 и была статистически не значимой (p = 0,38).

При исследовании на Pentacam в 5-ой группе, где для формирования роговичного лоскута с запланированной толщиной 100 мкм, с ножкой на 12 часах применялся лазерный микрокератом VisuMax (Carl Zeiss Meditec):

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 1 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла $78,55 \pm 7,61$; после операции $78,30 \pm 8,56$ и разница между до и послеоперационными данными была $0,25 \pm 5,75$ и была статистически не значимой (p = 0,6).

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 2 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла $323,35 \pm 23,95$; после операции $323,18 \pm 25,17$ и разница между до и послеоперационными данными была $-0,18 \pm 12,25$ и была статистически не значимой (p = 0,75).

Средняя высота точек задней поверхности роговицы на расстоянии 3 мм по вертикали и по горизонтали от центра роговицы (четыре точки – две по вертикали, две по горизонтали) до операции составляла 755,70 \pm 47,43; после операции 759,08 \pm 51,64 и разница между до и послеоперационными данными была 3,38 \pm 19,65 и была статистически не значимой (p = 0,33).

В 3-ей и 5-ой группах статистически достоверных различий между до и послеоперационными данными высоты задней поверхности роговицы на расстоянии 1, 2 и 3 мм по вертикали и горизонтали от центра роговицы выявлено не было.

Таким образом, по данным оптической когерентной томографии в 3-ей группе с использованием механического микрокератома при выполнении Wavefront-Guided LASIK выявлена неравномерность толщины роговичного лоскута в симметричных точках исследованных меридианов, которая обусловлена направлением движения головки механического микрокератома в отличие от равномерного лоскута в 5-ой группе с использованием лазерного микрокератома при выполнении Wavefront-Guided FemtoLASIK.

После операции Wavefront-Guided LASIK в 3-ей группе с механическим микрокератомом Evolution 3E (Moria) с головками M2 SU 90 и Wavefront-Guided FemtoLASIK в 5-й группе с лазерным микрокератомом VISUMAX (Carl Zeiss, Meditec) по данным полученным на Pentacam задняя поверхность роговицы не изменялась.

В 3-ей и 5-ой группах величина полинома Цернике трефойла Z (3;–3) до операции была 0,06±0,04 µm и 0,1± 0,06 µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменялась и составила 0,07±0,06 µm. в 3-ей группе и 0,07±0,06 µm. в 5-ой группе; величина полинома Цернике трефойла Z (3;3): до операции – 0,08±0,08 µm и 0,06±0,05 µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменилась и составила 0,11±0,07 µm. в 3-ей группе и 0,08±0,06 µm. в 5-й группе.

Величина горизонтальной комы Z(3;1) до операции была $0,22 \pm 0,37$ µm. в 3-ей группе и $0,14\pm0,12$ µm. в 5-й группе, после операции статистически значимо не изменилась и составила $0,38\pm0,7$ µm и $0,13\pm0,09$ µm.

Величина вертикальной комы Z(3;-1) в 3-ей и 5-й группах до операции была $0,08 \pm 0,31$ µm и $0,03 \pm 0,05$ µm, после операции в 5-ой группе статистически значимо стала больше и составила ($0,07 \pm 0,46$) µm в 3-ей группе и ($0,16\pm0,1$) µm в 5-ой группе.

В 3-й и 5-й группах величина полинома Цернике квадрафойла Z(4;-4) до операции была $0,03\pm0,03$ µm. и $0,02\pm0,02$ µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменилась и составила $0,04\pm0,04$ µm. в 3-ей группе и $0,03\pm0,02$ µm в 5-ой группе; величина полинома Цернике квадрафойла Z(4;4): до операции $0,03\pm0,03$ µm и $0,03\pm0,03$ µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменилась и составила $0,04\pm0,04$ µm в 3 группе и $0,05\pm0,02$ µm в 5-ой группе.

В 3-ей и 5-ой группах величина вторичного астигматизма Z(4;-2) до операции была 0,03±0,02 µm и 0,03±0,02 µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменилась и составила 0,04±0,04 µm в 3-ей группе и 0,05±0,04 µm в 5-ой группе; величина вторичного астигматизма Z(4;2): до операции 0,06±0,03 µm и 0,08±0,14 µm, после операции в обеих группах статистически значимо не изменялась и составила 0,09 ± 0,04 µm в 3-й группе и 0,05±0,04 µm во 5-ой группе.

Величина сферической аберрации Z(4;0) в 3-ей группе до операции была 0,03±0,23 µm., после операции стала статистически значимо больше и составила -0,62±0,16 µm, а в 5-ой группе до операции была 0,07±0,23 µm, после операции, в отличие от результатов в 3-й группе, изменилась и составила -0,23 ± 0,35 µm (p<0,05).

В обеих группах вследствие операций Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-Guided FemtoLASIK произошло увеличение величины горизонтальной Z(3;1), обусловленное тем, что обеих группах использовалась комы В абляция эксимерлазерная роговицы использованием С технологии OFFSET/TORSION. При этом наблюдалась статистически значимая зависимость между величиной смещения и степенью индуцирования горизонтальной комы Z (3;1). Данный факт позволяет объяснить, что простое смещение центра абляции от центра зрачка в фотопических условиях к центру зрачка в скотопических условиях не учитывает возможных биомеханических изменений роговицы, которые индуцируют увеличение горизонтальной комы Z(3;1) пропорционально величине используемого смещения.

Wavefront-Guided LASIK В 3-ей группе при выполнении операции увеличение сферической произошло статистически значимое величины аберрации, в отличие от 5-ой группы, участникам которой проводилась операции Wavefront-Guided Femto-LASIK. Величина индуцирования сферической зависит от глубины абляции, которая была незначительной аберрации (относительно небольшой СЭ) и одинаковой в обеих группах. Также величина индуцирования сферической аберрации зависит от способа формирования лоскута. Неравномерный по толщине срез роговичного лоскута, выполняемый механическим микрокератомом, может индуцировать сферическую аберрацию, в равномерного ПО толщине среза, выполняемого отличие OT лазерным микрокератомом.

В обеих группах АВП статистически значимо не изменились, за исключением горизонтальной комы Z (3;1) и сферической аберрации Z (4; 0) в 3-ей группе и горизонтальной комы Z (3;1) в 5-й группе.

Таким образом, по данным аберрометрии у пациентов 3-ей группы, в которой при выполнении операции Wavefront-Guided LASIK использовался механический микрокератом, выявлено статистически значимое увеличение сферической аберрации Z(4;0), связанное с неравномерностью толщины роговичного лоскута, в отличие от результата использования лазерного микрокератома при выполнении операции Wavefront-Guided FemtoLASIK у пациентов 5-ой группы.

В обеих группах при использовании технологии абляции OFFSET/TORSION наблюдалось статистически значимое увеличение горизонтальной комы Z(3;1), пропорциональное степени смещения центра абляции, проводимой по центру зрачка в скотопических условиях, по отношению к центру зрачка в фотопических условиях.

Wavefront-Guided FemtoLASIK индуцирует меньше АВП, поэтому нашла применение для коррекции аномалий рефракции у американских пилотов военно-морской авиации.

Проведение операций Wavefront- Guided LASIK и Wavefront-Guided FemtoLASIK при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма обеспечивает высокую остроту зрения, стабильную рефракцию в послеоперационном периоде. Операция Wavefront-Guided FemtoLASIK вызывает меньшее индуцирование ABII, в частности сферической аберрации, чем операция Wavefront-guided LASIK.

4.6. Результаты коррекции АВП при фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула у пациентов 6-ой группы

Шестую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция FLEx. Для формирования роговичного лоскута и роговичного лентикула в ходе операции FLEx использовался фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec) со стандартным уровнем энергии 150±10nJ. Диаметр лентикула 6 мм.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени.

Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции. Результаты лечения пациентов 6-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 1-ой группы.

Острота зрения без коррекции до операции в 1-ой и 6-ой группах была 0,06±0,01; 0,06±0,02 и после операции составила 0,83±0,03; 0,95±0,09 (p>0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 1-ой и 6-ой группах составил -4,46 ± 0,96D; -3,78 ± 1,47D и после операции стал -0,02±0,35 D; 0,03±0,14 D (p>0,05). Острота зрения с коррекцией до операции в 1-ой и 6-ой группах была 0,92 ± 0,13; 0,99 ± 0,02 и после операции 0,96 ± 0,11; 0,98 ± 0,04 (p>0,05).

Среднеквадратичный корень суммы аберраций высшего порядка (RMS HO) до операции в 1-ой и 6-ой группах был $0.32 \pm 0.08 \mu m$, $0.17 \pm 0.09 \mu m$ и после операции увеличился до $0.51 \pm 0.34 \mu m$, $0.29 \pm 0.07 \mu m$ (p<0.05). Величина сферической аберрации глаз в 1-ой и 6-ой группах до операции была 0.04 ± 0.16

µm; -0,11±0,15 µm, после операции увеличилась во всех группах в отрицательную сторону до -0,73 ±0,17 µm; -0,24 ± 0,28 µm (p<0,05).

158



Рисунок 4.13 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента после стандартной операции LASIK (горизонтальный срез). Видна неравномерность роговичного лоскута в симметричных точках измерения. В центральной части

роговичный лоскут более тонкий, чем в периферической части

В 1-ой группе после операции LASIK (Рисунок 4.13) толщина лоскута в центре составила 135 ± 16 мкм. Толщина роговичного лоскута в нижнем секторе на расстоянии 2 и 3 мм от центра роговицы в косом меридиане ($225^{\circ}-45^{\circ}$), совпадающем с ходом движения головки микрокератома, составила 156 ± 16 мкм и 172 ± 13 мкм, в вертикальном меридиане ($270^{\circ}-90^{\circ}$) - 153 ± 18 мкм и 165 ± 16 мкм.



Рисунок 4.14 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента после операции FLEx (горизонтальный срез). Виден равномерный роговичный лоскут во

всех секторах

Эти величины были статистически значимо больше толщины роговичного лоскута в верхнем секторе в симметричных точках указанных меридианов - 142±15 мкм и 156±18 мкм; 143±13 мкм и 155±16 мкм. В симметричных точках относительно центра в других исследованных меридианах статистически значимой разницы не выявлено.

Асимметричная неравномерность роговичного лоскута по толщине объясняется особенностями механического выкраивания лоскута микрокератомом, длительностью наложения вакуумного кольца на глаз, кривизной и диаметром роговицы оперируемого глаза, её биомеханическими характеристиками. В 6-ой группе (FLEx) в отличие от 1-ой группы (LASIK) наблюдался равномерный во всех секторах лоскут (Рисунок 4.14).



Рисунок 4.15 – Показатели контрастной чувствительности к месяцу после операции в 1-ой группе (Стандартный LASIK– слева) и в 6-ой группе (FLEx - справа). Видны большие значения контрастной чувствительности в 6-ой группе после операции FLEx по сравнению с 1-ой группой после стандартной операции

LASIK



Рисунок 4.16 – Внешний вид роговицы пациента в первые сутки после операции FLEx. Видны край роговичного лоскута (зеленая стрелка) и край удаленного лентикула (красная стрелка)

Внешний вид глаза пациента и зоны операции после операции FLEx представлены на рисунке (Рисунок 4.16).

Внешний вид кератотопограммы после операций LASIK и FLEx представлен на рисунке (Рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Кератотопограммы глаз пациентов после стандартной операции LASIK (слева) и операции FLEx (справа). На кератотопограмме справа (FLEx) видна более четко выраженная и более широкая оптическая зона (зеленый и синий цвета) по сравнению с кератотопограммой слева (LASIK)

Таким образом, фемтосекундный лазер VisuMax позволяет выполнять операции FLEx без использования эксимерного лазера, позволяет формировать роговичные лоскуты с точно заданными параметрами толщины в отличие от Применение операции FLEx обеспечивает механического микрокератома. улучшение остроты зрения дооперационной максимально до уровня корригированной с восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях к месяцу после операции.

4.7. Результаты коррекции АВП при микроинвазивной фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула у пациентов 7-ой группы

Седьмую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция SMILE (Small-Incision Lenticule Extraction). Для формирования роговичного клапана и роговичного лентикула в ходе операции SMILE использовался фемтосекундный лазер VisuMax (Carl Zeiss Meditec) со стандартным уровнем энергии 150±10nJ. Диаметр оптической зоны лентикула 6 мм. У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени.

Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции. Результаты лечения пациентов 7-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 1-ой группы.

High Order Aberrations
RMS: 0.31 μmHigh Order Aberrations
RMS: 0.36 μmImage: High Order Aberrations
RMS: 0.36 μmImage: High Order Aberrations
RMS: 0.36 μm

Рисунок 4.18 – Аберромограмма глаза пациента И. до (слева) и после (справа) операции SMILE. Несущественное изменение RMS НО после операции SMILE

Острота зрения без коррекции до операции в 1-ой и 7-ой группах была $0,06\pm0,01; 0,05\pm0,03$ и после операции составила $0,83\pm0,05; 0,98\pm0,03$ (p>0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 1-ой и 7-ой группах составил - $4,46\pm0,96D; -4,19\pm1,29D$ и после операции стал $-0,02\pm0,16$ D; $0,08\pm0,16$ D (p>0,05). Острота зрения с коррекцией до операции в 1-ой и 7-ой группах была $0,92\pm0,13; 0,92\pm0,13$ и после операции $0,96\pm0,11; 0,9\pm0,12$



Рисунок 4.19 – Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента (горизонтальный срез) после стандартной операции LASIK – верхняя часть. Видна неравномерность роговичного лоскута в различных контрольных точках

измерения. В центральной части роговичный лоскут более тонкий, чем в периферической части. Оптическая когерентная томограмма роговицы пациента

(горизонтальный срез) после операции SMILE – нижняя часть. Виден равномерный роговичный лоскут во всех контрольных точках измерения

Величина сферической аберрации глаз в 1-ой и 7-ой группах до операции была 0.04 ± 0.16 µm; -0.17 ± 0.25 µm, после операции увеличилась до -0.53 ± 0.30

µm; -0,26±0,15 µm. В 7-ой группе в отличие от 1-ой увеличение сферической аберрации было статистически не значимым (p>0,05). Внешний вид аберромограммы до и после операций SMILE представлен на рисунке (Рисунок 4.18).

В 1-ой группе после операции LASIK толщина лоскута в центре составила 135 ± 16 мкм. Толщина роговичного лоскута в нижнем секторе на расстоянии 2 и 3 мм от центра роговицы в косом меридиане ($225^{\circ}-45^{\circ}$), совпадающем с ходом движения головки микрокератома, составила 156 ± 16 мкм и 172 ± 13 мкм, в вертикальном меридиане ($270^{\circ}-90^{\circ}$) - 153 ± 18 мкм и 165 ± 16 мкм.



Рисунок 4.20 – Внешний вид роговицы пациента И. на первые сутки после операции SMILE. Виден край роговичного разреза (зеленая стрелка) и край удаленного лентикула (красная стрелка)

Эти величины были статистически значимо больше толщины роговичного лоскута в верхнем секторе в симметричных точках указанных меридианов - 142±15 мкм и 156±18 мкм; 143±13 мкм и 155±16 мкм. В симметричных точках относительно центра в других исследованных меридианах статистически значимой разницы не выявлено. В 7-ой группе (SMILE) в отличие от 1-ой группы (LASIK) наблюдался равномерный во всех секторах клапан толщиной 120±3 мкм (Рисунок 4.19).

Асимметричная неравномерность роговичного лоскута ПО толщине объясняется особенностями механического выкраивания лоскута микрокератомом, длительностью наложения вакуумного кольца глаз. на кривизной и диаметром роговицы оперируемого глаза, её биомеханическими характеристиками.

К 3 месяцам после операции в 7-ой группе (SMILE) величины контрастной чувствительности были статистически достоверно выше, чем в группе 1 (LASIK) (p<0,05).

Внешний вид глаза пациента и зоны операции после операции SMILE представлены на (Рисунок 4.20).

Таким образом, фемтосекундный лазер VisuMax осуществляет коррекцию миопии и миопического астигматизма используя операцию SMILE, позволяя формировать роговичные клапаны с точно заданными параметрами толщины в отличие от механического микрокератома. Применение операции SMILE с удалением роговичного лентикула без подъема роговичного клапана обеспечивает улучшение остроты зрения до уровня дооперационной максимально корригированной остроты зрения, с незначительным индуцированием аберраций высшего порядка и восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях к 3 месяцам после операции.

Операция SMILE обеспечивает быстрое восстановление зрительных функций с сохранением биомеханической стабильности роговицы, с практическим отсутствием риска травматического смещения роговичного клапана.

4.8. Сравнительная характеристика результатов хирургического лечения пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом

Сравнительная характеристика результатов хирургического лечения пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом различными методами включала оценку следующих признаков: сфероэквивалент, остроту зрения без коррекции, остроту зрения с коррекцией, изменение АВП, RMS HO, контрастную чувствительность, толщину сформированного роговичного лоскута и клапана.

Таблица 4.11 – Сфероэквивалент у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Сферический	Сферический
	эквивалент, D до	эквивалент, D после
	операции	операции
1-я группа	-4,46±0,96	-0,02±0,56*
LASIK (n=144)		
2-я группа	-5,89±1,42	-0,31±0,36*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	-4,67±1,94	0,01±0,33*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	-3,39±1,34	-0,37±0,31*
Wavefront-Guided Epi-		
LASIK (n=80)		
5-я группа	-2,44±1,04	$0,00{\pm}0,00{*}$
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	-3,78±1,47	0,03±0,14*
FLEx (n=80)		
7-я группа	-4,19±1,47	0,08±0,16*
SMILE (n=80)		

Сравнительный анализ средних значений сфероэквивалента показал, что до операции наибольшую часть пациентов составили лица со средней степенью миопии. После операции рефракция получена эмметропической в 1-й, 3-й, 5-й, 6-

й, 7-й группах пациентов (Таблица 4.11). Миопия слабой степени получена во 2-й и 4-й группах пациентов. Средние значения острота зрения без коррекции до и после лечения в исследованных группах увеличились (Таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Острота зрения без коррекции у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Острота зрения без	Острота зрения без
	коррекции до	коррекции после
	операции	операции
1-я группа	0,06±0,01	0,83±0,03*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,05±0,03	0,83±0,16*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,05±0,02	0,86±0,12*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,06±0,02	0,99±0,02*
Wavefront-Guided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,14±0,11	0,99±0,02*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,06±0,02	0,95±0,09*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,05±0,03	0,98±0,03*
SMILE (n=80)		

Полученная острота зрения без коррекции была наименьшей в 1-й и 2-й группах при коррекции миопии методом стандартного LASIK и топографического LASIK. Максимальная острота зрения без коррекции была достигнута в 3-й, 5-й и

7-й группах методами Wavefront- Guided LASIK, Wavefront-Guided FemtoLASIK и микроинвазивной фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула (SMILE) (табл. 4.12).

Таблица 4.13 – Острота зрения с коррекцией у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p>0,05)

Номер группы	Острота зрения с	Острота зрения с
	коррекцией до	коррекцией после
	операции	операции
1-я группа	0,92±0,13	0,96±0,11*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,96±0,09	0,94±0,11*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	$1,00\pm0,14$	1,00±0,09*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,99±0,02	1,0±0,02*
Wavefront-Guided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,99±0,02	$0,99{\pm}0,02*$
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,99±0,02	0,98±0,04*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,99±0,02	0,99±0,02*
SMILE (n=80)		

Сравнительная оценка средних значений остроты зрения с коррекцией до и после лечения в исследованных группах показала неоднородность полученных результатов (Таблица 4.13). Полученная острота зрения с коррекцией была наименьшей во 2-й группе при коррекции миопии и сложного миопического

астигматизма методом топографический LASIK. Максимальная острота зрения с коррекцией была достигнута в 3-й группе при лечении пациентов методом Wavefront-Guided LASIK (табл. 4.13). В 1-й и 4-й группах острота зрения с коррекцией увеличилась. В 5-й, 6-й и 7-й группах пролеченных пациентов острота зрения с коррекцией практически не изменилась.

Таблица 4.14 – Величина RMS HO (µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина RMS HO	Величина RMS HO
	(µm) до операции	(µm) после операции
1-я группа	$0,32{\pm}0,08$	0,51±0,34*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,34±0,15	0,47±0,13*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,33±0,07	0,46±0,25*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,34±0,12	0,46±0,08*
Wavefront-Guided Epi-		
LASIK (n=80)		
5-я группа	0,32±0,12	0,43±0,08*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	$0,17{\pm}0,09$	0,29±0,07*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,30±0,06	0,43±0,09*
SMILE (n=80)		

Проведенное исследование позволило оценить RMS HO (табл. 4.14) до и после хирургического лечения в исследованных группах. Во всех группах пролеченных пациентов RMS HO увеличился (табл. 4.14).

Предоперационный уровень RMS НО в 6-й группе достигал среднего значения 0,17±0,09 µm, в 3-й группе 0,33±0,07 µm, в остальных группах варьировал от 0,30±0,06 до 0,34±0,12 µm (табл. 4.13). В послеоперационном периоде RMS НО увеличился в 4-й и 5-й группах - в 1,3 раза, в 3-й, во 2-й и 7-й группах - в 1,4 раза, в 1-й группе - в 1,5 раза, 6-й группах - в 1,7 раза.

Средние значения RMS НО показали прирост АВП в послеоперационном периоде во всех группах пациентов. Полученные значения статистически значимы.

Средние значения горизонтальной комы Z(3;1) после хирургического лечения в исследованных группах увеличились (табл. 4.15).

До операции средняя величина горизонтальной комы Z(3;1) в 4-й группе составляла 0,14±0,22 µm, что значительно меньше, чем в других группах пациентов. Этот показатель в 1-й, 2-й, 3-й группах варьировал от 0,22±0,37 µm до 0,25±0,36 µm. Величина горизонтальной комы Z(3;1) до операции в 5-й, 6-й, 7-й группах варьировала от 0,29±0,21 µm до 0,33±0,27 µm, что было выше в сравнении с остальными группами. В послеоперационном периоде средняя величина горизонтальной комы Z(3;1) в 7-й группе увеличилась в 1,3 раза, в 1-й, 2-й и 3-й группах - в 1,6-1,7 раза. В 5-й и 6-й группах средняя величина горизонтальной комы Z(3;1) увеличилась в 2 раза, в 4-й группе - в 5,6 раз.

Примененные методы коррекции миопии и сложного миопического астигматизма вызывают неодинаковые оптические изменения передней поверхности роговицы относительно горизонтальной комы Z(3;1), при этом можно отметить зависимость между полученной толщиной роговичного лоскута в ходе оперативного вмешательства и величиной горизонтальной комы Z(3;1).

Таблица 4.15 – Величина горизонтальной комы Z(3;1) (µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Величина	Величина
горизонтальной комы	горизонтальной комы
Z (3;1)(µm) до	Z (3;1)(µm) после
операции	операции
0,23±0,37	0,39±0,62*
0,25±0,36	$0,41\pm0,67*$
0,22±0,37	0,38±0,7*
0,14±0,22	0,79±0,42*
0,31±0,19	0,68±0,21*
0,29±0,21	0,57±0,42*
0,33±0,27	0,42±0,42*
	Величина горизонтальной комы Z (3;1)(µm) до операции 0,23±0,37 0,25±0,36 0,22±0,37 0,14±0,22 0,31±0,19 0,29±0,21 0,33±0,27

Средние значения вертикальной комы Z(3;-1) (Таблица 4.16) после хирургического лечения миопии и сложного миопического астигматизма в исследованных группах увеличились (табл. 4.16).

Таблица 4.16 – Величина вертикальной комы Z(3;-1) (μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина	Величина
	вертикальной комы	вертикальной комы
	Z(3;-1)(μm)	Z(3;-1)(μm)
	до операции	после операции
1-я группа	0,13±0,12	0,29±0,22*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,15±0,16	0,31±0,27*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,08±0,37	0,07±0,46
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,13±0,19	0,32±0,31*
Wavefront-guided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,03±0,05	0,16±0,1*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,17±0,15	0,31±0,29*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,19±0,13	0,32±0,21*
SMILE (n=80)		

Средняя величина вертикальной комы Z(3;-1) в послеоперационном периоде в 6-й и 7-й группах увеличилась в 1,1-1,8 раза, в 1-й, 2-й и 5-й группах - в 2 раза, в 4-й группе - в 2,5 раза.

Полученный результат показывает, что поверхностная абляция даже с коррекцией предоперационных АВП, выполненная у пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма вызывает значительное индуцирование не только горизонтальной комы Z(3;1), но и вертикальной комы Z(3;-1).

Средние значения величины трефойла Z(3;3) (Таблица 4.17) ДО хирургического лечения в исследованных группах варьировали от 0,03±0,05 µm до -0,37±0,16 µm. Во всех группах пролеченных пациентов средние значения трефойла Z(3;3) увеличились (табл. 4.17). Во 2-й, 5-й, 6-й и 7-й группах пациентов средней Z(3;3) прирост величины трефойла был незначительный В послеоперационном периоде. В 4-й и 5-й группах пациентов прирост средней величины трефойла Z(3;3) был наибольший в послеоперационном периоде.

В послеоперационном периоде средняя величина трефойла Z(3;3) увеличилась в 1,1 раза в 6-й и 7-й группах пациентов, в 1,2-1,3 раза - в 1-й, 2-й, 3-й и 5-й группах пациентов, в 1,7 раза - в 4-й группе пациентов.

Полученный результат показывает, что поверхностная абляция даже с коррекцией предоперационных АВП, выполненная у пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма, вызывает индуцирование трефойла Z(3;3).

Таблица 4.17 – Величина трефойлаZ(3;3) (µm) у пациентов с миопией исложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)</td>

Номер группы	Величина трефойла	Величина трефойла
	Z(3;3) (µm) до	Z(3;3) (µm) после
	операции	операции
1-я группа	0,09±0,13	0,12±0,11*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,11±0,07	0,13±0,09*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	-0,37±0,16	-0,38±0,24*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,07±0,06	0,12±0,06*
Wavefront-uided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	$0,03{\pm}0,05$	0,16±0,1*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	$0,08{\pm}0,06$	$0,09{\pm}0,08*$
FLEx (n=80)		
7-я группа	$0,07{\pm}0,05$	$0,08{\pm}0,07*$
SMILE (n=80)		

Средние значения величины трефойла Z(3;-3) (Таблица 4.18) до хирургического лечения в исследованных группах пациентов варьировали от 0,01±0,12 до 0,1±0,06 µm. В 5-й группе у пациентов пролеченных методом Wavefront-Guided FemtoLASIK средние значения трефойла Z(3;-3) уменьшились. В остальных группах пролеченных пациентов средние значения трефойла Z(3;-3) увеличились (Таблица 4.18).

Номер группы	Величина трефойла	Величина трефойла
	Z(3;-3) (µm)до	Z(3;-3) (µm)после
	операции	операции
1-я группа	0,01±0,12	0,01±0,14*
LASIK (n=144)		
2-я группа	$0,08{\pm}0,04$	0,11±0,06*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	$0,06{\pm}0,04$	0,07±0,06*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	$0,05{\pm}0,04$	0,09±0,08*
Wavefront-uided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,1±0,06	$0,07{\pm}0,06$
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	$0,06{\pm}0,04$	0,09±0,08*
FLEx (n=80)		
7-я группа	$0,07{\pm}0,05$	$0,08{\pm}0,06*$
SMILE (n=80)		

Таблица 4.18 – Величина трефойла Z(3;-3) (µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Послеоперационные средние значения величины трефойла Z(3;-3) увеличились, за исключением 3-й и 5-й группы пациентов. Абсолютные величины прироста трефойла Z(3;-3) в послеоперационном периоде были незначительны. Во 2-й, 3-й и 7-й группах средняя величина трефойла Z(3;-3) в послеоперационном периоде увеличилась в 1,1-1,3 раза, в 4-й и 6-й группах – в 1,5-1,8 раза.

Таблица 4.19 – Величина сферической аберрации Z(4;0)(µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина	Величина сферической
	сферической	аберрации Z(4;0)(µm)
	аберрации Z(4;0)(µm)	после операции
	до операции	
1-я группа	0,04±0,16	-0,73±0,17*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,05±0,19	-0,52±0,31*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,03±0,23	-0,62±0,16*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,04±0,28	-0,21±0,36*
Wavefront-Guided Epi-		
LASIK (n=80)		
5-я группа	0,07±0,23	-0,23±0,35*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	-0,11±0,15	-0,24±0,28*
FLEx (n=80)		
7-я группа	-0,17±0,25	-0,26±0,15*
SMILE (n=80)		
Провеленное исследо	Вание позволило оце	нить средние значения

Проведенное исследование позволило оценить средние значения сферической аберрации Z(4;0) (Таблица 4.19) до и после хирургического лечения в исследованных группах.

В 3-й, 6-й и 7-й группах пациентов средняя величина сферической аберрации Z(4;0) до операции варьировала от $0,03\pm0,23$ до - $0,17\pm0,25$ µm, в 1-й, 2-й, 4-й и 5-й группах - от $0,04\pm0,16$ до $0,08\pm0,23$ µm. Во всех группах пролеченных пациентов средние значения сферической аберрации Z(4;0) увеличились в отрицательную сторону (Таблица 4.19).

В послеоперационном периоде прирост величины сферической аберрации Z(4;0) был наименьший в 5-й, 6-й, 7-й группах пациентов, а наибольший – в 1-й, 2-й и 3-й группах.

Средние значения вторичного астигматизма Z(4;2) до и после хирургического лечения в исследованных группах представлены в таблице (Таблица 4.20).

В 1-й, 2-й и 3-й группах пролеченных пациентов средние значения вторичного астигматизма Z(4;2) после операции увеличились (Таблица 4.20). В 4-й, 5-й, 6-й и 7-й группах пролеченных пациентов средние значения вторичного астигматизма Z(4;2) после операции уменьшились.

Послеоперационная величина вторичного астигматизма Z(4;2) во 2-й группе пациентов увеличилась в 1,2 раза, в 1-й и 3-й группах пациентов - в 1,5 раза. В данных группах были применены способы коррекции миопии и сложного миопического астигматизма при применении стандартного LASIK, топографического LASIK и Wavefront-Guided LASIK.

Послеоперационная величина вторичного астигматизма Z(4;2) в 4-й, 5-й и 6-й группах пациентов уменьшилась в 0,6 раза, в 7-й группе пациентов – в 0,9 раза.

В описанных группах были применены способы коррекции миопии и сложного миопического астигматизма при применении Wavefront-Guided Epi-LASIK, Wavefront-Guided FemtoLASIK, фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула (FLEx) и микроинвазивной фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула (SMILE). **Таблица 4.20** – Величина вторичного астигматизма Z(4;2)(μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина вторичного	Величина вторичного
	астигматизма	астигматизма
	Z(4;2)(µm) до	Z(4;2)(µm) после
	операции	операции
1-я группа	0,02±0,09	0,03±0,11*
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,07±0,03	0,09±0,04*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,06±0,03	0,09±0,04*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,06±0,05	$0,04{\pm}0,06$
Wavefront-guided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,08±0,03	$0,05{\pm}0,04$
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,09±0,05	$0,06{\pm}0,05$
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,08±0,05	$0,07{\pm}0,06$
SMILE (n=80)		

Средние значения вторичного астигматизма Z(4;-2) до и после хирургического лечения в исследованных группах представлены в (Таблица 4.21). В группах пролеченных пациентов средние значения вторичного астигматизма Z(4;-2) увеличились (Таблица 4.21), за исключением пациентов 1-й группы, в которой данный показатель уменьшился в 0,5 раза после применения метода стандартного LASIK. Послеоперационная величина вторичного астигматизма Z(4;-2) во 2-й, 3-й, 4-й группах увеличилась в 1,3 раза, в 5-й и 6-й группах увеличилась в 1,6 раза, в 7-й – в 2,3 раза.

Таблица 4.21 – Величина вторичного астигматизма Z(4;-2)(μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина вторичного	Величина вторичного
	астигматизма	астигматизма
	Z(4;-2)(µm) до	Z(4;-2)(µm) после
	операции	операции
1-я группа	$0,02{\pm}0,08$	0,01±0,12
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,07±0,05	0,09±0,06*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,03±0,02	0,04±0,04*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,06±0,03	0,08±0,05*
Wavefront-Guided Epi-LASIK		
(n=80)		
5-я группа	0,03±0,02	0,05±0,04*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,05±0,03	0,08±0,06*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,04±0,02	0,09±0,05*
SMILE (n=80)		

В исследованных группах пациентов сравнены средние значения квадрафойла Z(4;4) (Таблица 4.22) до и после хирургического лечения.

Таблица 4.22 – Величина квадрафойла Z(4;4)(µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина	Величина квадрафойла
	квадрафойла	Z(4;4)(µm) после
	Z(4;4)(µm) до	операции
	операции	
1-я группа	0,03±0,11	0,02±0,14
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,04±0,02	0,06±0,03*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,03±0,03	0,04±0,04*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	$0,08{\pm}0,06$	0,07±0,06
Wavefront-guided Epi-		
LASIK (n=80)		
5-я группа	0,03±0,03	0,05±0,02*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	$0,06{\pm}0,05$	0,09±0,06*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,03±0,02	0,06±0,03*
SMILE (n=80)		

Наибольший прирост показателя квадрафойла Z(4;4) (в 2 раза) был определен в 7-й группе при лечении пациентов методом микроинвазивной

фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула (SMILE) (Таблица 4.22).

В исследованных группах пациентов сравнены средние значения квадрафойла Z(4;-4) (Таблица 4.23) до и после хирургического лечения.

Таблица 4.23 – Величина квадрафойла Z(4;-4)(µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина квадрафойла	Величина квадрафойла
	Z(4;-4)(µm) до	Z(4;-4)(µm) после
	операции	операции
1-я группа	0,03±0,08	0,02±0,11
LASIK (n=144)		
2-я группа	0,05±0,02	0,07±0,02*
Топографический LASIK		
(n=80)		
3-я группа	0,03±0,03	0,04±0,04*
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
4-я группа	0,07±0,02	0,05±0,04
Wavefront-guided Epi-		
LASIK (n=80)		
5-я группа	0,02±0,02	0,03±0,02*
Wavefront-Guided		
FemtoLASIK (n=80)		
6-я группа	0,06±0,03	0,07±0,05*
FLEx (n=80)		
7-я группа	0,03±0,02	0,06±0,04*
SMILE (n=80)		
В 1-й и 4-й группах пролеченных пациентов методом стандартного LASIK и Wavefront-Guided Epi-LASIK средние значения квадрафойла Z(4;-4) в послеоперационном периоде уменьшились в 0,7 раза.

Таблица 4.24 – Контрастная чувствительность (3 цикл/градус) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Контрастная	Контрастная			
	чувствительность до	чувствительность			
	операции 3	после операции 3			
	цикл/градус (M ± σ)	цикл/градус (M ± σ)			
1-я группа					
LASIK (n=144)	4,78±0,25	4,13±0,41*			
2-я группа					
Топографический LASIK	4,76±0,23	4,23±0,24*			
(n=80)					
3-я группа					
Wavefront-Guided LASIK	4,92±0,24	4,12±0,33*			
(n=80)					
4-я группа					
Wavefront-guided Epi-	4,75±0,23	4,51±0,27*			
LASIK (n=80)					
5-я группа					
Wavefront-Guided	4,79±0,32	4,78±0,35			
FemtoLASIK (n=80)					
6-я группа					
FLEx (n=80)	4,79±0,21	4,77±0,22			
7-я группа					
SMILE (n=80)	4,77±0,27	4,78±0,21			

В остальных группах пролеченных пациентов средние значения квадрафойла Z(4;-4) в послеоперационном периоде увеличились (Таблица 4.23). Наибольший прирост показателя квадрафойла Z(4;-4) (в 2 раза) был определен в 7-й группе при лечении пациентов методом микроинвазивной фемтосекундной лазерной экстракции роговичного лентикула (SMILE) (Таблица 4.23).

В проведенном исследовании сравнены средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) (Таблица 4.24) до и после хирургического лечения в исследованных группах.

В 1-й, 2-й, 3-й и 4-й группах у пациентов, пролеченных методом LASIK, Топографический LASIK, Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-Guided FemtoLASIK, средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) уменьшились (Таблица 4.24). В остальных группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) не изменились.

В 1-й, 2-й, 3-й и 4-й группах у пациентов средние значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) уменьшились. В 6-й и 7-й группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) не изменились (Таблица 4.25). В 5-й группе у пациентов, пролеченных методом Wavefront-Guided FemtoLASIK среднее значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) увеличилось (Таблица 4.25).

Таблица 4.25 – Контрастная

чувствительность (6 цикл/градус) у

пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Контрастная	Контрастная				
	чувствительность до	чувствительность				
	операции 6	после операции 6				
	цикл/градус (M ± σ)	цикл/градус (M ± σ)				
1-я группа						
LASIK (n=144)	4,83±0,12	4,74±0,12*				
2-я группа						
Топографический LASIK	4,87±0,14	4,73±0,17*				
(n=80)						
3-я группа						
Wavefront-Guided LASIK	4,98±0,41	4,78±0,51*				
(n=80)						
4-я группа						
Wavefront-guided Epi-	4,80±0,17	4,34±0,12*				
LASIK (n=80)						
5-я группа						
Wavefront-Guided	4,79±0,15	4,98±0,17				
FemtoLASIK (n=80)						
6-я группа	4,89±0,17	4,88±0,15				
FLEx (n=80)						
7-я группа	4,88±0,18	4,87±0,14				
SMILE (n=80)						

Проведенное исследование позволило оценить средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) (Таблица 4.26) до и после хирургического лечения в исследованных группах.

Таблица 4.26 – Контрастная чувствительность (12 цикл/градус) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

	Контрастная чувст-	Контрастная			
Номер группы	вительность до опера-	чувствительность			
	ции 12 цикл/градус	после операции 12			
	$(M \pm \sigma)$	цикл/градус (M ± σ)			
1-я группа					
LASIK (n=144)	4,15±0,23	3,98±0,22*			
2-я группа					
Топографический LASIK	4,19±0,27	4,08±0,25*			
(n=80)					
3-я группа					
Wavefront-Guided LASIK	4,35±0,20	4,16±0,44			
(n=80)					
4-я группа					
Wavefront-guided Epi-LASIK	4,22±0,27	4,11±0,35			
(n=80)					
5-я группа					
Wavefront-Guided	4,21±0,27	4,21±0,21			
FemtoLASIK (n=80)					
6-я группа					
FLEx (n=80)	4,17±0,21	4,18±0,24			
7-я группа					
SMILE (n=80)	4,22±0,23	4,22±0,25			

В 1-й, и 2-й группах у пациентов средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) уменьшились. В 3-й, 4-й, 5-й 6-й и 7-й группах

пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) не изменились (Таблица 4.26).

Таблица 4.27 – Контрастная чувствительность (18 цикл/градус) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 группах *(p<0,05)

Номер группы	Контрастная	Контрастная		
	чувствительность до	чувствительность		
	операции 18	после операции 18		
	цикл/градус (M ± σ)	цикл/градус (M ± σ)		
1-я группа				
LASIK (n=144)	4,54±0,45	4,39±0,35*		
2-я группа				
Топографический LASIK	4,51±0,26	4,23±0,17*		
(n=80)				
3-я группа				
Wavefront-Guided LASIK	4,64±0,62	4,47±0,14*		
(n=80)				
4-я группа				
Wavefront-guided Epi-	4,68±0,23	4,17±0,36		
LASIK (n=80)				
5-я группа				
Wavefront-Guided	4,79±0,32	4,78±0,35		
FemtoLASIK (n=80)				
6-я группа				
FLEx (n=80)	4,62±0,37	4,61±0,34		
7-я группа				
SMILE (n=80)	4,63±0,43 4,63±0,25			
Проведенное исследо	рвание позволило оцен	нить средние значения		
контрастной чувствительнос	сти (18 цикл/градус) (Та	аблица 4.27) до и после		

хирургического лечения в исследованных группах. В 1-й, 2-й и 3-й, группах у пациентов средние значения контрастной чувствительности (18 цикл/градус) уменьшились. В 4-й, 5-й 6-й и 7-й группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (18 цикл/градус) не изменились (Таблица 4.27).

Таблица 4.28 – Толщина роговичного лоскута у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3-й группе (n=80) и 5-й группе (n=80), в мкм *(p<0,05)

Расстояние		Угловое направление скана в градусах										
от центра,	180 [°]	- 0 ⁰	225 ⁰ -	- 45°	270 [°] -	- 90 ⁰	315 [°] - 135 [°]					
MM	3-я гр.	5-я гр.	3-я гр.	5-я гр.	3-я гр.	5-я гр.	3-я гр.	5-я гр.				
- 3	164,87*	101,71	171,70*	100,25	165,03*	100,79	168,17*	100,96				
- 2	151,33*	100,96	155,97*	100,63	153,37*	100,71	151,13*	100,38				
- 1	142,47*	101,13	141,67*	100,33	142,33*	100,42	142,33*	100,38				
0		134	,73		100,71							
1	138,73*	101,04	136,83*	100,25	135,40*	99,83	134,30*	100,67				
2	147,67*	101,29	142,00*	100,71	142,83*	100,75	150,17*	100,71				
3	161,30*	100,92	156,57*	100,00	155,17*	100,79	164,47*	100,92				

Для лечения миопии и сложного миопического астигматизма в 3-й и 5-й группах пациентов применены методы Wavefront-Guided LASIK и Wavefront-Guided FemtoLASIK. В таблице 4.28 представлена толщина роговичного лоскута у пациентов данных групп, в которых лоскут был сформирован механическим микрокератомом Moria Evolution 3E (3-я группа) и фемтосекундным лазером VisuMax (5-я группа).

Сравнение толщины роговичного лоскута при сканировании оптическим когерентным томографом показало, что роговичный лоскут, сформированный фемтосекундным лазером (5-я группа) равномерный во всех точках измерения (Таблица 4.28).

У пациентов 3-й группы при сканировании оптическим когерентным томографом сформированный роговичный лоскут механическим микрокератомом неравномерен: в центре тоньше, чем на периферии. При этом толщина роговичного лоскута неодинакова в симметричных точках.

Применение фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута позволил выкроить равномерный, симметричный по толщине роговичный лоскут, который сводил к минимуму индуцирование АВП и их вклад в персонализированной эксимерлазерной хирургии при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

На основании проведенного исследования можно сделать следующее заключение – многообразие алгоритмов и способов коррекции миопии и сложного миопического астигматизма требует персонализированного подхода.

В результате проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

1. Выполнение операции LASIK, несмотря на значительное повышение остроты зрения, приводит к увеличению АВП в оптической системе глаза в основном за счет сферической аберрации. На увеличение сферической аберрации после стандартного LASIK влияют не столько исходные данные аберраций пациента, сколько сама методика проведения операции.

2. Операция топографический LASIK с алгоритмом персонализированной топографической абляции по поводу миопии и миопического астигматизма несмотря на изменение величины сферической аберрации и RMS HO, является эффективным методом в коррекции миопии и миопического астигматизма со стабильным, предсказуемым рефракционным эффектом при меньшем объеме абляции.

3. Операция Wavefront-Guided LASIK с учетом коррекции аберраций волнового фронта при миопии и сложном миопическом астигматизме вызывает меньшее индуцирование ABП, чем LASIK.

187

Наряду со статистически значимыми изменениями величины сферической аберрации и RMS HO при операции Wavefront-Guided LASIK не отмечалось статистически значимого изменения вертикальной и горизонтальной комы.

4. Wavefront- Guided Epi-LASIK не только не устраняют предоперационные АВП, но и индуцируют сферическую аберрацию Z(4;0), и индуцирует горизонтальную кому Z(3;1).

Wavefront-Guided FemtoLASIK 5. Операция с равномерным И прогнозируемым толщине роговичном лоскуте вызывает ПО меньшее индуцирование АВП, в частности сферической аберрации, чем операция Wavefront-Guided LASIK.

6. Фемтосекундный лазер VisuMax может выполнять операции FLEx без использования эксимерного лазера, позволяет формировать роговичные лоскуты с точно заданными параметрами толщины в отличие от механического микрокератома.

Применение операции FLEx с экстракцией роговичного лентикула и меньшим индуцированием сферической аберрации обеспечивает улучшение остроты зрения до уровня дооперационной максимально корригированной с восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях.

7. Фемтосекундный лазер VisuMax осуществляет коррекцию миопии и миопического астигматизма используя операцию SMILE, позволяя формировать роговичные клапаны с точно заданными параметрами толщины. Применение операции SMILE с удалением роговичного лентикула без подъема роговичного клапана обеспечивает улучшение остроты зрения до уровня дооперационной корригированной зрения, максимально остроты с незначительным аберраций индуцированием высшего порядка И восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях.

Операция SMILE обеспечивает быстрое восстановление зрительных функций с сохранением биомеханической стабильности роговицы, с практическим отсутствием риска травматического смещения роговичного клапана.

ГЛАВА 5. СЕЛЕКТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ АБЕРРАЦИЙ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

5.1. Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective аберраций 3 порядка (трефойл) у пациентов 8 группы

Восьмую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с коррекцией аберраций 3 порядка (трефойл) в режиме персонализированной абляции по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) при помощи системы CRS-Master, интегрированной с аберрометром WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени.

Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции. Результаты лечения пациентов 8-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-й группы.

Острота зрения без коррекции до операции в 3-ей и 8-ой группах была 0,05 \pm 0,08; 0,05 \pm 0,03 соответственно и после операции составила 0,86 \pm 0,04; 0,96 \pm 0,09 соответственно (p>0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 3-ей и 8-ой группах составил -4,67 \pm 1,94D; -4,3 \pm 0,95D соответственно и после операции стал 0,01 \pm 0,33 D; 0 \pm 0,12 D соответственно (p>0,05). Острота зрения с коррекцией до операции в 3-ей и 8-ой группах была 1,0 \pm 0,14; 0,99 \pm 0,03 соответственно и после операции 1,0 \pm 0,09; 0,99 \pm 0,03 соответственно (p>0,05). Среднеквадратичный корень суммы аберраций высшего порядка (RMS HO) до операции в 3-ей и 8-ой группах был 0,33 \pm 0,07 µm, 0,23 \pm 0,07 µm соответственно и после операции до 0,46 \pm 0,25 µm, 0,41 \pm 0,07 µm соответственно (p>0,05). Величина сферической аберрации глаз в 3-ей и 8-ой группах до операции была 0,03 \pm 0,23 µm; -0,07 \pm 0,15 µm, после операции увеличилсь в

этих группах в отрицательную сторону до $-0,62 \pm 0,16$ µm; $-0,51 \pm 0,28$ µm соответственно (p>0,05). Величина трефойла Z (3;3) в 3-ей группе до операции была $-0,37 \pm 0,16$ µm и после операции статистически значимо не изменилась (Рисунок 5.1) и составила $-0,38 \pm 0,24$ µm (p>0,05).

Zernike Term	Value			
analysis diameter	6.00 mm			
Z(2,-2)	0.116 µm			
Z(2,0)	-7.634 µm			
Z(2,2)	-1.589 µm			
Z(3,-3)	-0.017 µm			
Z(3,-1)	-0.159 µr			
Z(3,1)	-0.259 um			
Z(3,3)	-0.513 μm			
Z(4,-4)	0.049 µm			
Z(4,-2)	0.217 µm			
Z(4,0)	-0.088 µm			
Z(4,2)	-0.290 µm			
Z(4,4)	-0.141 µm			

High Order Aberrations

Zernike Polyr	omials
Zernike Term	Value
analysis diameter	6.00 mm
Z(2,-2)	0.271 µm
Z(2,0)	-1.142 µm
Z(2,2)	-1.705 µm
Z(3,-3)	0.034 µm
Z(3,-1)	0.171 µm
Z(3.1)	1.167 um
Z(3,3)	-0.685 µm
Z(4,-4)	-0.062 µm
Z(4,-2)	-0.042 µm
Z(4,0)	-0.555 µm
Z(4,2)	-0.224 µm
Z(4,4)	-0.182 µm

High Order Aberrations



Рисунок 5.1 – Показатели аберраций глаза пациента К. до (слева) и через 3 месяца после (справа) операции Wavefront-Guided LASIK. Отмечено отсутствие изменение значения трефойла в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara

Z (3;3) -0,513 µm до операции и -0,685 µm через 3 месяца соответственно (помечено красным прямоугольником). На цветовых аберромограммах видна фигура трилистника (трефойл) до и через 3 месяца после операции Wavefrontguided LASIK Величина трефойла Z (3;3) в 8-ой группе до операции была -0,37 \pm 0,16 и после операции статистически значимо уменьшилась (Рисунок 5.2) и составила - 0,15 \pm 0,24 µm (p<0,05).

Zernike Polynomials						
Zernike Term	Value					
analysis diameter	6.00 mm					
Z(2,-2)	-0.594 µm					
Z(2,0)	-6.037 µm					
Z(2,2)	0.043 µm					
Z(3,-3)	0.261 µm					
Z(3,-1)	-0.075 µn					
Z(3,1)	0.265 µm					
Z(3,3)	-0.605 µm					
Z(4,-4)	0.133 µm					
Z(4,-2)	-0.034 µm					
Z(4,0)	0.025 µm					
Z(4,2)	-0.166 µm					
Z(4,4)	-0.091 µm					

Zernike Polynomials								
Zernike Term	Value							
analysis diameter	6.00 mm							
Z(2,-2)	-0.742 µm							
Z(2,0)	-0.061 µm							
Z(2,2)	-0.777 µm							
Z(3,-3)	0.505 µm							
Z(3,-1)	-0.045 µm							
Z(3,1)	0.849 µm							
Z(3,3)	0.008 µm							
Z(4,-4)	0.252 µm							
Z(4,-2)	-0.019 µm							
Z(4,0)	-0.164 µm							
Z(4,2)	-0.008 µm							
Z(4,4)	-0.023 µm							



RMS: 0.36 µm



High Order Aberrations

RMS: 0.27 µm



Рисунок 5.2 – Показатели аберраций глаза пациента В. до (слева) и через 3 месяца после (справа) операции Wavefront-Guided Selective LASIK с селективной коррекцией трефойла Z (3;3). Отмечено явное изменение значения трефойла в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara Z (3;3) -0,605 µm до операции и 0,008 µm через 3 месяца соответственно (помечено красным прямоугольником). На цветовых аберромограммах видна фигура трилистника (трефойл) (А) до и ее видимое отсутствие (Б) через 3 месяца после операции Wavefront-Guided Selective

Б

LASIK с селективной коррекцией трефойла Z (3;3)

Показатели контрастной чувствительности после операции Wavefront-guided LASIK в 3-ей группе на средних частотах были статистически достоверно меньше (p<0,05), чем в группе Wavefront-guided LASIK Selective с селективной коррекцией трефойла Z(3;3) в 8-ой группе (Рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Показатели контрастной чувствительности в 3-ей группе (Wavefront-Guided LASIK – слева) и в 8-ой группе (Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией трефойла Z (3;3) - справа). Красным цветом отмечены одинаковые показатели контрастной чувствительности до операции. Синим цветом отмечены показатели контрастной чувствительности через 3 месяца после операции. Показатели контрастной чувствительности после операции Wavefront-Guided LASIK на средних частотах меньше, чем в группе Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией трефойла Z(3;3)

Полученные результаты могут быть объяснены тем, что комбинация одновременно нескольких профилей абляции Wavefront-Guided LASIK для одновременной коррекции нескольких аберраций высших порядков приводит к неравномерному распределению энергии луча лазера на роговице в отличие от

экспериментальных данных, полученных на плоских пластинах из полиметилметакрилата. Экспериментальные данные, полученные на контактных линзах из полиметилметакрилата, имитирующих роговицу глаза показывают, что одновременное множество профилей абляции приводит к измененному суммарному результату и соответственно незапланированному эффекту, что соответствует полученным клиническим данным в группе Wavefront-Guided LASIK.

Использование одного профиля абляции для селективной коррекции одной аберрации высшего порядка позволяет целенаправленно произвести ее коррекцию и соответственно получить более высокий функциональный результат.

Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией трефойла Z(3;3) уменьшает величину трефойла, что позволяет получить более высокие значения контрастной чувствительности в послеоперационном периоде по сравнению с Wavefront-Guided LASIK.

5.2. Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective аберраций 3 порядка (кома) у пациентов 9-ой группы

Девятую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с коррекцией аберраций 3 порядка (кома) в режиме персонализированной абляции по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) при помощи системы CRS-Master, интегрированной с аберрометром WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1, 3, 6 и 12 месяцев после операции.

Пациенты были разделены на 2 подгруппы: с селективной коррекцией горизонтальной комы (подгруппа А) и с селективной коррекцией вертикальной комы (подгруппа Б).

Результаты лечения пациентов 9 – ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-й группы. Третью группу составили 20 пациентов (40 глаз), которым была проведена Wavefront-Guided LASIK. Девятую А подгруппу составили 20 пациентов (40 глаз), которым была проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией горизонтальной комы Z(3;1).

Девятую Б подгруппу составили 20 пациентов (40 глаз), которым была проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией вертикальной комы Z(3;-1).

Острота зрения без коррекции до операции в 3-ей группе, 9-ой А и 9-ой Б подгруппах была 0.05 ± 0.02 ; 0.09 ± 0.07 и 0.08 ± 0.06 соответственно и после операции 0.86 ± 0.04 ; 0.95 ± 0.12 и 0.93 ± 0.21 соответственно (p<0.05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 3-ей группе, 9-ой А и 9-ой Б подгруппах составил -4,67 \pm 1,94D; -3,55 \pm 1,39D и -4,14 \pm 1,37D соответственно и после операции 0.01 ± 0.33 D; 0.15 ± 0.27 D и 0.11 ± 0.25 соответственно (p<0.05). Острота зрения с коррекцией до операции в 3-ей группе, 9-ой А и 9-ой Б подгруппах была 1,0 \pm 0,14; 0,99 \pm 0,02 и 0,99 \pm 0,01 соответственно и после операции 1,00 ± 0,09; 1,0 ± 0,07 и 0,97 ± 0,12 соответственно (р>0,05). Среднеквадратичный корень суммы аберраций высшего порядка (RMS HO) до операции в 3-ей группе, 9-ой A и 9-ой Б подгруппах был 0.33 ± 0.07 µm, 0.31 ± 0.1 μ т и 0,22 ± 0,06 μ т соответственно и после операции увеличился до 0,46 ± 0,25 μ m, 0,39 ± 0,08 μ m и 0,46 ± 0,17 соответственно (p<0,05). Величина сферической аберрации глаз в 3-ей группе, 9-ой А и 9-ой Б подгруппах до операции была 0,03 ± 0.23 µm; -0.08 ± 0.22 µm и -0.07 ± 0.18 µm, после операции увеличилась во всех группах в отрицательную сторону до -0.62 ± 0.16 µm; -0.33 ± 0.23 µm и $-0.44 \pm$ 0,26 µm соответственно(p<0,05). Величина вертикальной комы глаз в 3-ей группе, 9-ой А и 9-ой Б группах до операции была 0.08 ± 0.31 µm; 0.02 ± 0.17 и 0.07 ± 0.38 соответственно и после операции практически не изменилась составила 0,07 ± 0,46 µm; 0,08 \pm 0,28 µm и 0,07 \pm 0,32 µm соответственно (p>0,05). Величина горизонтальной комы глаз до операции была $0,22 \pm 0,37$ µm; $-0,12 \pm 0,65$ и $0,06 \pm$ 0,18 соответственно и после операции практически не изменилась и составила 0,38 ± 0,7 μm; 0,06 ± 0,58 и 0,12 ± 0,44 (p>0,05). Показатели контрастной чувствительности после операции статистически значимо не изменились. Наблюдалась статистически значимая высокая корреляция между получаемыми изменениями комы и величиной используемой в селективной коррекции комы в 9-ой А и 9-ой Б подгруппах. В 3-ей группе данной корреляции не наблюдалось.

Селективная коррекция комы с использованием Wavefront-Guided LASIK Selective с коррекцией аберраций 3 порядка не позволяет полностью устранить кому, но позволяет влиять на величину изменений комы во время операции.

5.3 Результаты коррекции Wavefront-Guided LASIK Selective аберраций 4 порядка (квадрафойл и вторичный астигматизм) у пациентов 10-ой группы

Десятую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с коррекцией аберраций 4 порядка (квадрафойл и вторичный астигматизм) в режиме персонализированной абляции по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия) при помощи системы CRS-Master, интегрированной с аберрометром WASCA.

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени.

Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1,3,6 и 12 месяцев после операции.

Пациенты были разделены на 2 подгруппы: с селективной коррекцией квадрафойла (подгруппа А) и с селективной коррекцией вторичного астигматизма (подгруппа Б). Результаты лечения пациентов 10-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-й группы.

3-ую группу составили 20 пациентов (40 глаз) которым была проведена Wavefront-Guided LASIK с полной коррекцией всех АВП.

10 А подгруппа - 20 пациентов (40 глаз), которым была проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4).

10 Б подгруппа - 20 пациентов (40 глаз), которым была проведена операция Wavefront-Guided LASIK Selective с селективной коррекцией вторичного астигматизма Z(4;2), Z(4;-2)

Острота зрения без коррекции до операции в 3-ей группе, 10-ой A и 10-ей Б подгруппах была 0,05 \pm 0,02; 0,07 \pm 0,04 и 0,06 \pm 0,02 соответственно и после операции 0,86 \pm 0,04; 0,91 \pm 0,23 и 0,94 \pm 0,11 соответственно (p>0,05). Сферический эквивалент (СЭ) до операции в 3-ей группе, 10-ой A и 10-ей Б подгруппах составил -4,67 \pm 1,94 D; -3,08 \pm 0,77 D; -3,76 \pm 1,1 D соответственно и после операции 0,01 \pm 0,33 D; 0,16 \pm 0,44 D; 0,14 \pm 0,41 D соответственно (p>0,05). Острота зрения с коррекцией до операции в 3-ей группе, 10-ой A и 10-ей Б подгруппах была 1,0 \pm 0,14 ; 0,96 \pm 0,11 ; 0,98 \pm 0,07 соответственно и после операции 1,0 \pm 0,09 ; 0,97 \pm 0,06 ; 0,99 \pm 0,03 соответственно (p>0,05).

Во всех группах до операции статистически достоверной разницы в значениях квадрафойла и вторичного астигматизма выявлено не было.

Отклонения от запланированных значений квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4) и вторичного астигматизма Z (4;2) и Z (4;-2) после Wavefront-Guided LASIK носили случайный характер и в среднем составили $\pm 0,2$ µm.

Было принято решение разделить группу Wavefront-Guided LASIK на подгруппы с абсолютными значениями менее 0,2 µm укладывающимися в случайные изменения и более 0,2 µm.

В 3-ей группе Wavefront-Guided LASIK, где величины квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4) и вторичного астигматизма Z (4;2) и Z (4;-2) до операции были менее 0,2 μ m и составили 0,08 ± 0,05 μ m и 0,08 ± 0,05 μ m соответственно, и после операции составили 0,06 ± 0,18 μ m и 0,04 ± 0,26 μ m соответственно, статистически значимых изменений между до и послеоперационными величинами не наблюдалось.

В 3-й группе Wavefront-Guided LASIK где величины квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4) и вторичного астигматизма Z (4;2) и Z (4;-2) до операции были более 0,2 µm и составили $0,31 \pm 0,12$ µm и $0,27 \pm 0,06$ µm соответственно и после операции составили $0,01 \pm 0,2$ µm и $-0,02 \pm 0,2$ µm соответственно наблюдалось статистически значимое уменьшение (p<0.05).

В 10 А подгруппе с селективной Wavefront-Guided LASIK коррекцией квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4) и в 10 Б подгруппе с коррекцией вторичного астигматизма Z (4;2) и Z (4;-2) были выбраны абсолютные величины квадрафойла Z (4;4) и Z (4;-4) и вторичного астигматизма Z (4;2) и Z (4;-2) до операции более 0,2 μ m: 0,22 \pm 0,02 μ m, 0,30 \pm 0,07 μ m соответственно и после операции статистически значимо уменьшились и составили 0,07 \pm 0,13 μ m, 0,01 \pm 0,02 μ m (p<0.05).

Во всех подгруппах наблюдалось одинаковое улучшение показателей контрастной чувствительности.

Существует ряд пациентов, у которых величина таких аберраций четвертого порядка, как квадрафойл или вторичный астигматизм может быть достаточно значимой для коррекции и улучшения данных контрастной чувствительности, то есть 0,2 и более, но при этом RMS HO может быть меньше 0,3 и показаний к проведению Wavefront-Guided LASIK у таких пациентов нет. Однако именно у таких пациентов существует возможность проведения селективной коррекции таких аберраций высшего порядка, как квадрафойл или вторичный астигматизм с последующим улучшением данных контрастной чувствительности. Учитывая, что процент рефракционных пациентов с RMS аберраций высших порядков более 0,3 составляет всего 5 – 10 %, при помощи селективной коррекции аберраций четвертого порядка существует возможность существенно расширить показания к проведению коррекции ABП.

5.4 Результаты коррекции аберраций 4 порядка (сферическая аберрация) у пациентов 11-ой группы

Одиннадцатую группу составили 40 пациентов (80 глаз), которым была проведена LASIK с коррекцией сферической аберрации, включающая комбинацию миопического и гиперметропического профилей абляции с коррекцией сферической аберрации по поводу миопии и сложного миопического астигматизма на эксимерном лазере MEL-80 (Zeiss Meditec, Германия).

Таблица 5.1 – Острота зрения без коррекции, средний сферический эквивалент и острота зрения с коррекцией до операции и в разные сроки после операции в 11, 3 и 1 группах *(p<0,05)

	Острот	а зрен	ия без	Средни	ий		Острота зрения с			
	коррек	ции (М	$\pm \sigma)$	сферич	неский		коррекцией (M $\pm \sigma$)			
				эквива	лент					
				(диопт	рии) (М	$\pm \sigma)$				
N⁰	11-я	3-я	1-я	11-я	3-я	1-я	11-я	3-я	1-я	
группы	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	
	n=80	n=80	n=144	n=80	n=80	n=144	n=80	n=80	n=144	
До	$0,05 \pm$	$0,05 \pm$	$0,06 \pm$	- 3,93	- 4,67	- 4,46	1,00	$1,00 \pm$	0,92 ±	
операц.	0,01	0,02	0,01	± 1,05	± 1,94	$\pm 0,96$	± 0,12	0,14	0,13	
1 месяц	0,94 ±	0,86 ±	0,83 ±	0.02 ±	0,01 ±	- 0,02	0,98 ±	$1,00 \pm$	0,96 ±	
после	0,05	0,04	0,03	0,21	0,33	± 0,35	0,05	0,09	0,11	
операц.										
3 месяца	1,13 ±	0,92 ±	0,91 ±	$0 \pm$	- 0,02	- 0,05	1,13 ±	1,02 ±	1,0 ±	
после	0,02	0,04	0,03	0,01	$\pm 0,56$	± 0,31	0,03	0,07	0,10	
операц.										
1 год	1,13 ±	0,96 ±	0,93 ±	$0 \pm$	- 0,03	- 0,08	1,13 ±	$1,02 \pm$	1,0 ±	
после	0,03*	0,05	0,02	0,01*	± 0,43	± 0,28	0,02*	0,05	0,08	
операц.										

У большинства пациентов данной группы до операции диагностирована миопия слабой и средней степени. Осмотр пациентов проводили в первые сутки, через 1,3,6 и 12 месяцев после операции. Результаты лечения пациентов 11-ой группы сравнивали с результатами лечения пациентов 3-ей группы и 1-ой группы.

Динамика показателей остроты зрения без коррекции, среднего сферического эквивалента, остроты зрения с коррекцией представлена в таблице (Таблица 5.1).

Таблица 5.2 – RMS, RMS НО и величина сферической аберрации до операции и в разные сроки после операции в 11, 3 и 1 группах *(p<0,05)

	RMS (µ	ım)		RMS H	O (µm)		Сферическая			
	$(M \pm \sigma)$			$(M \pm \sigma)$			аберрация Z(4,0) (µm)			
							$(M\pm\sigma)$			
Nº	11-ая	3-ая	1-я	11-ая	3-ая	1-я	11-ая	3-ая	1-я	
группы	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	гр.	
	n=80	n=80	n=144	n=80	n=80	n=144	n=80	n=80	n=144	
До	6,18 ±	6,43 ±	6,32 ±	0,35 ±	0,33 ±	0,32 ±	0,01 ±	0,03 ±	0,04 ±	
опер.	0,13	0,17	0,15	0,06	0,07	0,08	0,19	0,23	0,16	
1	0,93 ±	1,05 ±	1,86 ±	0,34 ±	0,46 ±	0,51 ±	-0,15 ±	-0,62 ±	-0,73 ±	
месяц	0,32	0,29	0,38	0,11*	0,25	0,34	0,13*	0,16	0,17	
после										
опер.										
3	0,96 ±	1,13 ±	1,98 \pm	0,32 ±	$0,\!48$ \pm	0,62 ±	-0,17 ±	- 0,53	-0,68 ±	
месяц	0,35	0,38	0,33	0,14*	0,23	0,36	0,16*	± 0,21	0,18	
после										
опер.										
1 год	1,10 \pm	1,24 ±	1,16 \pm	0,30 ±	0,43 ±	0,59 ±	-0,09 ±	- 0,57	-0,62 ±	
после	0,38	0,42	0,34	0,12*	0,21	0,17	0,14*	± 0,19	0,15	
опер.										

Статистически значимых различий дооперационных показателей остроты зрения без коррекции, среднего сферического эквивалента, остроты зрения с коррекцией между 11-ой, 3-ой и 1-ей группами не получено (p > 0,05). Значения остроты зрения без коррекции, остроты зрения с коррекцией через 1 месяц, 3 месяца и 1 год после операции в 11-ой группе были выше (p < 0,05) по сравнению с 3-ей и 1-ой группами. Средний сферический эквивалент в 11-ой группе был статистически значимо меньше, чем во 3-ой и 1-ей группах (p < 0,05).

Результаты измерений среднеквадратичного корня суммы всех оптических аберраций (RMS) и оптических аберраций высшего порядка (RMS HO), а также величины сферической аберрации Z(4,0) в виде коэффициентов Zernike по нотации Malacara приведены в таблице (Таблица 5.2).

Статистически значимых различий в представленных данных до операции между 11-ой, 3-ей И 1-ой группами не было (p>0,05). Данные измерений корня аберраций (RMS), среднеквадратичного суммы всех оптических оптических аберраций высшего порядка (RMS HO) и величины сферической аберрации Z(4,0) в различные сроки после операции были ниже в 11-ой группе (р < 0,05) по сравнению с данными в 3-ей и 1-ой группах.

Показатели контрастной чувствительности до операции и в различные сроки после операции представлены в таблице (Таблица 5.3). Статистически значимых различий в результатах контрастной чувствительности до операции между 11-ой, 3-ой и 1-ей группами не было (p>0,05). Показатели контрастной чувствительности в различные сроки после операции были значительно выше в 11-ой группе (p<0,05) по сравнению с показателями в 3-ей и 1-ой группах, особенно на частотах 12 и 18 цикл/градус.

Таблица 5.3 – Данные контрастной чувствительности до операции и в разные сроки после операции (11-ая гр. n=80, 3-ая гр. n=80, 1-я гр. n=144) *(p<0,05)

	Частота цикл/градус											
	$(M \pm \sigma)$											
		3			6		12			18		
N⁰	11-	3-ая	1-я	11-	3-ая	1-я	11-	3-ая	1-я	11-	3-ая	1-я
группы	ая	гр.	гр.	ая	гр.	гр.	ая	гр.	гр.	ая	гр.	гр.
	гр.			гр.			гр.			гр.		
До	4,81	4,92	4,78	4,88	4,98	4,83	4,25	4,35	4,15	4,56	4,64	4,54
опер	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
onep.	0,33	0,24	0,25	0,25	0,41	0,12	0,44	0,20	0,23	0,52	0,62	0,45
1	5,24	4,12	4,13	6,05	4,78	4,74	5,73	4,16	3,98	5,87	4,47	4,39
месян	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,60*	0,33	0,41	0,11*	0,51	0,12	0,14*	0,44	0,22	0,81*	0,14	0,35
после												
опер.												
3	6,14	4,51	4,25	6,43	4,84	4,76	6,14	4,21	3,99	6,43	4,52	4,43
месян	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,53*	0,24	0,20	0,41*	0,32	0,26	0,34*	0,15	0,46	0,11*	0,51	0,23
после												
опер.												
1 год	6,00	4,78	4,63	6,67	4,92	4,78	6,56	4,31	4,12	6,89	4,59	4,51
после	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
опер.	0,35*	0,54	0,23	0,45*	0,64	0,71	0,45*	0,47	0,38	0,28*	0,32	0,61

После эксимерных лазерных операций толщина периферических отделов роговицы увеличивается по сравнению с центральными отделами, соответственно, и увеличивается рефракционная сила роговицы от центра к



периферии (Рисунок 5.4), (Рисунок 5.5).

Рисунок 5.4 – Цифровая корнеотопографическая карта роговицы до операции Wavefront-guided LASIK по персонализированному файлу абляции. Видно небольшое уменьшение рефракционной силы роговицы (отмечено красным овалом) от центра (0 мм) к периферии (6 мм).



Рисунок 5.5 – Цифровая корнеотопографическая карта роговицы после операции Wavefront-guided LASIK по персонализированному файлу абляции. Видно явное увеличение рефракционной силы роговицы (отмечено красным овалом) от центра (0 мм) к периферии (6 мм).

Вследствие этого изменялись значения сферической аберрации в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara Z(4,0) в сторону отрицательной сферической аберрации глаза (Рисунок 5.6).

s	phere Cylinder	Axis	Sp	here	Cylinder	Axis
-5.	84 -0.33	x 134°	-0.	84	-0.50	x 106°
Chroma: 555		Spectacle Plane: 12	Chroma: 555			Spectacle Plane: 12
	Zernike F	olynomials			Zernike F	Polynomials
	Zernike Term	Value		Zernik	e Term	Value
	analysis diameter	6.00 mm		analys	is diameter	6,00 mm
	Z(2,-2)	-0.652 µm		Z(2,-2)	-0.594 µm
	Z(2,0)	-12.604 µm		Z(2,0)		-2.41 µm
	Z(2,2)	0.025 µm		Z(2,2)		0.924 µm
	Z(3,-3)	-0.261 µm		Z(3,-3)	-0.918 µm
	Z(3,-1)	-0.180 µm		Z(3,-1)	0.064 µm
	Z(3,1)	0.130 µm		Z(3,1)		-0.043 µm
	Z(3,3)	-0.411 µm		Z(3,3)		-0.019 µm
	Z(4,-4)	0.080 µm		Z(4,-4)	0.288 µm
	Z(4,-2)	0.008 µm		Z(4,-2)	0.241 µm
	Z(4,0)	0.237 µm		Z(4,0)	-	-0.354 µm
	Z(4,2)	0.174 µm		Z(4,2)		-0.064 µm
	Z(4,4)	0.138 µm		Z(4,4)		-0.111 µm

Рисунок 5.6 – Показатели аберраций глаза пациента до (слева) и через 1 год после (справа) операции Wavefront-Guided LASIK по персонализированному файлу абляции (3-я группа). После операции Wavefront-Guided LASIK отмечено явное изменение значения сферической аберрации в сторону отрицательной сферической аберрации в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara Z(4,0)

от 0,237 µm до -0,354 µm (помечено красным прямоугольником)

абляции В результате комбинирования профиля миопического c абляции гиперметропическим время гиперметропической происходит BO миопической абляции эксимерлазерное удаление утолщенных время BO периферических отделов роговицы и, соответственно, увеличения толщины периферических отделов роговицы, как и увеличения рефракционной силы роговицы от центра к периферии не происходит (Рисунок 5.7), (Рисунок 5.8).



Рисунок 5.7 – Цифровая корнеотопографическая карта роговицы до операции LASIK с коррекцией сферической аберрации. Видно небольшое уменьшение рефракционной силы роговицы (отмечено красным овалом) от центра (0 мм) к периферии (6 мм)



Рисунок 5.8 – Цифровая корнеотопографическая карта роговицы после операции LASIK с коррекцией сферической аберрации. Видно практически полное отсутствие увеличения рефракционной силы роговицы (отмечено красным овалом) от центра (0 мм) к периферии (6 мм)

Следовательно, изменение значения сферической аберрации Z(4,0) в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara в сторону отрицательной сферической аберрации не происходит (Рисунок 5.9)

S	phere Cylinder	Axis	Sph	ere Cylinder	Asis
-4.	87 -0.35	x 166°	-1.0	02 -0.06	x 9°
Chronm: 555		Speciacle Plane: 12	Chroma: 555		Spectacle Plane: 12
	Zernike F	olynomials		Zernike F	Polynomials
	Zernike Term	Value		Zernike Term	Value
	analysis diameter	6.00 mm		analysis diameter	6.00 mm
	Z(2,-2)	-0.334 µm		Z(2,-2)	0.044 µm
	Z(2,0)	-10.692 µm		Z(2,0)	-2.327 µm
	Z(2,2)	-0.605 µm		Z(2,2)	-0.131 µm
	Z(3,-3)	-0.033 µm		Z(3,-3)	-0.473 µm
	Z(3,-1)	-0.069 µm		Z(3,-1)	-1.278 µm
	Z(3,1)	-0.611 µm		Z(3,1)	-0.557 µm
	Z(3,3)	-0.238 µm		Z(3,3)	0.463 µm
	Z(4,-4)	0.236 µm		Z(4,-4)	-0.135 µm
	Z(4,-2)	0.142 µm		Z(4,-2)	0.180 µm
	Z(4,0)	-0.278 µm		Z(4,0)	-0.064 µm
	Z(4,2)	-0.157 μm		Z(4,2)	0.105 µm
	Z(4,4)	-0.340 µm		Z(4,4)	-0.083 µm

Рисунок 5.9 – Показатели аберраций глаза пациента до (слева) и через 1 год после (справа) LASIK с коррекцией сферической аберрации (11-я группа). После LASIK с коррекцией сферической аберрации видно отсутствие изменения значения сферической аберрации в сторону отрицательной сферической аберрации в виде коэффициента Zernike по нотации Malacara Z(4,0) -0,278 µm до операции и -0,064 µm через 1 год соответственно (отмечено красным прямоугольником).

Комбинация миопического и гиперметропическкого профилей абляции при операции LASIK позволяет получить лучшие результаты, как по остроте зрения, так и по контрастной чувствительности (то есть качеству зрения) по сравнению с Wavefront-Guided LASIK и стандартным LASIK.

При выполнении персонализированной коррекции аберраций высшего порядка необходимо основываться не только на предоперационном измерении аберраций волнового фронта, но и учитывать биомеханические изменения роговицы, происходящие в процессе абляции и вызывающие изменение сферической аберрации Z(4,0) по нотации Malacara в сторону отрицательных значений.

Применение комбинации миопического и гиперметропическкого профилей абляции в коррекции миопии способно устранить индуцирование сферической аберрации, возникающее вследствие биомеханических изменений роговицы, что увеличивает контрастную чувствительность после операции LASIK по сравнению с Wavefront-Guided LASIK и стандартной операцией LASIK.

5.5. Сравнительная характеристика результатов хирургического лечения с селективной коррекцией АВП у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом

Сравнительная характеристика результатов хирургического лечения пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом различными методами включала оценку следующих признаков: сфероэквивалент, остроту зрения без коррекции, остроту зрения с коррекцией, изменение АВП, RMS HO, контрастную чувствительность.

Wavefront-Guided LASIK - эксимерная интрастромальная абляция роговицы с коррекцией предоперационных АВП относится к безопасным и достаточно эффективным методом рефракционной хирургии для коррекции миопии и сложного миопического астигматизма, что определило распространение данного метода в офтальмологических клиниках России. Эта группа была основная в проведенном сравнительном исследовании.

Результаты исследования в 8-й, 9-й, 10-й и 11-й группах сравнивали с результатами 3-й группы, в которой применен алгоритм коррекции предоперационных АВП.

Проведенное исследование позволило оценить средние значения сферического эквивалента рефракции (Таблица 5.4) до и после хирургического лечения в исследованных группах. Во всех группах пролеченных пациентов сферический эквивалент уменьшился (Таблица 5.4).

		Сферический	Сферический
Номер г	руппы	эквивалент, D	эквивалент, D
		до операции	после операции
3-я гр	уппа	-4,67±1,94	0,01±0,33*
Wavefront-Guideo	d LASIK (n=80)		
8-я гр	уппа	-4,3±0,95	0±0,12*
Wavefront-Guided	Selective LASIK		
с коррекцией тр	ефойла (n=80)		
9-я группа	9 А подгруппа	-3,55±1,39	0,15±0,27*
Wavefront-Guided	(n=40)		
Selective LASIK	9 Б подгруппа	-4,14±1,37	0,11±0,25*
с коррекцией комы	(n=40)		
10-я группа	10 А подгруппа	-3,08±0,77	0,16±0,44*
Wavefront-Guided	(n=40)		
Selective LASIK	10 Б подгруппа	-3,76±1,1	0,14±0,41*
с коррекцией	(n=40)		
квадрафойла и			
вторичного			
астигматизма			
11-я группа LASI	К с коррекцией	-3,93±1,05	0,01±0,02*
сферической абе	ррации (n=80)		

Таблица 5.4 – Сфероэквивалент у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Сравнительный анализ средних значений сфероэквивалента показал, что до операции наибольшую часть пациентов составили лица со средней степенью миопии. После операции рефракция получена эмметропической во всех группах пациентов. Средние значения острота зрения без коррекции до и после лечения в исследованных группах увеличились (Таблица 5.5).

		Острота	Острота зрения
Номер груг	ппы	зрения без	без коррекции
	коррекции	после операции	
		до операции	
3-я группа Wavefront-Gui	ded LASIK (n=80)	0,05±0,02	0,86±0,49*
8-я группа Wavefront-Guid	ed Selective LASIK	0,05±0,03	0,99±0,02*
с коррекцией тр	рефойла		
9-я группа	9 А подгруппа	$0,09{\pm}0,07$	0,95±0,12*
Wavefront-Guided	(n=40)		
Selective LASIK	9 Б подгруппа	$0,08{\pm}0,06$	0,93±0,21*
с коррекцией комы	(n=40)		
10-я группа	10 А подгруппа	$0,07{\pm}0,04$	0,91±0,23*
Wavefront-Guided	(n=40)		
Selective LASIK	10 Б подгруппа	$0,06{\pm}0,02$	$0,94{\pm}0,11*$
с коррекцией	(n=40)		
квадрафойла и			
вторичного астигматизма			
11-я группа LASIK с	с коррекцией	0,05±0,01	1,13±0,02*
сферической аберра	ации (n=80)		

Таблица 5.5 – Острота зрения без коррекции у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Полученная острота зрения без коррекции была наименьшей в 10 А подгруппе при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма методом Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией квадрафойла. Максимальная острота зрения без коррекции была достигнута в 8-й и 11-й группах методами Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией трефойла и LASIK с коррекцией сферической аберрации (Таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Острота зрения с коррекцией у пациентов с миопией и

сложным миопическим астигматизмом в	3,	8,	9,	1(),	11	группах	*(p<	0,0)5)
-------------------------------------	----	----	----	----	----	----	---------	------	-----	----	---

Номер гр	уппы	Острота зрения с коррекцией до операции	Острота зрения с коррекцией после операции
3-я группа Wavefront-Guided LASIK (n=80)		1,0±0,14	1,0±0,09
8-я группа Wavefront LASIK с коррекцией	t-Guided Selective i трефойла(n=80)	0,99±0,03	0,99±0,02
9-я группа Wavefront-Guided	9 А подгруппа (n=40)	0,99±0,02	1,0±0,07
Selective LASIK с коррекцией комы	9 Б подгруппа (n=40)	0,99±0,01	0,97±0,12
10-я группа Wayafrant Cuidad			
Selective LASIK	10 А подгруппа (n=40)	0,96±0,11	0,97±0,06
квадрафойла и вторичного	10 Б подгруппа (n=40)	0,98±0,07	0,99±0,03
астигматизма			
11-я группа LASI сферической абер	X с коррекцией орации (n=80)	1,0±0,12	1,13±0,03*

Сравнительная оценка средних значений остроты зрения с коррекцией до и после лечения в исследованных группах показала неоднородность полученных результатов (Таблица 5.6).

Полученная острота зрения с коррекцией была наименьшей в 9 Б подгруппе и в 10 А подгруппе при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма методом Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией вертикальной комы и Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией квадрафойла. Максимальная острота зрения с коррекцией была достигнута в 11-й группе при лечении пациентов методом LASIK с коррекцией сферической аберрации (Таблица 5.6). В 11-й группах острота зрения с коррекцией увеличилась. В 3-й, 8-й 9-й и 10-й группах пролеченных пациентов острота зрения с коррекцией практически не изменилась.

Проведенное исследование позволило оценить RMS HO (табл. 5.7) до и после хирургического лечения в исследованных группах. Во всех группах пролеченных пациентов RMS HO увеличился, за исключением 11-й группы (Таблица 5.7).

Предоперационный уровень RMS HO в 9 Б подгруппе достигал среднего значения 0,22±0,06 µm, в 8-й группе - 0,23±0,07 µm, в остальных группах варьировал от 0,24±0,06 до 0,35±0,06 µm (Таблица 5.7). В послеоперационном периоде RMS HO увеличился в 9 А подгруппе - в 1,25 раза, в 10 А подгруппе - в 1,31 раза, в 3-й группе - в 1,77 раза, в 8-й группе - в 1,78 раза, в 10 Б подгруппе - в 1,87 раза, в 9 Б подгруппе - в 2,1 раза.

Средние значения RMS НО показали прирост АВП в послеоперационном периоде в этих группах пациентов. Полученные значения статистически значимы.

В 11-группе RMS НО уменьшился в 1,1 раза. Полученное значение статистически значимо.

Средние значения величины трефойла Z(3;3) (Таблица 5.8) до хирургического лечения в исследованных группах варьировали от -0,37±0,06 µm до 0,37±0,16µm.

В послеоперационном периоде средняя величина трефойла Z(3;3) практически не изменилась в 3-й группе, а в 8-й группе уменьшилось в 2,47 раза.

Таблица 5.7 – Величина RMS HO (µm)	у пациентов с миопией и сложным
миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11	группах *(p< 0,05)

Номер групп	ы	Величина RMS Величина RM			
		НО	НО		
		(µm) до	(µm) после		
		операции	операции		
3-я группа Wavefront-Guided LA 8-я группа	SIK (n=80)	0,33±0,07	0,46±0,25*		
Wavefront-Guided Selec с коррекцией трефой	ctive LASIK іла (n=80)	0,23±0,07	0,41±0,07*		
9-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией комы	9 А подгруппа (n=40) 9 Б подгруппа (n=40)	0,31±0,1 0,22±0,06	0,39±0,08* 0,46±0,17*		
10-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией квадрафойла и вторичного астигматизма	10 А подгруппа (n=40) 10 Б подгруппа (n=40)	0,29±0,09 0,24±0,06	0,38±0,09* 0,45±0,14*		
11-я группа LASIK с коррекцией с аберрации (n=	и ферической 80)	0,35±0,06	0,32±0,14		

Полученный результат показывает, что Wavefront-Guided LASIK с коррекцией предоперационных АВП, выполненная у пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма, не уменьшает величину

трефойла Z(3;3), а Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией трефойла снижает уровень трефойла Z(3;3). Полученные значения статистически значимы.

Таблица 5.8 – Величина трефойла Z(3;3) (µm) у пациентов с миопией и сложных	М
миопическим астигматизмом в 3 и 8 группах *(p< 0,05)	

Номер группы	Величина трефойла	Величина трефойла
	Z(3;3) (µm) до	Z(3;3) (µm) после
	операции	операции
3-я группа	0,37±0,16	0,38±0,24
Wavefront-Guided LASIK		
(n=80)		
8-я группа	-0,37±0,06	-0,15±0,24*
Wavefront-Guided Selective		
LASIK		
с коррекцией трефойла		
(n=80)		

Средние значения горизонтальной комы Z(3;1) после хирургического лечения в исследованных группах увеличились (Таблица 5.9).

До операции средняя величина горизонтальной комы Z(3;1) в 3-й группе была 0,22±0,37 µm. Величина горизонтальной комы Z(3;1) до операции в 9 А подгруппе и 9 Б подгруппе варьировала от -0,12±0,65µm до 0,06±0,18 µm, что было ниже в сравнении с 1-й группой. В послеоперационном периоде средняя величина горизонтальной комы Z(3;1) в в 9 А подгруппе и 9 Б подгруппе статистически значимо не изменилась.

Примененные методы коррекции миопии и сложного миопического астигматизма вызывают неодинаковые оптические изменения роговицы относительно горизонтальной комы Z(3;1), при этом можно отметить зависимость между полученной средней величины горизонтальной комы Z(3;1) от величины, используемой в селективной коррекции комы при коррекции миопии и сложного

миопического астигматизма Wavefront- Guided Selective LASIK с коррекцией горизонтальной комы.

Таблица 5.9 – Величина горизонтальной комы Z (3;1) (µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3 и 9 группах *(p>0,05)

Номер группы		Величина горизонтальной комы	Величина горизонтальной комы		
		Z (3;1)(µm) до операции	Z (3;1)(µm) после операции		
3-я гр Wavefront-Guide	уппа d LASIK (n=80)	0,22±0,37	0,38±0,7*		
9-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK	9 А подгруппа (n=40) 9 Б подгруппа	-0,12±0,65	0,06±0,58		
комы	(n=40)	0,06±0,18	0,12±0,44		

Средние значения вертикальной комы Z(3;-1) (Таблица 5.10) после хирургического лечения миопии и сложного миопического астигматизма в исследованных группах увеличились, за исключением 9 Б подгруппе (Таблица 5.10).

До операции средняя величина вертикальной комы Z(3;-1) в 3-й группе была 0,08±0,31 µm. Величина вертикальной комы Z(3;-1) до операции в 9 А подгруппе и 9 Б подгруппе варьировала от 0,02±0,17 µm до 0,07±0,38 µm, что было ниже в сравнении с 1-й группой. Таблица 5.10 – Величина вертикальной комы Z(3;-1)(μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3 и 9 группах *(p>0,05)

Номер группы		Величина вертикальной комы 7 (2: 1)(um)	Величина вертикальной комы
		∠ (5;-1)(µш) до операции	операции
3-я гру Wavefront-Guided	ппа LASIK (n=80)	0,08±0,31	0,07±0,46*
9-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK	9 А подгруппа (n=40) 9 Б подгруппа	0,02±0,17	0,08±0,28*
с коррекцией комы	(n=40)	0,07±0,38	0,07±0,32*

В послеоперационном периоде средняя величина вертикальной комы Z(3;-1) в исследуемых группах статистически значимо не изменилась.

Примененные методы коррекции миопии и сложного миопического астигматизма вызывают неодинаковые оптические изменения роговицы относительно вертикальной комы Z(3;-1), при этом можно отметить зависимость между полученной средней величины вертикальной комы Z(3;-1) от величины, используемой в селективной коррекции комы при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией вертикальной комы.

В исследованных группах пациентов сравнены средние значения квадрафойла Z(4;4) (табл. 5.11) до и после хирургического лечения. В 3-й группе пролеченных пациентов методом Wavefront-Guided LASIK средние значение

квадрафойла Z(4;4) в послеоперационном периоде не изменилось. В 10 А подгруппе пролеченных пациентов среднее значение квадрафайла Z(4;4) в послеоперационном периоде уменьшилось (Таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Величина квадрафойла Z(4;4)(µm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3 и 10 группах *(p<0,05)

Номер г	руппы	Величина квадрафойла Z(4;4)(µm) до операции	Величина квадрафойла Z(4;4)(µm) после операции
3-я группа Wavefront-Guided LASIK (n=80)		0,03±0,03	0,04±0,04
10-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией квадрафойла	10 А подгруппа (n=40)	0,22±0,02	0,07±0,13*

Уменьшение показателя квадрафойла Z(4;4) (в 2 раза) был определен 10 А подгруппе при лечении пациентов методом Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией квадрафойла (Таблица 5.11).

Средние значения вторичного астигматизма Z(4;2) до и после хирургического лечения в исследованных группах представлены (Таблице 5.12). В 3-й группе пролеченных пациентов среднее значение вторичного астигматизма Z(4;2) после операции увеличилось (Таблица 5.12). В 10 Б подгруппе пролеченных пациентов среднее значение вторичного астигматизма Z(4;2) после операции увеличилось (Таблица 5.12).
Номер г	улпы	Величина вторичного астигматизма Z(4;2)(µm) до операции	Величина вторичного астигматизма Z(4;2)(µm) после операции
3-я группа Wavefront-Guided LASIK (n=80)		0,06±0,03	0,09±0,04
10-я группа Wavefront-Guided Selective LASIK с вторичного астигматизма	10 Б подгруппа (n=40)	0,31±1,12	0,01±0,02*

Таблица 5.12 – Величина вторичного астигматизма Z(4;2)(μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3 и 10 группах *(p<0,05)

Послеоперационная величина вторичного астигматизма Z(4;2) в 3-й группе пациентов увеличилась в 1,5 раза. В данной группе был применен способ коррекции миопии и сложного миопического астигматизма Wavefront-Guided LASIK.

Послеоперационная величина вторичного астигматизма Z(4;2) в 10 Б подгруппе уменьшилась в 30 раз В описанной группе был применен способ коррекции миопии и сложного миопического астигматизма при применении Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией вторичного астигматизма Z(4;2).

Проведенное исследование позволило оценить средние значения сферической аберрации Z(4;0) (Таблица 5.13) до и после хирургического лечения в исследованных группах.

В 3-й группе пациентов средняя величина сферической аберрации Z(4;0) до операции была $0,03\pm0,23$ µm, в 11-й группе - от $0,01\pm0,19$ µm. Во всех группах пролеченных пациентов средние значения сферической аберрации Z(4;0) увеличились в отрицательную сторону (Таблица 5.13).

В послеоперационном периоде прирост величины сферической аберрации Z(4;0) был наименьший в 11-й группе пациентов, а наибольший – в 3-й группе. Послеоперационная величина сферической аберрации Z(4;0) в 3-й группе пациентов увеличилась статистически значимо (p<0,05). В данной группе был применен способ коррекции миопии и сложного миопического астигматизма Wavefront-guided LASIK.

Таблица 5.13 – Величина сферической аберрации Z(4;0)(μm) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3 и 11 группах *(p<0,05)

Номер группы	Величина сферической аберрации Z(4;0)(µm)	Величина сферической аберрации Z(4;0)(µm)
	до операции	после операции
3-я группа	0,03±0,23	-0,62±0,16*
Wavefront-Guided LASIK (n=80)		
11-я группа	0,01±0,19	-0,17±0,16
LASIK с коррекцией		
сферической аберрации (n=80)		

Послеоперационная величина сферической аберрации Z(4;0) в 11 группе изменилась статистически не значимо (p>0,05). В описанной группе был применен способ коррекции миопии и сложного миопического астигматизма при применении LASIK с коррекцией сферической аберрации Z(4;0).

В проведенном исследовании сравнены средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) (табл. 5.14) до и после хирургического лечения в исследованных группах.

Таблица 5.14 – Контрастная

чувствительность (3 цикл/градус) у

пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Номер группы		Контрастная	Контрастная
		чувствительность	чувствительность
		до операции 3	после операции 3
		цикл/градус	цикл/градус
3-я группа		$4,92 \pm 0,24$	$4,12 \pm 0,33*$
Wavefront-Guided LASIK (n=80)			
8-я группа		$4,90 \pm 0,26$	$4,89 \pm 0,21$
Wavefront-Guided Selective LASIK			
с коррекцией трефойла (n=80)			
9-я группа			
Wavefront-Guided	9 А подгруппа	$4,\!87\pm0,\!32$	$4,87 \pm 0,27$
Selective LASIK	(n=40)		
с коррекцией комы	9 Б подгруппа	$4,\!89\pm0,\!23$	$4,\!88\pm0,\!25$
	(n=40)		
10-я группа			
Wavefront-Guided	10 А подгруппа	$4,91 \pm 0,33$	$4,\!90 \pm 0,\!29$
Selective LASIK	(n=40)		
с коррекцией			
квадрафойла и			
вторичного	10 Б подгруппа	$4,\!93\pm0,\!17$	$4,91 \pm 0,21$
астигматизма	(n=40)		
11-я группа		4,81 ± 0,33	$6,14 \pm 0,53*$
LASIK с коррекцией сферической			
аберрации (n=80)			

В 11-й группе у пациентов пролеченных методом LASIK с коррекцией сферической аберрации Z(4;0) средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) увеличились (p<0,05), в 3-й группе у пациентов пролеченных

методом Wavefront-Guided LASIK средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) уменьшились (p<0,05).

Таблица 5.15 – Контрастная чувствительность (6 цикл/градус) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Номер группы		Контрастная	Контрастная
		чувствительность	чувствительность
		до операции 6	после операции 6
		цикл/градус	цикл/градус
3-я группа		$4,98 \pm 0,11$	$4,73 \pm 0,17$
Wavefront-Guided LA	SIK (n=80)		
8-я группа		$4,93 \pm 0,25$	$4,92 \pm 0,23$
Wavefront-Guided Sele	ctive LASIK		
с коррекцией трефой	і́ла (n=80)		
9-я группа	9 A	$4,89 \pm 0,33$	$4,\!88\pm0,\!29$
Wavefront-Guided	подгруппа		
Selective LASIK	(n=40)		
с коррекцией комы	9Б	$4,\!92\pm0,\!29$	$4{,}91\pm0{,}27$
	подгруппа		
	(n=40)		
10-я группа			
Wavefront-Guided	10 A	$4,\!91 \pm 0,\!33$	$4{,}90\pm0{,}29$
Selective LASIK	подгруппа		
с коррекцией	(n=40)		
квадрафойла и	10 Б	$4,\!93\pm0,\!19$	$4,\!93\pm0,\!25$
вторичного	подгруппа		
астигматизма	(n=40)		
11-я группа		4,88 ± 0,25	6,43 ± 0,41*
LASIK с коррекцией сферической			
аберрации (n=80)			

В остальных группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (3 цикл/градус) не изменились (p>0,05) (табл. 5.14).

Проведенное исследование позволило оценить средние значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) (Таблица 5.15) до и после хирургического лечения в исследованных группах. В 3-й группе у пациентов среднее значение контрастной чувствительности (6 цикл/градус) уменьшилось (p<0,05). В 8-й, 9-й и 10 группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) не изменились (p>0,05) (Таблица 5.15). В 11-й группе у пациентов, пролеченных методом LASIK с коррекцией сферической аберрации Z(4;0), средние значения контрастной чувствительности (6 цикл/градус) увеличились (p<0,05).

Проведенное исследование позволило оценить средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) (Таблица 5.16) до и после хирургического лечения в исследованных группах. В 3-й группе у пациентов среднее значение контрастной чувствительности (12 цикл/градус) уменьшилось (p<0,05). В 9-й и 10 группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) не изменились (p>0,05) (Таблица 5.16).

В 8-й и 11-й группах у пациентов, пролеченных методом Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией трефойла Z(3;3) и LASIK с коррекцией сферической аберрации Z(4;0) соответственно, средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) увеличились (p<0,05).

Проведенное исследование позволило оценить средние значения контрастной чувствительности (18 цикл/градус) (Таблица 5.17) до и после хирургического лечения в исследованных группах. В 3-й группе у пациентов среднее значение контрастной чувствительности (18 цикл/градус) уменьшилось (p<0,05). В 8-й, 9-й и 10 группах пролеченных пациентов средние значения контрастной чувствительности (12 цикл/градус) не изменились (p>0,05) (Таблица 5.17).

Номер группы		Контрастная	Контрастная
		чувствительность	чувствительность
		до операции 12	после операции
		цикл/градус	12 цикл/градус
3-я г	руппа	$4,35 \pm 0,20$	$4,16 \pm 0,44$
Wavefront-Guided LASIK (n=80)			
8-я группа		$4,\!43 \pm 0,\!44$	$5,04 \pm 0,34*$
Wavefront-Guided Selective LASIK			
с коррекцией	грефойла (n=80)		
9-я группа	9 А подгруппа	$4,45 \pm 0,37$	$4,\!43 \pm 0,\!31$
Wavefront-Guided	(n=40)		
Selective LASIK	9 Б подгруппа	$4,\!47\pm0,\!27$	$4,\!46\pm0,\!29$
с коррекцией	(n=40)		
КОМЫ			
10-я группа			
Wavefront-Guided	10 А подгруппа	$4,\!39\pm0,\!31$	$4,\!40\pm0,\!45$
Selective LASIK	(n=40)		
с коррекцией			
квадрафойла и	10 Б подгруппа	$4,\!46\pm0,\!19$	$4,\!43\pm0,\!26$
вторичного	(n=40)		
астигматизма			
11-я группа		4,25 ± 0,44	$6,14 \pm 0,34*$
LASIK с коррекцией сферической			
аберрации (n=80)			

Таблица 5.16 – Контрастная чувствительность (12 цикл/градус) у пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Таблица 5.17 – Контрастная

чувствительность (18 цикл/градус) у

пациентов с миопией и сложным миопическим астигматизмом в 3,8,9,10,11 группах *(p<0,05)

Номер группы		Контрастная	Контрастная
		чувствительность	чувствительность
		до операции 18	после операции
		цикл/градус	18 цикл/градус
3-я группа		$4,64 \pm 0,62$	$4,\!47 \pm 0,\!14$
Wavefront-Gui	ided LASIK (n=80)		
8-я	группа	$4,53\pm0,58$	$4,\!87\pm0,\!49$
Wavefront-Guid	led Selective LASIK		
с коррекцией трефойла (n=80)			
9-я группа	9 А подгруппа	$4,57 \pm 0,31$	$4,\!54\pm0,\!33$
Wavefront-uided	(n=40)		
Selective LASIK	9 Б подгруппа	$4{,}56\pm0{,}29$	$4,\!49\pm0,\!34$
с коррекцией	(n=40)		
комы			
10-я группа			
Wavefront-	10 А подгруппа	$4,\!55\pm0,\!28$	$4,51 \pm 0,38$
Guided Selective	(n=40)		
LASIK			
с коррекцией	10 Б подгруппа	$4,\!49\pm0,\!31$	$4,\!47\pm0,\!29$
квадрафойла и	(n=40)		
вторичного			
астигматизма			
11-я группа		$4,56 \pm 0,23$	6,43 ± 0,11*
LASIK с коррекцией сферической			
аберрации (n=80)			

В 11-й группе у пациентов, пролеченных методом LASIK с коррекцией сферической аберрации Z(4;0), среднее значение контрастной чувствительности (18 цикл/градус) увеличилось (p<0,05) (Таблица 5.17).

На основании проведенного исследования можно сделать заключение о том, что многообразие алгоритмов и способов коррекции миопии и сложного миопического астигматизма требует персонализированного подхода.

Таким образом, основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

1. Использование одного профиля абляции для селективной коррекции одной аберрации высшего порядка позволяет целенаправленно произвести ее коррекцию и соответственно получить более высокий функциональный результат.

Wavefront-Guided Selective LASIK с селективной коррекцией трефойла Z(3;3) уменьшает величину трефойла, что позволяет получить более высокие значения контрастной чувствительности в послеоперационном периоде по сравнению с Wavefront-Guided LASIK.

2. Селективная коррекция комы с использованием Wavefront-Guided Selective LASIK с коррекцией аберраций 3 порядка не позволяет полностью устранить кому, но позволяет влиять на величину изменений комы во время операции.

3. Wavefront-Guided Selective LASIK с селективной коррекцией квадрафойла или вторичного астигматизма уменьшает величину этих аберраций четвертого порядка и расширяет показания к проведению коррекции АВП.

4. Комбинация миопического и гиперметропическкого профилей абляции при операции LASIK позволяет получить лучшие результаты, как по остроте зрения, так и по контрастной чувствительности (то есть качеству зрения) по сравнению с Wavefront-Guided LASIK и стандартным LASIK.

При выполнении персонализированной коррекции аберраций высшего порядка необходимо основываться не только на предоперационном измерении аберраций волнового фронта, но и учитывать биомеханические изменения

роговицы, происходящие в процессе абляции и вызывающие изменение сферической аберрации Z(4,0) по нотации Malacara в сторону отрицательных значений.

Применение комбинации миопического и гиперметропическкого профилей абляции в коррекции миопии способно устранить индуцирование сферической аберрации, возникающее вследствие биомеханических изменений роговицы, что увеличивает контрастную чувствительность после операции LASIK по сравнению с Wavefront-Guided LASIK и стандартной операцией LASIK.

ГЛАВА 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Екатеринбургском центре МНТК «Микрохирургия глаза» с 2000 года проведена лазерная коррекция миопии и миопического астигматизма 37000 пациентов. Ежегодно с данной проблемой получают помощь 2500-3000 пациентов. Среди общего количества пациентов это составляет 15-20 % следовательно, является системной патологией и распространение связано с возрастанием роли органа зрения в профессиональной, учебной, развлекательной области деятельности человека.

Персонализированная коррекция составляет 10-15%. Это совпадает с данными Schallhorn, S.C. и соавт. [544] и [282, 539].

Проспективное исследование включало 472 человека (944 глаза), возраст от 18 до 40 лет, которые были разделены на группы от способа проводимого лечения. Среди исследованных пациентов преобладали женщины возрастной группой 21-29 лет.

Практически это все лица молодого, трудоспособного возраста, что совпадает с данными [394, 502, 510, 571].

Длительность заболевания составила 5-12 лет, что согласуется с данными [282, 539] [211, 347, 389, 617]

Применение эксимерного лазера с конца 80-х (ФРК) начала 90-х годов (LASIK) 20 века оставалась основным способом коррекция миопии и сложного миопического астигматизма.

Отмечается прогрессирование спектра методов лечения [341, 544, 551].

У пациентов большой выбор способов коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с коррекцией АВП [251, 274, 291, 292, 348, 446, 458, 469, 482, 491, 508, 535, 560, 578, 600].

Развитие рефракционной хирургии связано с тем, что данный вид лечения позволяет добиться эмметропии, высокой остроты зрения и качества зрения.

Однако при проведении коррекции миопии и сложного миопического астигматизма индуцируются АВП и современные S.C. Schallhorn и соавт. [544] отмечают, что АВП могут увеличиваться после Wavefront-Guided LASIK, и причины увеличения АВП могут быть многофакторны.

Обширны возможности и подходы в коррекции АВП, но данные результатов в современной литературе не удовлетворяют авторов [157, 176, 192, 294, 314, 331, 355, 357, 437, 490, 562, 565, 649], поэтому данная работа раскрывает дифференцированный подход к диагностике и коррекции АВП.

Представленный как метод коррекции предоперационных ABП WFG LASIK, предложенный M.Mrochen, M.Kaemmerer, T.Seiler [460], является лидирующим способом коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

Однако, ученые отмечали у части пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма частичное снижение, недокоррекцию и/или индуцирование АВП, в т.ч. сферической аберрации [177] при использовании Wavefront-guided профиля эксимерной лазерной абляции роговицы.

Существуют разночтения в выборе алгоритмов абляции [291, 292, 458, 469, 491, 508, 535, 560], в эффективности достигнутых результатов [291, 292, 458, 469, 491, 508, 535, 560] по данным [446] показало увеличение АВП в обеих группах, а статистически достоверной разницы между такими полиномами, как кома, трефойл, сферическая аберрация и показателями контрастной чувствительности у пациентов не выявлено.

Ряд работ посвящён подходам для коррекции сферической аберрации при разработке технологий эксимерных лазерных рефракционных операций [2, 3, 4, 41, 55, 103, 115, 189, 199, 413, 528, 640].

В связи с этим в данном научном исследовании проведена сравнительное исследование коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с коррекцией АВП различными методами, причем технологическое появление новых способствовало применение высокоточных методов диагностики АВП, современного эксимерного лазера, способного выполнять коррекцию АВП и

развитие фемтосекундных лазерных технологий с фемтосекундной диссекцией роговицы.

В свою очередь, в Екатеринбургском центре МНТК «Микрохирургия глаза» были разработаны модификации селективной коррекцией АВП, что подтверждено патентами РФ.

Большое значение в понимании характера биомеханических изменений роговицы при кераторефракционных лазерных операциях имеет экспериментальное исследование. Для получения данных изменений АВП исследователи проводят оперативное вмешательство [51]. В результате моделирования стандартной операции LASIK сферическая аберрация возрастает, что согласуется с клиническими результатами. Другие АВП при стандартном LASIК изменяются до 0,2 мкм.

В представленном исследовании установлено, что селективное коррекция АВП при выполнении Wavefront-Guided Selective абляции по миопическому алгоритму на экспериментальных линзах способно эффективно корректировать АВП.

Представленное экспериментальное исследование математического моделирования на основе конечноэлементной модели роговицы глаза подтвердило его эффективность. В предложенном методе анализа напряженнодеформированного состояния роговицы использован объемный конечный элемент и нелинейная модель. Это позволило учитывать переменную толщину роговицы по всему её объему и строить расчетную математическую модель с учетом реальных толщин, определенных с помощью оптической измерительной техники. Расчет напряжений и перемещений во множестве узловых точек роговицы позволяет офтальмохирургу сформировать более полное представление о влиянии параметров, изменяемых в процессе операции, на состояние оперированного глаза пациента.

В то же время, увеличение сферической аберрации произошло не на всех глазах, на 37 (25,6 %) из 144 глаз она не изменилась или уменьшилась. Дооперационные значения сферической аберрации, а также других аберраций

высшего порядка в группе с послеоперационным увеличением сферической аберрации статистически значимо не отличались от таковых в группе, где сферическая аберрация после операции не изменилась.

Выполнение операции LASIK, несмотря на значительное повышение остроты зрения, приводит к увеличению аберраций высшего порядка в оптической системе глаза. Увеличение аберраций высшего порядка происходит в основном за счет сферической аберрации. На увеличение сферической аберрации после стандартного LASIK влияют не столько исходные данные аберраций пациента, сколько сама методика проведения операции.

Индуцирование всех аберраций высшего порядка, в частности сферической LASIK аберрации, после стандартного И топографического LASIK свидетельствует 0 преимущественно биомеханических изменениях оперированной роговицы. Меньший объем абляции у пациентов, которым проведена операция топографический LASIK с алгоритмом персонализированной топографической абляции, позволяет ее применять при высоких степенях миопии и сложного миопического астигматизма, а также при меньших предоперационных пахиметрических показателях роговицы.

Таким образом, наряду с изменением величины сферической аберрации и RMS HO, операция топографический LASIK с алгоритмом персонализированной топографической абляции по поводу миопии и миопического астигматизма является эффективным методом в коррекции миопии и миопического астигматизма со стабильным, предсказуемым рефракционным эффектом при меньшем объеме абляции.

При проведении операции Wavefront-Guided LASIK как с коррекцией аберраций волнового фронта, так и без нее изменения аберраций выше четвертого порядка и среднеквадратичного корня всех аберраций были очень малы и статистически не значимы, что свидетельствует о том, что в коррекции предоперационных АВП можно их не учитывать.

Выполнение Wavefront-Guided Epi-LASIK и Wavefront-Guided LASIK не только не устраняют предоперационные аберрации высших порядков, но и

индуцируют сферическую аберрацию Z(4;0), a Wavefront-Guided Epi-LASIK также индуцирует горизонтальную кому Z(3;1).

По данным оптической когерентной томографии в 3-ей группе с использованием механического микрокератома при выполнении Wavefront-Guided LASIK выявлена неравномерность толщины роговичного лоскута в симметричных точках исследованных меридианов, которая обусловлена направлением движения головки механического микрокератома в отличие от равномерного лоскута в 5-ой группе с использованием лазерного микрокератома при выполнении Wavefront-Guided FemtoLASIK.

После операции Wavefront-Guided LASIK в 3-группе с механическим микрокератомом Evolution 3E (Moria) с головками M2 SU 90 и Wavefront-Guided FemtoLASIK в 5-группе с лазерным микрокератомом VisuMax (Carl Zeiss, Meditec) по данным полученным на Pentacam задняя поверхность роговицы не изменялась.

Применение в эксимерлазерной рефракционной хирургии фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута позволяет выкраивать равномерный, симметричный по толщине роговичный лоскут.

Сформированный фемтосекундным лазером лоскут роговицы сводит к минимуму индуцирование АВП и их вклад в расчете параметров при персонализированной эксимерлазерной хирургии в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

Фемтосекундный лазер VisuMax позволяет выполнять операции FLEx без использования эксимерного лазера, позволяет формировать роговичные лоскуты с заданными параметрами толщины В точно отличие OT механического микрокератома. Применение операции FLEx обеспечивает улучшение остроты дооперационной максимально корригированной зрения ДО уровня с восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях к месяцу после операции.

Фемтосекундный лазер VisuMax осуществляет коррекцию миопии и миопического астигматизма используя операцию SMILE, позволяя формировать

роговичные заданными параметрами толщины в клапаны с точно отличие от механического микрокератома. Применение операции SMILE с удалением роговичного лентикула без подъема роговичного клапана обеспечивает улучшение остроты зрения дооперационной ДО уровня максимально корригированной остроты зрения, с незначительным индуцированием аберраций высшего порядка и восстановлением предоперационных показателей контрастной чувствительности в мезопических условиях к 3 месяцам после операции. Операция SMILE обеспечивает быстрое восстановление зрительных функций с сохранением биомеханической стабильности роговицы, с практическим отсутствием риска травматического смещения роговичного клапана.

Много лет в научной литературе изучается вопрос эффективности коррекции АВП при проведении WFG-LASIK и WFG-FemtoLASIK [138, 243, 337, 414, 447, 425, 442, 463, 528, 601, 621] показали, что основное применение Wavefront-Guided профиля эксимерной лазерной абляции роговицы - оптимизация существующих методов лечения, таких как LASIK или ФРК, и исправление предоперационных АВП для улучшения оптических характеристик глаза при мезопических условиях с увеличением контрастной чувствительности.

Тем не менее ряд авторов [157, 176, 192, 294, 314, 331, 355, 357, 437, 490, 562, 565, 649] отмечали у части пациентов при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма частичное снижение, недокоррекцию и/или индуцирование АВП, в т.ч. сферической аберрации [177] при использовании wavefront-guided профиля эксимерной лазерной абляции роговицы.

Сравнительное исследование эффективности Wavefront-Guided LASIK и стандартного LASIK [274, 482, 578,] показало лучшую контрастную чувствительность в мезопических условиях у пациентов, перенёсших операцию Wavefront-Guided LASIK, но по заключению [348] это изменение не было статистически достоверным.

Сравнительное исследование эффективности Wavefront-guided LASIK и Wavefront-optimised LASIK [291, 292, 458, 469, 491, 508, 535, 560] по данным [446] показало увеличение АВП в обеих группах, а статистически достоверной разницы

между такими полиномами, как кома, трефойл, сферическая аберрация и показателями контрастной чувствительности у пациентов не выявлено.

Использование одного профиля абляции для селективной коррекции одной аберрации высшего порядка позволяет целенаправленно произвести ее коррекцию и соответственно получить более высокий функциональный результат. Wavefront-Guided LASIK с селективной коррекцией трефойла Z(3;3) уменьшает величину трефойла, что позволяет получить более высокие значения контрастной чувствительности в послеоперационном периоде по сравнению с Wavefront-Guided LASIK.

Селективная коррекция комы с использованием Wavefront-Guided LASIK Selective с коррекцией аберраций 3 порядка не позволяет полностью устранить кому, но позволяет влиять на величину изменений комы во время операции.

Существует ряд пациентов, у которых величина таких аберраций четвертого порядка, как квадрафойл или вторичный астигматизм может быть достаточно значимой для коррекции и улучшения данных контрастной чувствительности, то есть 0,1375 и более, но при этом RMS HO всех аберраций высшего порядка может быть меньше 0,3 и показаний к проведению Wavefront-Guided LASIK у таких пациентов нет. Однако именно у таких пациентов существует возможность проведения селективной коррекции таких аберраций высшего порядка, как квадрафойл или вторичный астигматизм с последующим улучшением данных контрастной чувствительности. Учитывая, что процент рефракционных пациентов с RMS HO аберраций высших порядков более 0,3 составляет всего 5 – 10 %, при помощи селективной коррекции аберраций четвертого порядка существует возможность существенно расширить показания к проведению коррекции аберраций высшего порядка.

При выполнении персонализированной коррекции аберраций высшего порядка необходимо основываться не только на предоперационном измерении аберраций волнового фронта, но и учитывать биомеханические изменения роговицы, происходящие в процессе абляции и вызывающие изменение сферической аберрации Z(4,0) по нотации Malacara в сторону отрицательных значений.

В литературе описан характер биомеханических изменений сферической аберрации после эксимерной лазерной абляция роговицы при миопии [356, 187, 182, 293, 180] и гиперметропии [180, 187, 368, 398]. Проведенные исследования выявили, что векторы увеличения индуцированной сферической аберрации разнонаправлены [398]. Величина индуцированной сферической аберрации при коррекции гиперметропии отличается от величины индуцированной сферической аберрации при коррекции при коррекции миопии [356, 398] [293] с коэффициентом 2,46 и 1,6 соответственно по данным Т.Коhnen [356], 2, 3 и 1,6 соответственно данным А.Веnito и соавт. [180].

Применение комбинации миопической и гиперметропической абляций в коррекции миопии способно устранить индуцирование сферической аберрации, возникающее вследствие биомеханических изменений роговицы, что увеличивает контрастную чувствительность после операции LASIK по сравнению с Wavefront-Guided LASIK и стандартной операцией LASIK.

Для повышения эффективности коррекции АВП необходим персонализированный подход в диагностике предоперационного состояния АВП, расчёту и способу удаления роговичной ткани (Рисунок 6.1).

При персонализированном подходе выполняют аберрометрию. Если при диаметре зрачка 6 мм и более сферическая аберрация Z (4,0) более 0 мкм, оценивают величины аберраций третьего порядка - Z (3;-1), Z (3;1), Z (3;-3), Z (3;3) и четвёртого порядка - Z (4;-4), Z (4;-2), Z (4;2), Z (4;4). При величине аберрации > 0,1375 мкм, то возможна и целесообразна персонализированная коррекция АВП.



Рисунок 6.1 – Концептуальная модель выбора лазерной хирургии

При центральной толщине роговицы менее 500 мкм показано проведение операции Epi-LASIK с селективной коррекцией АВП более, чем 0,1375 мкм (WFGS Epi-LASIK).

При центральной толщине роговицы более 500 мкм целесообразно выполнение операции FemtoLASIK с селективной коррекцией АВП (3-4 порядка) в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма (WFGS FLASIK).

При наличии поверхностных помутнений роговицы применение фемтосекундного лазера ограничено, поэтому целесообразно выполнение операции WFGS LASIK с применением механического кератома для выкраивания лоскута роговицы.

В случаях коррекции миопии и сложного миопического астигматизма по результатам аберрометрии АВП третьего и четвёртого порядка < 0,1375 мкм целью вмешательства является минимизирование индуцирования АВП при эксимерной лазерной абляции роговицы, так как алгоритм WFG оказывает меньшее индуцирование АВП.

В этих случаях при толщине роговицы менее 500 мкм показано проведение операции WFG Epi-LASIK. При центральной толщине роговицы более 500 мкм целесообразно выполнение операции WFG FLASIK (WFG FemtoLASIK) в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

При наличии поверхностных помутнений роговицы применение фемтосекундного лазера ограничено, поэтому целесообразно выполнение операции WFG LASIK с применением механического кератома для выкраивания лоскута роговицы.

При величине сферической аберрация Z (4,0)<0 мкм важно не допустить индуцирования сферической аберрации в процессе эксимерной лазерной абляции роговицы. Для этой задачи предназначен алгоритм абляции с комбинацией миопического и гиперметропического профилей абляции с целью предотвращения индуцирования сферической аберрации Z(4,0) при проведении самой эксимерной лазерной абляции роговицы в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма.

При центральной толщине роговицы менее 500 мкм показано проведение операции Epi-LASIK с коррекцией сферической аберрации с последующей поверхностной абляцией роговицы совместно с комбинацией миопического и гиперметропического профилей абляции в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма (Epi-LASIK с коррекцией СА).

При центральной толщине роговицы более 500 мкм целесообразно выполнение операции FemtoLASIK с коррекцией сферической аберрации сочетающего в себе формирование роговичного лоскута фемтосекундным лазером с последующей интрастромальной абляцией роговицы с комбинацией миопического и гиперметропического профилей абляции в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма (FLASIK с коррекцией CA).

поверхностных помутнений роговицы При наличии формирование роговичного лоскута целесообразно проводить с применением механического выкраивания лоскута роговицы микрокератома ДЛЯ с последующей абляцией комбинацией интрастромальной роговицы с миопического И гиперметропического профилей абляции в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма (LASIK с коррекцией CA).

В случаях, когда у пациентов при проведении аберрометрии диаметр зрачка менее 6 мм, следует учесть показатели кератотопографии.

При CIM (Corneal Irregularity Measurement) более 0,5 мкм показано выполнение эксимерлазерной абляции роговицы по топографическому алгоритму.

При центральной толщине роговицы менее 500 мкм необходимо выполнение поверхностной абляции - топографический Epi-LASIK (Топогр. Epi-LASIK).

При центральной толщине роговицы более 500 мкм формирование роговичного лоскута наиболее оптимально с помощью фемтосекундного лазера с последующей эксимерлазерной интрастромальной абляцией роговицы по топографическому алгоритму Топографический FemtoLASIK (Топогр. FLASIK).

При наличии поверхностных помутнений роговицы формирование роговичного лоскута осуществляют с помощью механического микрокератома -

Топографический LASIK (Топогр. LASIK). При CIM (Corneal Irregularity Measurement) менее 0,5 мкм следует выполнять эксимерлазерную абляцию роговицы по стандартному алгоритму. При центральной толщине роговицы менее 500 мкм необходимо выполнение поверхностной абляции - стандартный Epi-LASIK (Epi-LASIK). При центральной толщине роговицы более 500 мкм с наличием поверхностных помутнений роговицы формирование роговичного лоскута осуществляют с помощью механического микрокератома с последующей эксимерлазерной интрастромальной абляцией роговицы по стандартному алгоритму - LASIK (LASIK).

При центральной толщине роговицы более 500 мкм с полностью прозрачной роговицей возможны варианты с формированием роговичного лоскута с помощью фемтосекундного лазера с последующей эксимерлазерной интрастромальной абляцией роговицы по стандартному алгоритму FemtoLASIK (FLASIK) или применение операции FLEx (FLEx), особенно у пациентов, ведущих активный образ жизни в мезопических условиях, работающих в условиях с пониженной освещённостью, ночное время, т.к. у этих пациентов менее индуцируется сферическая аберрация (Z4,0).

У пациентов, ведущих физически активный образ жизни с высоким риском травматического смещение роговичного лоскута (спортсмены, военнослужащие) и/или ведущих активный образ жизни в мезопических условиях, работающих в условиях с пониженной освещённостью, ночное время наиболее оптимальным способом коррекции миопии и сложного миопического астигматизма является операция SMILE.

Ha проведенной научно-исследовательской работы основании И всех современной офтальмологии совокупности полученных данных, В разработана и предложена концепция персонализированной коррекции АВП при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с применением рефракционной эксимерного И фемтосекундного лазеров В хирургии.

выводы

1. Разработанная компьютерная модель глаза на основе математических конечных элементов с заданными геометрическими и оптическими свойствами позволила оценить изменение упругих свойств роговицы, воспроизвести аберрации высшего порядка на сферической поверхности и получить значения аберраций, влияющих на качество зрения. При моделировании операции LASIK с глубиной абляции 37 мкм и толщиной роговичного лоскута 140 мкм возрастают модули коэффициентов для полиномов Цернике 3-6 порядка с 0,66 мкм до 0,90 мкм.

2. Выполнение режима стандартной и Wavefront-Guided абляции по миопическому алгоритму на экспериментальных линзах не уменьшили величины аберраций высшего порядка. Применение на экспериментальных линзах Wavefront-Guided Selective абляции позволило наблюдать статистически значимое уменьшение горизонтальной комы, вертикальной комы, сферической аберрации. Разница в глубине абляции различных режимов в эксперименте не выявлена.

3. По конечноэлементной модели роговицы глаза установлено, что ее модуль упругости резко возрастает при увеличении внутриглазного давления более 30 мм рт. ст., изгибная жесткость увеличивается от центра к периферии на 1 порядок. Экспериментальное моделирование уменьшения толщины роговицы сопровождается увеличением изгибных напряжений в центре на 25% и увеличением в 2 раза сжимающего напряжения на периферии роговицы. После операции FemtoLASIK уменьшение толщины роговицы в центре на 120-150 мкм в результате абляции и формирования лоскута не приводит к напряженному состоянию роговицы и потере прочности.

4. При использовании с целью коррекции миопии и сложного миопического астигматизма неселективных неперсонализированного и персонализированных методов лечения повышение остроты зрения выявлено во всех группах пациентов (p<0,05), наиболее высокий функциональный результат получен в группах

пациентов с поверхностным воздействием на роговицу (Wavefront-Guided Epi-LASIK) и удалением роговичного лентикула (SMILE); при использовании селективных персонализированных методов лечения - в группе пациентов с LASIK с коррекцией сферической аберрации (p<0,05).

5. На основании сравнительного анализа данных оптической когерентной томографии установлено, что в результате использования фемтосекундного лазера при Wavefront-guided FemtoLASIK, в отличие от использования механического микрокератома при интрастромальном персонализированном неселективном воздействии на роговицу Wavefront-Guided LASIK, формируется роговичный лоскут с точно заданными параметрами, равномерный по толщине в симметричных точках исследуемых меридианов (225° - 45°) и (270° - 90°) (p<0,05).

6. При коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с использованием неселективных персонализированных способов лазерной абляции аберрации высшего порядка увеличиваются больше, чем при использовании фемтосекундной лазерной хирургии (p<0,05) - топографический LASIK и Wavefront-Guided LASIK более значительно индуцируют сферическую аберрацию Z(4;0) и горизонтальную кому Z(3;1), чем Wavefront-guided FemtoLASIK, FLEx и SMILE; SMILE минимально индуцирует сферическую аберрацию Z(4;0) и максимально снижает величину вторичного астигматизма Z(4;2) (p<0,05).

7. Использование операции Wavefront-Guided Selective LASIK при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма обеспечивает самые низкие значения индуцирования аберраций высшего порядка трефойл $(Z(3;3)=0,15\pm0,24)$ квадрафойл $(Z(4;4)=0,07\pm0,13)$, вторичный астигматизм $(Z(4;2) 0,01\pm0,02)$, комы $(Z(3;1) 0,06\pm0,18)$ за счёт отсутствия взаимного влияния АВП в персонализированном файле абляции, равномерного распределения лазерного воздействия по строме роговицы.

8. Предлагаемый метод комбинации миопического и гиперметропического профилей абляций (LASIK с коррекцией сферической аберрации) в коррекции миопии и сложного миопического астигматизма с дополнительным лазерным воздействием на периферию роговицы устраняет индуцирование сферической

аберрации, что обеспечивает высокую остроту зрения и увеличивает контрастную чувствительность пространственной контрастной чувствительности 3 цикл/градус (6,14±0,53), 6 цикл/градус (6,43±0,41), 12 цикл/градус (6,14±0,34), 18 цикл/градус (6,43±0,11) вследствие кератотопографически равномерной поверхности роговицы.

9. Разработанная система выбора метода коррекции аберраций высшего порядка основана на дифференцированном подходе к назначению разных видов кераторефракционной лазерной операции в зависимости от дооперационного значения аберраций высшего порядка, исходных параметров роговицы и степени рефракционного нарушения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Пациентам с миопией и сложным миопическим астигматизмом с центральной толщиной роговицы менее 500 мкм может быть рекомендована операция Epi-LASIK.

2. Операция FemtoLASIK, обладающая предсказуемостью и равномерностью сформированного роговичного лоскута, является операцией выбора при лечении миопии высокой степени и сложного миопического астигматизма.

3. Алгоритм топографической абляции роговицы, обладающий меньшим объемом удаления роговичной ткани для достижения рефракционного эффекта предпочтителен при высокой степени миопии для снижения риска послеоперационной эктазии.

4. При выявлении Z(3) ... Z(4)>0,1375 мкм по данным аберрометрии для отдельных видов АВП при коррекции миопии и сложного миопического астигматизма рекомендовано использовать Wavefront-Guided Selective алгоритм абляции роговицы с целью улучшения контрастной чувствительности после операции.

5. При выявлении положительной сферической аберрации по нотации Malacara рекомендовано использование стандартного алгоритма абляции роговицы для приведения сферической аберрации близкой к 0 мкм в послеоперационном периоде.

6. При выявлении сферической аберрации по нотации Malacara близкой к 0 мкм, с целью предотвращения индуцирования сферической аберрации целесообразно выбрать фемтосекундные экстракции роговичного лентикула – операцию FLEx, при риске смещения роговичного лоскута (контактные виды спорта, профессии с высоким риском глазного травматизма) - операцию SMILE.

7. При выявлении отрицательной сферической аберрации по нотации Malacara следует применить разработанную комбинацию миопического и гиперметропического профилей абляции в коррекции миопии для устранения индуцирования сферической аберрации, возникающее вследствие биомеханических изменений роговицы, что увеличивает контрастную чувствительность после операции LASIK.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АВП аберрации высшего порядка
- ВГД внутриглазное давление
- ВФ волновой фронт
- КОЗ корригированная острота зрения
- КЧ контрастная чувствительность
- НКОЗ некорригированная острота зрения
- ОКТ оптическая когерентная томография
- СА сферическая аберрация
- ФРК фоторефракционная кератэктомия
- ФС-лазер фемтосекундный лазер
- ЭЛ эксимерный лазер
- D диоптрия
- Epi-LASIK (Epipolis laser in-situ keratomileusis) поверхностный лазерный кератомилёз
- FemtoLASIK лазерный кератомилёз in situ с использованием
- фемтосекундного лазера для формирования роговичного лоскута
- FLEx (Femtosecond Lenticule Extraction) фемтосекундная экстракция лентикула
- LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis) лазерный кератомилёз in situ
- RMS (Root Mean Square) усреднённый показатель степени деформации фронтовой волны
- RMS HO (Root Mean Square High Order Aberrations) усреднённый
- показатель степени деформации фронтовой волны аберраций высшего порядка
- SMILE (Small Incision Lenticule Extraction) фемтосекундная экстракция лентикула через малый разрез

WFG (Wave Front Guided) – коррекция предоперационных аберраций высшего порядка волнового фронта

WFGS (Wave Front Guided Selective) – селективная коррекция предоперационной аберрации высшего порядка волнового фронта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов, С.Э. Кераторефракционная хирургия / С.Э.Аветисов, В.Р.Мамиконян. - Москва: ИПО " Полигран", 1993.-120с.

2. Аветисов, С.Э. Критерии оценки результатов кераторефракционных операций / Аветисов С.Э., Першин К.Б. // Офтальмохирургия и терапия. - 2002. - Т.1. - С.12-16.

3. Аветисов, С.Э. Современные подходы к коррекции рефракционных нарушений / С.Э.Аветисов // Вестник офтальмологии. - 2006. - №1. - С.3-8.

4. Аветисов, С. Э. О показаниях к проведению оптимизированной рефракционной кератоабляции. Сообщение 1. Зависимость от степени миопии и исходных аберраций высших порядков / С.Э.Аветисов, А.А.Карамян, Е.В.Суханова // Вестник офтальмологии. - 2007. - №5. - С.3-5.

5. Аветисов, Э.С. Офтальмоэргономика / Э.С.Аветисов, Ю.З. Розенблюм. - Москва: Медицина, - 1976. - 159 с.

6. Аветисов, Э.С. Близорукость / Э.С.Аветисов. – Москва: Медицина, 1986. – 239 с.

7. Агарвал, А. Аберропия. Новое поколение в рефракции / А.Агарвал, М.Агарвал // Офтальмология. - 2004. – Т. 2. - С.26-32.

Азербаев, Т.Э. Комплексная оценка отдаленных результатов хирургической коррекции близорукости методами ФРК и ЛАСИК: автореф. дис.
канд. мед. наук: 14.00.08 / Азербаев Тамерлан Эрколиевич. – М., 2003. - 26 с.

9. Алиев, А.-Г.Д. Аберрации оптической системы глаза человека: клиническая классификация и роль в современной офтальмохирургии / А.-Г.Д.Алиев, М.И.Исмаилов // Проблемы офтальмологии. - 2004. - № 2. - С.7-10.

10. Анисимов, С.И. LASIK для коррекции остаточной миопии и астигматизма после имплантации факичных ИОЛ / С.И.Анисимов, С.Ю.Анисимова // Фёдоровские чтения - 2002. Научно-практическая конференция по вопросам коррекции аномалий рефракции: Сб. науч.ст. - Москва,2002. - С.22-24.

11. Анкудинова, С.В. Изменения оптической системы глаза после витреоретинальных вмешательств: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Анкудинова Светлана Викторовна. – М., 2012. - 22 с.

12. Антонюк, В.Д. Эксимерная коррекция посттравматических аномалий рефракции по технологии Ласик методом персонализированной абляции на основе данных аберрометрии / В.Д.Антонюк // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2003. - Т.3, № 2. - С.4-9.

13. Антонюк, В.Д. Безаберрационная коррекция высокой миопии на основе мультизональной и персонализированной абляции / В.Д.Антонюк, С.Ю.Щукин // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2003. - Т.3, № 3. - С.6-9.

14. Аубакирова, А.Ж. Частотно-контрастная характеристика зрения при миопии / А.Ж.Аубакирова, К.С.Кенжебаева // Офтальмологический журнал. –
1994. - № 4. - С.208-211.

15. Баграташвили, В.Н. Абляция полиметилметакрилата, индуцированная излучением ArF эксимерного лазера / В.Н. Баграташвили, М.С. Китай, В.Л Попков, В. А. Семчишен // Поверхность. Физика, химия, механика. - 1990. – Том.9, С.101-108.

16. Балашевич Л.И. Оптические аберрации глаза: диагностика и коррекция /
Л.И.Балашевич // Окулист. - 2001. - №6 (22). - С.12-14.

17. Балашевич, Л.И. Первый отечественный опыт применения программной поддержки эксайм-лазерной абляции роговицы (Т.О.S.С.А.) для коррекции аметропий / Л.И.Балашевич, С.П.Головатенко, А.Б.Качанов, С.А.Никулин, А.В.Титов, А.В.Фатов // Материалы Второй Евро-Азиатской конференции по офтальмохирургии. – Екатеринбург, 2001. - С.66-67.

18. Балашевич, Л.И. Рефракционная хирургия / Л.И.Балашевич. - Санкт-Петербург: Издательский дом СПбМАПО, 2002. - 285 с. 19. Балашевич, Л.И. Клиническая корнеотопография и аберрометрия / Л.И.Балашевич, А.Б.Качанов. – Москва: 2008.– 167 с.

20. Балашевич, Л.И. Стандартная и топографически поддержанная операция LASIK при коррекции сложного миопического астигматизма / Л.И.Балашевич, С.А.Никулин, А.В.Титов, С.П.Головатенко // Тезисы докладов IX съезда офтальмологов России. - Москва, 16-18 июня Москва, 2010. - С.83.

21. Баталина, Л.В. Клинико-функциональное исследование динамики состояния органа зрения после проведения ЛАСИК при миопии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Баталина Лариса Владимировна. – М., 2002. - 26 с.

22. Беликова, Е.И. Коррекция пресбиопии мультизональным ЛАСИК с периферической зоной для близи / Е.И.Беликова // Катарактальная и рефракционная хирургия. - 2011. - № 4. - С.18-21.

23. Беляев, В.С. Операции на роговой оболочке и склере / В.С.Беляев. - Москва: Медицина, 1984. - 144 с.

24. Бойко, Э.В. Сравнительная медико-техническая характеристика современных фемтосекундных лазерных систем / Э.В.Бойко, С.А Коскин, М.Д. Пожарицкий // Вестник военно-медицинской академии. - 2010. - Т.2, № 30. - С.220-222.

25. Бубнова, И.А. Методы оценки и клиническое значение биомеханических свойств роговицы (клинико-экспериментальное исследование) / автореф. дис. ... д-ра. мед. наук 14.01.07 / Бубнова Ирина Алексеевна. – М., 2011. - 41 с.

26. Власов, В.В. Введение в доказательную медицину / В.В. Власов. - Москва: Медиа Сфера, 2001. - 392 с.

27. Волков, В.В. Частотно-контрастные характеристики и острота зрения в офтальмологической практике / В.В.Волков, Л.Н.Колесников, Ю.Е.Шелепин // Офтальмохирургия. - 1993. - №3. - С.148-151.

28. Воронин, Г.В. Офтальмоэргономические методы исследования в оценке эффективности рефракционных операций / Г.В.Воронин, А.Х.Кумалагов // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2005. - Т.5, № 3. - С.30-31.

29. Воротникова, Е.К. Результаты лазерной субэпителиальной кератэктомии (ЛАСЕК) / Е.К.Воротникова // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2006. - Т.6. - №2. - С.6-9.

30. Гаджиева, Д.З. Коррекции смешанного и простого миопического астигматизма методом LASIK: дис. канд. мед. наук: 14.00.08 / Гаджиева Динара Закировна. – М., 2003.- 115 с.

31. Дога, А.В. Эксимерлазерная рефракционная микрохирургия на базе сканирующей установки «Микроскан»: автореф. дис. ... д-ра. мед. наук: 14.00.08 / Дога Александр Викторович. – М., 2004.- 271 с.

32. Дога, А.В. Исследование волнового фронта при коррекции аметропий у детей и подростков методом ЛАЗИК / А.В.Дога, Ю.И. Кишкин, Е.Г.Антонова, Н.В. Костюченкова // Детская офтальмология, итоги и перспективы: Сб. науч. работ. - Москва, 2006. - С.206-207.

33. Дога, А.В. Качество зрения после операций ЛАЗИК и ФемтоЛАЗИК / А.В.Дога, Н.В.Майчук, Н.Х.Тахчиди, Е.С.Бранчевская // Кубанский научный медицинский вестник. – 2013. - № 2(137). - С. 28 – 31.

34. Дорри, А.М. Клинико-эргономические характеристики больных с близорукостью после ЛАЗИК: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Дорри Артем Манучерович. – М., 2004.- 28 с.

35. Дутчин, И.В. Анализ качества зрения и причин его снижения при коррекции миопии методами ФРК и LASIK / И.В.Дутчин, В.В.Егоров, Г.П.Смолякова, Е.Л.Сорокин // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сборник. научных статей. – Москва, 2006. - С.53-56.

36. Егорова, Г.Б. Аберрации человеческого глаза, способы их измерения и коррекции / Г.Б.Егорова, Н.В. Бородина, И.А.Бубнова // Клиническая офтальмология. - 2003. - Т.4, №4. - С.30-32.

37. Ивашина, А.И. Острота зрения после радиальной кератотомии и ее связь с размером ретинального изображения / А.И.Ивашина, А.Л.Москвичев // Офтальмологический журнал. - 1985. - №1. - С.21-22.

38. Исмаилов, М.М. Исследование роли аберраций оптической системы глаза в офтальмохирургии: автореф. дис. ... д-ра. мед. наук: 14.00.08 / Исмаилов Муслим Исмаилович. – М., 2003. - 48 с.

39. Карамян, А.А. Экспериментально-клиническое исследование технических вариантов операции кератофакии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Карамян Арам Ашотович. – М., 1986. – 40 с.

40. Карамян, А.А. Сравнительное клиническое исследование стандартного Lasik и оптимизированной кератоабляции ORK "Corwave" (предварительное сообщение) / А.А.Карамян, Е.В.Суханова // Вестник офтальмологии. - 2006. – Т. 122, № 3. - С.6-8.

41. Карамян, А.А., Оценка эффективности асферической эксимерлазерной кератоабляции (предварительное сообщение) / А.А.Карамян, Е.В.Суханова // Вестник офтальмологии. - 2007. - №2. - С.20-22.

42. Качалина Г.Ф. Аберрационный баланс послефоторефрактивных операций: / Г.Ф.Качалина, А.В. Дога // Сборник тезисов на конференции "Современные технологии в диагностике и лечении офтальмопатологии", 10-я: Сборник. тезисов. - 2006. - С.9-11.

43. Качалина, Г.Ф. Сравнительный анализ аберраций после операции ФемтоЛАЗИК эксимерлазерной «МикроСкан-Визум» на установке ПО технологии использованием стандартной И с алгоритма сканирования, оптимизированного по конической константе / Г.Ф.Качалина, Н.В.Майчук, Н.Х.Тахчиди // Кубанский научный медицинский вестник. – 2013. - № 2(137). - С. 31-35.

44. Коллетта, Н.Дж. Коррекция аберраций высшего порядка: значение для врачебной практики / Н.Дж.Коллетта // Современная оптометрия. - 2007 - № 6. - С.37-43.

45. Кишкин, Ю.И. Эффективность применения технологии ФемтоЛАЗИК на установке Фемто-Визум с алгоритмом абляции по Q- константе на эксимерном лазере Микроскан-Визум / Ю.И.Кишкин, Н Х.Тахчиди // Вестник Оренбургского Государственного Университета. - 2013. - № 4(153). - С.137-135.

46. Корниловский, И.М. Новые подходы к диагностике и фоторефрактивной коррекции аберраций при аномалиях рефракции / И.М.Корниловский // Международный съезд офтальмологов по рефракционной и катарактальной хирургии. Тезисы докладов. М. - 2002 - С. 28

47. Корниловский, И.М. Новое направление в коррекции аметропий и оптических аберраций на основе лазериндуцированного рефракционного кератомоделирования / И.М.Корниловский // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2004. – Т. 4, № 1. – С.9-15.

48. Корниловский, И.М. Новый биоптический подход к оценке оптических аберраций и восстановительной коррекции зрения / И.М.Корниловский, А.М.Годжаева // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2006. - Т.6, №1. - С.4-11.

49. Корнюшина, Т.А. Аберрации оптической системы глаза человека и их клиническое значение / Т.А.Корнюшина, Ю.З.Розенблюм // Вестник оптометрии. - 2002.- № 3. - С. 13-20.

50. Коротких, С.А. Влияние модификации метода фоторефракционной хирургии и послеоперационного протокола ведения пациентов на частоту развития осложнений эксимерлазерной коррекции зрения / С.А.Коротких, Д.В.Власов, М.С.Аронскинд, Д.Н.Степичев // Актуальные проблемы офтальмологии: Материалы межрегиональной научной конференции. - Ижевск, 2003. - С.113-115.

51. Костенёв, С.В. Сравнительный анализ анатомо-топографических особенностей роговицы и аберрации после Lasik и Epi-Lasik / С.В.Костенёв, Ю.А.Литасова, В.В.Черных // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2010. - № 12. - С.104-106.

52. Костенёв С.В. Фемтосекундная лазерная хирургия: Принципы и применение в офтальмологии / С.В.Костенёв, В.В.Черных. - Новосибирск: Наука, 2012. - 142 с.

53. Костенёв, С.В. Современная концепция хирургии роговицы на основе использования фемтосекундного лазера: автореф. дис. ... д-ра. мед. наук: 14.01.07 / Костенёв Сергей Владимирович. – М., 2014. - 47 с.

54. Костюченкова, Н.В. Аберрации оптической системы глаза при различных методах коррекции астигматизма у детей и подростков: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Костюченкова Наталья Витальевна. – М., 2008. - 28 с.

55. Кочина, М.Л. Результаты моделирования напряженнодеформированного состояния роговицы глаза с использованием системы инженерного анализа ANSYS / М.Л.Кочина, В.Г.Калиманов // Клиническая информатика и Телемедицина. - 2009. - Т.5, Выпуск 6. - С.26-30.

56. Краснов, М.М. Эксимерный лазер в фоторефракционной кератоэктомии для коррекции миопии и миопического астигматизма / М.М.Краснов, В.В.Куренков, Г.С.Полунин // Вестник офтальмологии. - 1998. - №4. - С.16-18.

57. Кузнецова, Т.С. Прогнозирование рефракционного регресса после эксимер-лазерной коррекции близорукости высокой степени при механической и фемтолазерной технологиях формирования лоскута роговицы: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Кузнецова Татьяна Сергеевна. – М., 2015. - 23 с.

58. Кузнецова, Ю.С. Влияние контактных линз на уровень оптических аберраций и зрительные функции: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Кузнецова Юлия Сергеевна. – М., 2009. - 26 с.

59. Куликова, И.Л. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / И.Л. Куликова Ирина Леонидовна. – М., 2009. - 46 с.

60. Куренков, В.В. Руководство по эксимерлазерной хирургии роговицы / В.В.Куренков. – Москва: издательство РАМН, 2002. – 400 с.

61. Куренков, В.В. Классификация рефракционных операций и принципы оценки их результатов / В.В.Куренков, Г.С.Полунин, Е.В.Смиренная // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2002. – Т.2, №3. - С.40-45.

62. Куперман, А.М. Модель зависимости остроты зрения от освещенности и оптические свойства глаза / А.М.Куперман, В.Д.Глезер // Биофизика. - 1974. - Т.19, №1. - С.158–162.

63. Купцова, О.Н. Кератоаберрометрические критерии оценки контактной коррекции зрения при миопии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Купцова Ольга Николаевна. – М., 2012. - 24 с.

64. Лантух, В.В. Применение УФ эксимерных лазеров в микрохирургии глаза. / В.В.Лантух, М.М.Пятин, И.А.Искаков // Препринт №151-86, Институт теплофизики СО АН СССР. – 1986. - С18.

65. Ларина, Т.Ю. Функциональные результаты и осложнения фоторефракционной кератэктомии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Ларина Татьяна Юрьевна. – М., 2004. - 26 с.

66. Либман, Е.С. Близорукость важная медико-социальная проблема / Е.С.Либман // Актуальные вопросы социально — трудовой реабилитации лиц с высокой близорукостью. - М. - 1978. - С.3-37.

67. Либман, Е.С. Подходы к оценке качества жизни офтальмологических больных / Е.С.Либман, М.Р.Гальперин, Е.Е.Гришина, Н.Ю.Сенкевич // Клиническая офтальмология. - 2002. - Т.3, №3. - С.119-121.

68. Мамиконян, В.Р. Кераторефракционные операции для коррекции высоких аметропий: автореферат дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Мамиконян Вардан Рафаелович. – М., 1991. – 50 с.

69. Манукян, И.В. Комплексная оценка структуры и биомеханических свойств роговицы для выбора оптимального метода эксимерлазерной коррекции миопии и миопического астигматизма: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Манукян Инесса Вартановна. – М., 2009. – 27 с.

70. Медведев, И.Б. Система хирургической коррекции аметропий на основе ламеллярной рефракционной кератопластики: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Медведев Игорь Борисович. – М., 1996. - 47 с.

71. Минаев, Ю.Л. Коррекция волнового фронта для устранения аберраций высших порядков / Ю.Л.Минаев // Вестник оптометрии. - 2008. - № 1. - С.42-48.

72. Мушкова, И.А. Сравнительный анализ офтальмоэргономичесих показателей после операции ФемтоЛАЗИК на установке Фемто-Визум и с помощью фемтосекундного лазера Femto LDV / И.А.Мушкова, Ю.И.Кишкин, Н.Х.Тахчиди // 25 Вестник Оренбургского Государственного Университета. - 2013. - №4(153). - С.181-183.

73. Нероев, В.В. Аберрации волнового фронта и аккомодация при миопии и гиперметропии / В.В.Нероев, Е.П.Тарутта, С.Г.Арутюнян, А.Т.Ханджян, Н.В.Ходжабекян // Вестник офтальмологии. - 2017. – Т. 133, № 2. - С.5-9.

74. Николаенко В.П. Сумеречное зрение, слепимость и контрастная чувствительность при разных способах коррекции миопии / В.П.Николаенко // Офтальмологический журнал. – 1996. - №2. - С.72-75.

75. Овечкин, И.Г. Разработка комплексной системы мероприятий по сохранению профессионального зрения военных авиационных специалистов: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.32 / Овечкин Игорь Геннадьевич. – М., 1997. – 42 с.

76. Овечкин, И.Г. Аберрометрические результаты лазерной коррекции зрения методом фемтоЛАСИК и мех-ЛАСИК / И.Г.Овечкин, В.Н.Трубилин, М.Д.Пожарицкий // Сборник научных трудов Государственного Института усовершенствования врачей МО РФ. — 2010. - Т.ХП, С. 92.

77. Осипов, Г.И. Офтальмоэргономические аспекты стереоскопического зрения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Г.И. Осипов Геннадий Иванович. - М., 1995. - 32 с.

78. Островская, М.А. Зависимость разрешающей способности глаз от аберраций / М.А.Островская // Оптико-механическая промышленность. - 1963. - № 2.- С.10-13.
79. Островская, М.А. Зависимость разрешающей способности глаза от различного сочетания аберраций / М.А.Островская // Оптико-механическая промышленность. - 1966. - № 3. - С.1-7.

80. Пахомова, А.Л. Клинико-эргономические характеристики больных с близорукостью после фоторефрактивной кератэктомии: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Пахомова Анна Леонидовна. – Москва, 2002. - 23 с.

81. Першин, К.Б. Клинико-физиологическое и офтальмоэргономическое обоснование критериев восстановления функционального состояния зрительного анализатора после коррекции близорукости методами ФРК и ЛАСИК: автореферат дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Першин Кирилл Борисович. – М., 2000. – 40 с.

82. Пожарицкий, М.Д. Исследование аберрационного коэффициента роговицы у пациентов с миопией, оперированных по технологии фемтоЛАСИК / М.Д.Пожарицкий, В.Н.Трубилин, А.Ю.Филиппов, Н.П.Чигованина // Материалы научно-практической конференции офтальмологов ФМБА России и УрФО Актуальные проблемы офтальмологии. - 2010. - Екатеринбург, 2010. - С.88-89.

83. Пожарицкий, М.Д. Восстановительная коррекция рефракционных нарушений зрительной системы на основе новой медицинской технологии сочетанного применения фемтосекундного лазерного воздействия и персонализированной абляции: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.07 / М.Д. Пожарицкий Михаил Дмитриевич. – М., 2011. - 47 с.

84. Радж, С. Клинико-эргономические характеристики больных с миопией высокой степени после автоматизированной ламеллярной кератопластики: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Радж Сандип. – М., 2000. - 23 с.

85. Рамазанова, К.А. Коррекция индуцированных аномалий рефракции у пациентов с последствиями проникающих ранений переднего отрезка глаза методом персонализированной интрастромальной кератоабляции: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Рамазанова Камилла Ахмедовна. – М., 2006.- 26 с.

86. Розенблюм, Ю.З. Клиническая аберрометрия глаза / Ю.З.Розенблюм Т.А.Корнюшина //Актуальные вопросы контактной коррекции зрения: Сборник научных трудов. - Москва, 1989. - С.66-70.

87. Рудакова, Т.Е. Особенности эксимер-лазерной коррекции миопии у пациентов с пресбиопией: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Рудакова Татьяна Евгеньевна. – М., 1999. - 22 с.

88. Руднева, М.А. Современные технологии кераторефракционнной хирургии от Carl Zeiss. Эксимерный лазер MEL 80 и фемтосекундный лазер Visumax / М.А.Руднева // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2007. - № 3. - С.15–16.

89. Румянцева, О.А. Клинико-биологические аспекты регенерации роговицы после фоторефракционной кератэктомии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08
/ О.А. Румянцева Ольга Александровна. – М., 2009. - 46 с.

90. Семенов, А. Д. Действие излучения эксимерного лазера на роговицу глаза / А. Д.Семенов, Е.Н.Бейлин, О.А.Плюхова, В.С.Тюрин, М.С.Китай, В.Л.Попков, В.А.Семчишен, А.А.Харизов // Офтальмохирургия. - 1990. - №1. - С.18-23.

91. Семенов, А.Д. Лазеры в оптико-реконструктивной микрохирургии глаза: автореф. дис. д-ра мед. наук: 14.00.08 / Семенов Александр Дмитриевич. – М., 1994. – 46 с.

92. Семенов, А.Д. Этапы развития Российской кераторефракционной хирургии / А.Д.Семенов, А.Л.Пахомова, Н.Х.Тахчиди // Материалы научно-практической конференции офтальмологов с международным участием «Филатовские чтения», посвященная 80-летию тканевой терапии по методу академика В.П.Филатова. – Одесса, 2013, С.298-299.

93. Семчишен, В.А. ЛАСИК (РЭИК) хорошее зрение на всю жизнь? / В.А.Семчишен // Окулист. - 2001. - №6 (22). - С.21.

94. Семчишен В.А. Влияние оптических аберраций, вызванных децентрацией зоны абляции при лазерной коррекции зрения, на остроту зрения /

Семчишен В.А, Мрохин М., Гуревич И., Сайлер Т. // Вестн. офтальмологии. - 2001.-№6.- С. 16-19.

95. Семчишен, В.А. Оптические аберрации человеческого глаза и их коррекция / В.А.Семчишен, М.Мрохен, Т.Сайлер // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2003. – Т.3, №1. - С.5-13.

96. Семчишен, В.А. Особенности аберраций высших порядков при аметропии и эмметропии / В.А.Семчишен, М.Мрохен // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2003. - Т.3, №3, - С.10-12.

97. Семчишен, В.А. От рассеяния до волнового фронта: Оптика заживления / В.А.Семчишен, М.Мрохен // Вестник офтальмологии. – 2004. - № 1. - С.42-44

98. Сенокосов, А.В. Влияние мягких контактных линз асферического дизайна на контрастную чувствительность зрительной системы / А.В.Сенокосов, С.А.Дзодзуашвили, К.А.Васильева // Современная оптометрия. – 2007. - № 5. - С. 10-13:

99. Сергиенко, Н.М. Офтальмологическая оптика / Н.М.Сергиенко. – Москва: Медицина, 1991. – 143 с.

100. Серик, А.Н. Офтальмоэргономическое обоснование эксимер-лазерных рефракционных операций при миопии / автореф. дис. ... канд. мед. наук:14.00.08 / Серик Александр Николаевич. – М., 2009. - 23 с.

101. Смиренная, Е.В. Профилактика и принципы медикаментозной терапии осложнений при интрастромальной лазерной кератоэктомии / автореф. дис. ... дра мед. наук: 14.00.08 / Смиренная Елена Валериевна. – М., 2002. - 46 с.

102. Смотрич, Е.А. Топография роговицы и распределение механических напряжений в ней при различных видах корнеальной хирургии / автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.07 / Смотрич Евгения Александровна. – М., 2014. - 21 с.

103. Суханова, Е.В. Оценка эффективности первичного оптимизированного LASIK / автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Суханова Елена Владимировна. – М., 2007. - 25 с.

104. Тарутта, Е.П. Результаты фоторефракционной кератэктомии и некоторые спорные вопросы кераторефракционной хирургии / Е.П.Тарутта // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2002. - Т.2, № 1. - С.4-11.

105. Тахчиди, Н.Х. Сравнительный анализ восстановления «тонких зрительных функций» после операций ЛАЗИК и ФемтоЛАЗИК» / Н.Х.Тахчиди, Г.Ф.Качалина, Н.В.Майчук, Е.С.Бранчевская // Актуальные проблемы офтальмологии: 7-я Всероссийской научной конференции молодых ученых: сборник научных работ. – Москва, 2012. - С.200–202.

106. Трубилин, В.Н. Сочетанное применение фемто-секундного лазерного воздействия и персонализированной абляции роговицы как новая медицинская технология хирургической коррекции рефракционных нарушений у пациентов, после перенесенной радиальной кератотомии / В.Н.Трубилин, М.Д.Пожарицкий // Офтальмология. - 2009. - Т.6, № 4. - С.4-9.

107. Трубилин, В.Н. Исследование зависимости субъективных результатов эксимер-лазерной коррекции близорукости от предоперационных и интраоперационных факторов / В.Н.Трубилин, С.Ю.Щукин // Катаракгальная и рефракционная хирургия. - 2012. - Т.12, № 1. - С.24-26.

108. Трубилин, В.Н. Исследование качества жизни после эксимерлазерных операций / В.Н.Трубилин, И.Г.Овечкин, М.Д.Пожарицкий, С.Ю.Щукин, А.А.Кожухов, С.И.Абрамов // Современная оптометрия. - 2012. - № 5. - С.38-43.

109. Трубилин, В.Н. Факторы, определяющие субъективные результаты эксимерлазерной коррекции зрения / В.Н.Трубилин, С.Ю.Щукин, М.Д.Пожарицкий // Современная оптометрия. - 2013. - № 1. - С.30-34.

110. Фёдоров, С.Н. Операции кератомилеза и кератофакии / С.Н.Фёдоров,
 В.Д.Захаров // Вестник офтальмологии. - 1971. - № 2. - С.19-24.

111. Фёдоров, С.Н. Математическое моделирование в офтальмологии / С.Н.Фёдоров // Сборник научных статей Московского Научноисследовательского Института микрохирургии глаза. - Москва, 1983. - С.142.

112. Фёдоров, С.Н. Эксимерная офтальмохирургическая установка на длине волны 193 нм и первые клинические результаты ее применения в рефракционной

хирургии / С.Н.Фёдоров, А.Д.Семенов, А.А.Харизов // Лазеры и медицина: Тезисы докладов международной Конференции. - Москва, 1989. – С.104-105.

113. Фёдоров, С.Н. Эксимерлазерный кератомилез in situ / С.Н.Фёдоров, В.К.Зуев, И.Б.Медведев, Д.А.Магарамов // Офтальмохирургия. - 1992. - № 3. - С.15-17.

114. Фёдоров, С.Н. Лазерная рефракционная хирургия / С.Н. Фёдоров, А.Д. Семенов, И.М. Корниловский, А.В. Дога, Г.Ф. Качалина // Тезисы докладов VII съезда офтальмологов России. - Москва, 16-20 мая 2000 г. Москва, 2000. - Ч.1. - С.221-225.

115. Хусаинов, Р.Р. Математическое моделирование нелинейных деформаций роговицы глаза / Р.Р. Хусаинов // Вестник кибернетики. – Тюмень, Изд-во ИПОС СО РАН, 2008. - № 7.

116. Шаденков, Д. А. Выбор пространственной частоты для оценки контрастной чувствительности после фоторефракционных операций / Д. А.Шаденков // Рефракционная хирургия и офтальмология. - 2003. - Т.3, №1. - С.27-29.

117. Шамшинова, А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А.М.Шамшинова, В. В.Волков. - Москва: Медицина, 1998. - 416 с.

118. Шелепин, Ю.Е. Визоконтрастометрия / Ю.Е.Шелепин, Л.Н.Колесникова, Ю.И.Левкович. – Москва: Наука, 1985. – 103 с.

119. Шелудченко, В.М. Некорригированная острота зрения после рефракционных операций / В.М.Шелудченко, Ю.З.Роземблюм // Офтальмохирургия. – 1995. - №5. - С.7-12.

120. Шелудченко, В.М. Разрешающая способность глаза после рефракционных операций: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Шелудченко Вячеслав Михайлович. - Москва, 1996. - 39 с.

121. Шелудченко, В.М. Зрительное разрешение после рефракционных операций с применением кератомилеза и фотоабляции / В.М.Шелудченко // Глаз. - 2005. - С.14-17.

122. Шоттер, Л. Л. О применении эксимерных лазеров в рефракционной роговичной хирургии / Л. Л.Шоттер, Р. П.Тамкиви, Т. И.Клементи // Вестник офтальмологии. - 1987. - Т.103, №5. - С.45-48.

123. Шпак, А.А. Пространственная контрастная чувствительность у пациентов с высокой миопией после рефракционной ламеллярной кератопластики
 / А.А.Шпак, И.Б.Медведев, А.А.Карамян, С.В.Милова // Вестник офтальмольмологии. - 1997. - №1. - С.12-13.

124. Шпак, А.А. Офтальмоэргономические характеристики пациентов с близорукостью после фоторефрактивной кератэктомии / А.А.Шпак, А.В.Дога, А.Л.Пахомова, А.М.Дорри // Офтальмохирургия. - 2002. - №2. - С.11-14.

125. Щукин, С.Ю. Сравнительная оценка различных методов исследования динамики «качества жизни» после эксимерлазерной коррекции близорукости / С.Ю.Щукин // Катарактальная и рефракционная хирургия. - 2013. - Т.13, №1. - С.26-29.

126. Щукин, С.Ю. Разработка комплексной системы мероприятий по повышению функциональных и субъективных результатов эксимерлазерной коррекции близорукости: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.07 / Щукин Станислав Юрьевич. – М., 2013. - 39 с.

127. Эскина, Э.Н. Контрастная чувствительность при различных аномалиях рефракции до и после фоторефракгивной кератэктомии / Э.Н.Эскина, А.М.Шамшмнова, А.Е.Белозеров // РМЖ. Клиническая офтальмология. - 2001. - Т. 2, № 2. - С.51.

128. Эскина, Э.Н. Оценка и прогнозирование результатов фоторефракционной кератэктомии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.08 / Эскина Эрика Наумовна. – М., 2002. - 45 с.

129. Яблоков, М.Г. Аберрометрия и персонализированный М-ЛАСИК при миопии и гиперметропии / М.Г.Яблоков, В.А.Мачехин, М.Г.Колотов // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2005. - Т.5, №1. - С.34-37.

130. Яблоков, М.Г. Результаты исследований волнового фронта на первом отечественном аберрометре «Мультиспот-250» / М.Г.Яблоков, В.А.Мачехин,

А.В.Дога, М.Г.Колотов, С.К.Вартапетов, А.В.Ларичев,Н.Г.Ирошников // Офтальмохирургия. - 2005. - №2. - С.4-8.

131. Adib-Moghaddam S. Single-step transepithelial photorefractive keratectomy in myopia and astigmatism: 18-month follow-up / S.Adib-Moghaddam, S.Soleyman-Jahi, B.Salmanian, A.H.Omidvari, F.Adili-Aghdam, F.Noorizadeh, M.Eslani // J. Cataract Refract Surg. – 2016. – Vol.42, №11. – P.1570-1578.

132. Ağca, A. Comparison of visual acuity and higher-order aberrations after femtosecond lenticule extraction and small-incision lenticule extraction / A.Ağca, A.Demirok, K.İ.Cankaya, D.Yaşa, A.Demircan, Y.Yildirim, A.Ozkaya, O.F.Yilmaz // Cont Lens Anterior Eye. – 2014. – Vol.37, №4. – P.292-296.

133. Ahn, H.S. Changes in spherical aberration after various corneal surface ablation techniques / H.S.Ahn, J.L.Chung, E.K.Kim, K.Y.Seo, T.I.Kim // Korean J Ophthalmol. – 2013.- Vol.27, №2. – P.81-86.

134. Alio, J.L. Laser-assisted in situ keratomileusis in high levels of myopia with the amaris excimer laser using optimized aspherical profiles / J.L.Alio, A.Vega-Estrada, D.P.Piñero // Am J Ophthalmol. -2011. - Vol.152, No6. - P.954-963.

135. Alio, J.L. Laser-assisted in situ keratomileusis in high mixed astigmatism with optimized, fast-repetition and cyclotorsion control excimer laser / J.L.Alio, K.E. Pachkoria, A.Aswad, A.B.Plaza-Puche // Am J Ophthalmol. – 2013. – Vol.155, N_{25} . – P.829-836.

136. Alonso, M .Jr. Digital image processing for pre-compensation of high-order aberrations of the human eye / M .Jr.Alonso, A.Barreto // Biomed Sci Instrum. – 2003. – Vol.39, №. - P.99-104.

137. AlMahmoud, T. Advanced corneal surface ablation efficacy in myopia: changes in higher order aberrations / T.AlMahmoud, R.Munger, W.B.Jackson // Can J Ophthalmol. – 2011. – Vol.46, №2. – P.175-181.

138. Alpins, N. Clinical outcomes of laser in situ keratomileusis using combined topography and refractive wavefront treatments for myopic astigmatism / N.Alpins, G.Stamatelatos // J. Cataract Refract Surg.- 2008.- Vol.28, №8.- P.1250-1259.

139. Al-Sayyari, T.M. Corneal spherical aberration in Saudi population /
T.M.Al-Sayyari, S.M.Fawzy, A.A.Al-Saleh // Saudi J Ophthalmol. – 2014. – Vol.28,
№3. – P.207-213

140. Amano, S. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations / S.Amano, Y.Amano, S.Yamagami, T.Miyai, K.Miyata, T.Samejima, T.Oshika // Am J Ophthalmol. – 2004. – Vol.137, №6. – P.988-992.

141. Ambrósio, R. Jr. LASIK vs LASEK vs PRK: advantages and indications /
R.Jr. Ambrósio, S.Wilson // Semin Ophthalmol. – 2003. – Vol.18, №1. – P.2-10.

142. Amigó, A. Refractive changes induced by spherical aberration in laser correction procedures: an adaptive optics study / A.Amigó, P.Martinez-Sorribes, M.Recuerda // J Refract Surg. – 2017. – Vol.33, №7. –P.470-474.

143. Ang, R.E. Efficacy of an aspheric treatment algorithm in decreasing induced spherical aberration after laser in situ keratomileusis / R.E.Ang, W.K.Chan, T.L.Wee, H.M.Lee, P.Bunnapradist, I.Cox // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №8. – P.1348-1357.

144. Ang, R.E. Wavefront-guided epithelial laser in situ keratomileusis with mitomycin-C for myopia and myopic astigmatism: flap-on versus flap-off technique / R.E.Ang, K.B.Reyes, J.A.Hernandez, H.Tchah // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №6. – P.1133-1139.

145. Applegate, R.A. Corneal first surface optical aberrations and visual performance / R.A.Applegate, G.Hilmantel, H.C.Howland, E.Y.Tu, T.Starck, E.J.Zayac // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. – P.507-514.

146. Applegate, R.A. Optics of aberroscopy and super vision / R.A.Applegate, L.N.Thibos, G.Hilmantel // J Cataract Refract Surg. – 2001. – Vol.27, №7. – P.1093-1107.

147. Applegate, R.A. Are all aberrations equal? / R.A.Applegate, E.J.Sarver, V.Khemsara // J Refract Surg. – 2002. – Vol.18, №5. – P.556-562.

148. Applegate, R.A. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance / R.A.Applegate, J.D.Marsack, R.Ramos, E.J.Sarver // J Cataract Refract Surg. 2003. – Vol.29, №8. – P.1487-1495.

149. Applegate, R.A. Three- dimensional relationship between highorder root-mean-square wavefront error, pupil diameter, and aging / R.A.Applegate, W.J.Donnelly, J.D.Marsack, D.E.Koenig, K.Pesudovs // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2007. – Vol.24, №3. - P.578-87.

150. Applegate, R.A. Importance of fixation, pupil center, and reference axis in ocular wavefront sensing, videokeratography, and retinal image quality / R.A.Applegate, L.N.Thibos, M.D.Twa, E.J. Sarver // J Cataract Refract Surg. 2009. – Vol.35, №1. – P.139-152.

151. Applegate, R.A. Noise in wavefront error measurement from pupil center location uncertainty / R.A.Applegate, J.D.Marsack, E.J. Sarver // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №10. –P.796-802.

152. Arba-Mosquera, S. Analysis of optimized profiles for 'aberration-free' refractive surgery / Arba-Mosquera S., de Ortueta D. // Ophthalmic Physiol Opt. – 2009.
Vol.29, №5. – P.535-548.

153. Arba Mosquera, S. Correlation among ocular spherical aberration, corneal spherical aberration, and corneal asphericity before and after LASIK for myopic astigmatism with the SCHWIND AMARIS platform / S.Arba Mosquera, D. de Ortueta // J Refract Surg. – 2011. - Vol.27, №6. - P.434–443.

154. Arba Mosquera, S. Three-month clinical outcomes with static and dynamic cyclotorsion correction using the SCHWIND AMARIS / S.Arba-Mosquera, M.C.Arbelaez // Cornea. – 2011. – Vol.30, №9. – P.951-957.

155. Arbelaez, M.C. Clinical outcomes of corneal vertex versus central pupil references with aberration-free ablation strategies and LASIK / Arbelaez M.C., Vidal C., Arba-Mosquera S. // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2008. – Vol.49, №12. – P.5287-5294.

156. Arbelaez, M.C. LASIK for myopia with Aspheric "aberration neutral" ablations using the ESIRIS laser system / M.C.Arbelaez, C.Vidal, B.A.Jabri, S.Arba Mosquera // J Refract Surg. – 2009. – Vol.25, №11. – P.991-999.

157. Arbelaez, M.C. Clinical outcomes of LASIK for myopia using the SCHWIND platform with ocular wavefront customized ablation / M.C.Arbelaez, C.Vidal, S.Arba Mosquera // J Refract Surg. – 2009. – Vol.25, №12. – P.1083-1090.

158. Arbelaez, M.C. LASIK for myopia and astigmatism using the SCHWIND AMARIS excimer laser: an international multicenter trial / M.C.Arbelaez, I.M.Aslanides, C.Barraquer, F.Carones, A.Feuermannova, T.Neuhann, P.Rozsival // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №2. – P.88-98.

159. Arines, J. The contribution of the fixational eye movements to the variability of the measured ocular aberration / J.Arines, E.Pailos, P.Prado, S.Bará // Ophthalmic Physiol Opt. 2009. – Vol.29, №3. – P.281-287.

160. Arora, R. Refractive outcome of wavefront guided laser in situ keratomileusis and wavefront guided photorefractive keratectomy in high pre-existing higher order aberration / R.Arora, Y.Goel, J.L.Goyal, G.Goyal, A.Garg, P.Jain // Cont Lens Anterior Eye. – 2015. – Vol.38, №2. – P.127-133.

161. Artal, P. Phase-transfer function of the human eye and its influence on pointspread function and wave aberration / P.Artal, J.Santamaría, J.Bescós // J Opt Soc Am A. – 1988. – Vol.5, №10. – P.1791-1795.

162. Artal, P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age / P.Artal, E.Berrio, A.Guirao, P.Piers // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. - 2002. – Vol.19, №1. – P.137-143.

163. Artal, P. Adaptive optics for vision: the eye's adaptation to point spread function / P.Artal, L.Chen, E.J.Fernández, B.Singer, S.Manzanera, D.R.Williams // J Refract Surg. - 2003. – Vol.19, №5. – P.585-587.

164. Artola, A. Evidence for delayed presbyopia after photorefractive keratectomy for myopia / A.Artola, S.Patel, P.Schimchak, M.J.Ayala, J.M.Ruiz-Moreno, J.L.Alió //Ophthalmology. – 2006. – Vol.113, №5. – P.735-741.

165. Atchison, D.A. Influence of Stiles-Crawford effect apodization on spatial visual performance / D.A.Atchison, A.Joblin, G.Smith // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1998. – Vol.15, №9. – P.2545-2551.

166. Atchison, D.A. Predicting the effects of optical defocus on human contrast sensitivity / D.A.Atchison, R.L.Woods, A.Bradley // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. -1998. – Vol.15, №9. – P.2536-2544.

167. Atchison, D.A. The Stiles-Crawford effect and subjective measurement of aberrations / D.A.Atchison, D.H.Scott // Vision Res. – 2002. – Vol.42, №9. – P.1089-1102.

168. Atchison, D.A. Anterior corneal and internal contributions to peripheral aberrations of human eyes / D.A.Atchison // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2004. – Vol.21, №3. – P.355-359.

169. Atchison, D.A. Optical models for human myopic eyes / D.A.Atchison // Vision Res. – 2006. – Vol.,46№14. – P.2236-2250.

170. Atchison, D.A. The Glenn A. Fry Award Lecture 2011: Peripheral optics of the human eye / D.A. Atchison // Optom Vis Sci. – 2012. – Vol.89, №7. – P.954-966.

171. Atchison, D.A. Effects of pupil center shift on ocular aberrations / D.A.Atchison, A.Mathur // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2014. - Vol.55, №9. – P.5862-5870.

172. Athaide, H.V. Study of ocular aberrations with age / H.V.Athaide, M.Campos, C.Costa // Arq Bras Oftalmol. – 2009. – Vol.72, №5. – P.617-621.

173. Au, J.D. Optimized femto-LASIK maintains preexisting spherical aberration independent of refractive error / J.D.Au, R.R.Krueger // J Refract Surg. – 2012. – Vol.28, №11. – P.821-825.

174. Autrusseau, F. Chromatic and wavefront aberrations: L-, M- and S-cone stimulation with typical and extreme retinal image quality / F.Autrusseau, L.Thibos, S.K. Shevell // Vision Res. – 2011. – Vol.51, №21-22. – P.2282-2294.

175. Awwad, S.T. Comparative higher-order aberration measurement of the LADARWave and Visx WaveScan aberrometers at varying pupil sizes and after pharmacologic dilation and cycloplegia / S.T.Awwad, M.El-Kateb, J.P. McCulley // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №2. – P.203-214.

176. Bahar, I., Wavefront-guided LASIK for myopia with the Technolas 217z: results at 3 years / I.Bahar, S.Levinger, I.Kremer // J Refract Surg. – 2007. – Vol.23, №6. – P.586-590.

177. Barreiro, T.P. Wavefront-guided Lasik for low to moderate myopia: CustomCornea versus Zyoptix / T.P.Barreiro, S.Forseto Ados, L.F.Pinto, C.M.Francesconi, W.Nosé // Arq Bras Oftalmol. – 2009. – Vol.72, №4. – P.519-525.

178. Bedggood, P. Comparison of sorting algorithms to increase the range of Hartmann-Shack aberrometry / P.Bedggood, A.Metha // J Biomed Opt. – 2010. – Vol.15, №6. – P.4-11.

179. Benard, Y. Optimizing the subjective depth-of-focus with combinations of fourth- and sixth-order spherical aberration / Y.Benard, N.Lopez-Gil, R.Legras // Vision Res. – 2011. - Vol.8, №51. – P.2471-2477.

180. Benito, A. Laser in situ keratomileusis disrupts the aberration compensation mechanism of the human eye / A.Benito, M.Redondo, P.Artal // Am J Ophthalmol. – 2009. – Vol.147, №3, P.424-431.

181. Benito, A. Temporal evolution of ocular aberrations following laser in situ keratomileusis / A.Benito, M.Redondo, P.Artal // Ophthalmic Physiol Opt. – 2011. -Vol.31, №4. – P.421-428.

182. Biebesheimer, J.B. Development of an advanced nomogram for myopic astigmatic wavefront-guided laser in situ keratomileusis (LASIK) / J.B.Biebesheimer, T.S.Kang, C.Y.Huang, F.Yu, D.R.Hamilton // Ophthalmic Surg Lasers Imaging. – 2011.
Vol.42, №3. – P.241-247.

183. Bille, J.F. Aberration-free refractive surgery: new frontiers in vision / J.F.Bille, C.F.H.Harner, F.H.Loesel // Springer-Verlag, - 2004. - P.52-60.

184. Bisneto, O.S. Relationship between high-order aberrations and age and between high-order aberrations and refraction errors / O.S.Bisneto, E.R.Temporini, C.E.Arieta, H.Moreira //Arq Bras Oftalmol. – 2007. – Vol.70, №2. – P.290-297.

185. Blum, M. Femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: preliminary 6-month results / M.Blum, K. Kunert, M.Schroder, W.Sekundo // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. - 2010. - Vol.248, №7. - P.1019–1027.

186. Bohac, M. Comparison of Wavelight Allegretto Eye-Q and Schwind Amaris 750S excimer laser in treatment of high astigmatism / M.Bohac, A.Biscevic, M.Koncarevic, M.Anticic, N.Gabric, S.Patel // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2014. – Vol.252, №10. – P.1679-1686.

187. Bottos, K.M. Corneal asphericity and spherical aberration after refractive surgery / K.M.Bottos, M.T.Leite, M.Aventura-Isidro, J.Bernabe-Ko, N.Wongpitoonpiya, N.H.Ong-Camara, T.L.Purcell, D.J.Schanzlin // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №6. – P.1109-1115.

188. Bour, L.J. Selective broad-band spatial frequency loss in contrast sensitivity functions. Comparison with a model based on optical transfer functions / L.J.Bour, P.Apkarian // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 1996. – Vol.37, №12. – P.2475-2484.

189. Bryant, M.R. Constitutive laws for biomechanical modeling of refractive surgery / M.R.Bryant, P.J.McDonnell // J. Biomech. Eng. – 1996. – Vol.118, №4. - P.473-481.

190. Bueeler, M. Maximum permissible lateral decentration in aberration-sensing and wavefront-guided corneal ablation / M.Bueeler, M.Mrochen, T.Seiler // J Cataract Refract Surg. – 2003. - Vol29, №2. – P.257-263.

191. Buehren, T. Potential higher-order aberration cues for sphero-cylindrical refractive error development / T.Buehren, D.R.Iskander, M.J.Collins, B. Davis // Optom Vis Sci. – 2007. – Vol.84, №3. – P.163-174.

192. Bühren, J. Influence of pupil and optical zone diameter on higher-order aberrations after wavefront-guided myopic LASIK / J.Bühren, C.Kühne, T.Kohnen // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, №12. – P.2272-2280.

193. Bühren, J. Factors affecting the change in lower-order and higher-order aberrations after wavefront-guided laser in situ keratomileusis for myopia with the Zyoptix 3.1 system / J.Bühren, T.Kohnen // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, $N_{2}7. - P.1166-1174.$

194. Bühren, J. The effect of optical zone decentration on lower- and higher-order aberrations after photorefractive keratectomy in a cat model / J.Bühren, G.Yoon,

S.Kenner, S.MacRae, K. Huxlin // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2007. - Vol.48, №12. –P.5806-5814.

195. Bühren, J. Comparison of optical quality metrics to predict subjective quality of vision after laser in situ keratomileusis / J.Bühren, K.Pesudovs, T.Martin, A.Strenger, G.Yoon, T.Kohnen // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №5. – P.846-855.

196. Bühren, J. The effect of the asphericity of myopic laser ablation profiles on the induction of wavefront aberrations / J.Bühren, L.Nagy, G.Yoon, S.MacRae, T.Kohnen, K.R.Huxlin // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2010. – Vol.51, №5. – P.2805-2812.

197. Burakgazi, A.Z. Higher order aberrations in normal eyes measured with three different aberrometers / A.Z.Burakgazi, B.Tinio, A.Bababyan, K.K.Niksarli, P.Asbell // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №9. – P.898-903.

198. Buratto, L. Eximer laser intrastromal keratomileusis / L.Buratto, M.Ferrati, P.Rama // Am J Ophthalmol. - 1992. - Vol.113. - №3. - P.291–295.

199. Buzard, K.A. Introduction to biomechanics of the cornea / K.A.Buzard // Refract. Corneal Surg. – 1992. – Vol.8, №2. - P.127-138.

200. Buzzonetti, L. Comparison of wavefront aberration changes in the anterior corneal surface after laser-assisted subepithelial keratectomy and laser in situ keratomileusis: preliminary study / L.Buzzonetti, G.Iarossi, P.Valente, M.Volpi, G.Petrocelli, L.Scullica // J Cataract Refract Surg. – 2004. – Vol.30, №9. – P.1929-1933.

201. Buzzonetti, L. Comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis performed with mechanical microkeratome and IntraLase femtosecond laser: 1-year follow-up / L.Buzzonetti, G.Petrocelli, P.Valente, C.Tamburrelli, L.Mosca, A.Laborante, E.Balestrazzi // Cornea. – 2008. – Vol.27, №2. – P.174-179.

202. Cade, F. Analysis of four aberrometers for evaluating lower and higher order aberrations / F.Cade, A.Cruzat, E.I.Paschalis, L.Espírito Santo, R.Pineda // PLoS One. – 2013. – Vol.8, №1. – P.1-7. 203. Cakmak, H.B. Refractive error may influence mesopic pupil size / H.B.Cakmak, N.Cagil, H.Simavli, B.Duzen, S.Simsek // Curr Eye Res. – 2010. – Vol.35, №2. – P.130-136.

204. Calossi, A. Corneal asphericity and spherical aberration / A.Calossi // J Refract Surg. – 2007. – Vol.23, №5. – P.505-514.

205. Calvo, R. Corneal aberrations and visual acuity after laser in situ keratomileusis: femtosecond laser versus mechanical microkeratome / R.Calvo, J.W.McLaren, D.O.Hodge, W.M.Bourne, S.V.Patel // Am J Ophthalmol. – 2010. – Vol.149, №5. – P.785-793.

206. Camellin, M. LASEK may offer the advantages of both LASIK and PRK / M.Camellin // Ocular Surg News. – 1999. – №3. – Р.1.

207. Campbell, M.C. Effect of monochromatic aberrations on photorefractive patterns / M.C.Campbell, W.R.Bobier, A.Roorda // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1995. – Vol.12, №8. – P.1637-1646.

208. Cano, D. Comparison of real and computer-simulated outcomes of LASIK refractive surgery / D.Cano, S.Barbero, S.Marcos // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2004. - Vol.21, №6. – P.926-936.

209. Canovas, C. Customized eye models for determining optimized intraocular lenses power / C.Canovas, P.Artal // Biomed Opt Express. – 2011. – Vol.2, №6. – P.1649-1662.

210. Canovas, C. Effect of corneal aberrations on intraocular lens power calculations / C.Canovas, S.Abenza, E.Alcon, E.A.Villegas, J.M.Marin, P.Artal // J Cataract Refract Surg. - 2012 Aug;38(No8):1325-32.

211. Cantú, R. Whole eye wavefront aberrations in Mexican male subjects / R.Cantú, M.A.Rosales, E.Tepichín, A.Curioca, V.Montes, J. Bonilla // J Refract Surg.- 2004.- Vol.20, №5.- P.685-688.

212. Carkeet, A. Higher order ocular aberrations after cycloplegic and noncycloplegic pupil dilation / A.Carkeet, S.Velaedan, Y.K.Tan, D.Y.Lee, D.T. Tan // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №3. – P.316-622. 213. Carvalho, L.A. Measuring higher order optical aberrations of the human eye: techniques and applications / L.A.Carvalho, J.C.Castro, L.A.Carvalho // Braz J Med Biol Res. – 2002. – Vol.35, №11. – P.1395-1406.

214. Castejón-Mochón, J.F. Ocular wave-front aberration statistics in a normal young population / J.F.Castejón-Mochón, N.López-Gil, A. Benito, P. Artal. // Vision Res. – 2002.- Vol.42, №13.- P.1611-1617.

215. Cermáková, S. Corneal higher order aberrations and their changes with aging / S.Cermáková, S.Skorkovská // Cesk Slov Oftalmol. – 2010. – Vol.66, №6. – P.254-257.

216. Cervino, A. Operator-induced errors in Hartmann-Shack wavefront sensing: model eye study / A.Cervino, S.L.Hosking, M.C.Dunne // J Cataract Refract Surg. -2007. – Vol.33, №1. – P.115-121

217. Chakraborty, R. Diurnal variations in ocular aberrations of human eyes / R.Chakraborty, S.A.Read, M.J.Collins // Curr Eye Res. – 2014. – Vol.39, №3. – P.271-281.

218. Chalita, M.R. Correlation of aberrations with visual symptoms using wavefront analysis in eyes after laser in situ keratomileusis / Chalita M.R., Xu M., Krueger R.R. // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №6. – P.682-686.

219. Chalita, M.R. Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography / M.R.Chalita, S.Chavala, M.Xu, R.R.Krueger // Ophthalmology. – 2004. – Vol.111, №3. – P.447-453.

220. Chalita, M.R. LADARWave wavefront measurement in normal eyes / M.R.Chalita, J.Finkenthal, M.Xu, R.R.Krueger // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20 №2. – P.132-138.

221. Chalita, M.R. Correlation of aberrations with visual acuity and symptoms / M.R.Chalita, R.R.Krueger // Ophthalmol Clin North Am. – 2004. – Vol.17, №2. – P.135-142.

222. Chan, C.C. A comparison of CustomCornea myopia algorithms for wavefront-guided laser in situ keratomileusis / C.C.Chan, B.S. Boxer Wachler // Arch Ophthalmol. – 2008. – Vol.126, №8. – P.1067-1070.

223. Charman, W.N. The refraction of the eye in the relation to spherical aberration and pupil size / W.N.Charman, J.A.Jennings, H.Whitefoot // Br J Physiol Opt. – 1978. –Vol.32. – P.78-93.

224. Charman, W.N. The prospects for super-acuity: limits to visual performance after correction of monochromatic ocular aberration / W.N.Charman, N.Chateau // Ophthalmic Physiol Opt. – 2003. – Vol.23, №6. – P.479-493.

225. Charman, W.N. Theoretical effect of changes in entrance pupil magnification on wavefront-guided laser refractive corneal surgery / W.N.Charman, D.A. Atchison // J Refract Surg. – 2005. – Vol.21, №4. – P.386-391.

226. Chen, L. Comparison of wavefront aberrations in rabbit and human eyes /
L.Chen, L.C.Huang, B.Gray, D.A.Chernyak // Clin Exp Optom. – 2014. – Vol.97, №6.
– P.534-539.

227. Chen, X. Agreement measurement of ocular wavefront aberrations with three different aberrometers / X.Chen, Y.Lu, J.H.Dai, L.Wang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2009. – Vol.45, №4. – P.332-337.

228. Chen, X. Comparison of ocular higher-order aberrations after SMILE and Wavefront-guided Femtosecond LASIK for myopia / X.Chen, Y.Wang, J.Zhang, S.N.Yang, X.Li, L.Zhang // BMC Ophthalmol. – 2017. – Vol.42, №1. - P.1-8.

229. Cheng, S.M. Topography-Guided Versus Wavefront-Optimized LASIK for Myopia With and Without Astigmatism: A Meta-analysis. / S.M.Cheng, R.X.Tu, X.Li, J.S.Zhang, Z.Tian, Z.W. Zha, K.W. Ruan, A.Y.Yu. // J Refract Surg. – 2021 Vol. 37, №10. - P.707-714.

230. Cheng, X. Validation of a clinical Shack-Hartmann aberrometer / X.Cheng, N.L.Himebaugh, P.S.Kollbaum, L.N.Thibos, A.Bradley // Optom Vis Sci. – 2003. – Vol.80, №8. – P.587-595.

231. Cheng, X. Visual impact of Zernike and Seidel forms of monochromatic aberrations / X.Cheng, A.Bradley, S.Ravikumar, L.N. Thibos // Optom Vis Sci. – 2010. – Vol.87, №5. – P.300-312.

232. Cheng, Z.Y. Effect of flap thickness on higher order wavefront aberrations induced by LASIK: a bilateral study / Z.Y.Cheng, J.C.He, X.T.Zhou, R.Y.Chu // J Refract Surg. – 2008. – Vol.24, №5. – P.524-529.

233. Chung, S.H. Comparison of higher-order aberrations after wavefront-guided laser in situ keratomileusis and laser-assisted subepithelial keratectomy / S.H.Chung, I.S.Lee, Y.G.Lee, H.K. Lee, E.K.Kim, G.Yoon, K.Y. Seo // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №5. – P.779-784.

234. Coe, C. Polychromatic refractive error from monochromatic wavefront aberrometry / C.Coe, A.Bradley, L.Thibos // Optom Vis Sci. – 2014. – Vol.91, №10. – P.1167-1174.

235. Dai J. One-year outcomes of epi-LASIK for myopia / J.Dai, R.Chu, X.Zhou, C.Chen, X.Qu, X.Wang // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №6. – P.589-595.

236. Dietze, H.H. Correcting ocular spherical aberration with soft contact lenses / H.H.Dietze, M.J.Cox // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2004. – Vol.21, №4. – P.473-485.

237. De Brabander, J. Contrast sensitivity with soft contact lenses compensated for spherical aberration in high ametropia / J.De Brabander, N.Chateau, F.Bouchard, S.Guidollet // Optom Vis Sci. – 1998. – Vol.75, №1. – P.37-43.

238. Denoyer, A. Tear film aberration dynamics and vision-related quality of life in patients with dry eye disease / A.Denoyer, G.Rabut, C.Baudouin // Ophthalmology. – 2012. – Vol.119, №9. – P.1811-1818.

239. Dobos, M.J. An evaluation of the Bausch & Lomb Zywave aberrometer / M.J.Dobos, M.D.Twa, M.A.Bullimore // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.238-245.

240. Dorronsoro, C. Experimental evaluation of optimized ablation patterns for laser refractive surgery / C.Dorronsoro, L.Remon, J.Merayo-Lloves, S.Marcos // Opt Express. – 2009. – Vol.17, №17. – P.15292-15307.

241. Doshi, J.B. Schematic eye models for simulation of patient visual performance / J.B.Doshi, E.J.Sarver, R.A.Applegate // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №4. – P.414-419.

242. Dougherty, P.J. Topographically guided laser in situ keratomileusis for myopia using a customized aspherical treatment zone / P.J.Dougherty, G.Waring, A.Chayet, J.Fischer, B.Fant, H.S.Bains // J. Cataract Refract. Surg. - 2008.- Vol. 34, №11.- P. 1862-1871.

243. Drum, B.A. Aberration analyses needed for FDA evaluation of safety and effectiveness of wavefront-guided refractive surgical devices / B.A.Drum // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №5. – P.588-591.

244. Dubbelman, M. The contribution of the posterior surface to the coma aberration of the human cornea / M.Dubbelman, V.A.Sicam, R.G.van der Heijde // J Vis. – 2007. – Vol.30, №7. – P.1-8.

245. Durrie, D.S. Femtosecond laser versus mechanical keratome flap in wavefront-guided in laser in situ keratomileusis: prospective contralateral eye study / D.S.Durrie, G.M.Kezirian // J Refract Surg. - 2005. - Vol.31, P.120–126.

246. El-Danasoury, A. Optimized prolate corneal ablation: case report of the first treated eye. / A.El-Danasoury, H.Bains // J Refract Surg. - 2005. - Vol.21, - P.598-602.

247. Einighammer, J. Real ray tracing simulation versus clinical outcomes of corneal excimer laser surface ablations / J.Einighammer, T.Oltrup, Bende T., B.Jean // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №9. – P.625-637.

248. Fam, H.B. Effect of higher-order wavefront aberrations on binocular summation / H.B.Fam, K.L.Lim // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №5. – P.570-575.

249. Fang, L. Influence of Stiles-Crawford effect on visual performance after laser in situ keratomileusis / L.Fang, Y.Wang, F.Chen // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2012. – Vol.29, №8. – P.1482-1488.

250. Faria-Correia, F. Outcomes Comparison Between Wavefront-Optimized and Topography-Guided PRK in Contralateral Eyes With Myopia and Myopic Astigmatism / F.Faria-Correia, S.Ribeiro, B.T.Lopes, M.Q.Salomão, R.Jr.Ambrósio // J Refract Surg. 2020. – Vol.36, №6. – P.358-365.

251. Feng, Y. Meta-analysis of wavefront-guided vs. wavefront-optimized LASIK for myopia / Y.Feng, J.Yu, Q.Wang // Optom Vis Sci. – 2011. – Vol.88, №12. – P.1463-1469.

252. Frings, A. Pyramidal Aberrometry in Wavefront-Guided Myopic LASIK / A.Frings, H.Hassan, B.D.Allan // J Refract Surg. – 2020. – Vol.36, №7. – P.442-448.

253. Fujikado, T. Age-related changes in ocular and corneal aberrations / T.Fujikado, T.Kuroda, S.Ninomiya, N.Maeda, Y.Tano, T.Oshika, Y.Hirohara, T.Mihashi // Am J Ophthalmol. – 2004. – Vol.138, №1. – P.143-146.

254. Fujikado, T. Evaluation of actual retinal images produced by misaligned aspheric intraocular lenses in a model eye / T.Fujikado, M.Saika // Clin Ophthalmol. – 2014. – Vol.28, №8. – P.2415-2423.

255. Gabriel, C. Repeatability of topographic and aberrometric measurements at different accommodative states using a combined topographer and open-view aberrometer / C.Gabriel, O.K.Klaproth, C.Titke, M.Baumeister, J.Bühren, T.Kohnen // J Cataract Refract Surg. – 2015. – Vol.41, №4. – P.806-811.

256. Gao, N. Comparison of wavefront aberration after LASIK and LASEK for treatment of myopia / N.Gao, L.J.Hu, L.X.Xie, D.Q. Guo // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. 2005. – Vol.41, №11. – P.966-971.

257. Gao, W.W. Comparative study on algorithms for wave-front aberration reconstruction of human eye / W.W.Gao, J.X.Shen, B.M.Li, C.Liang // Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. – 2010. – Vol.30, №8. – P.2232-2235.

258. Ganesh, S. Comparison of visual and refractive outcomes following femtosecond laser- assisted lasik with smile in patients with myopia or myopic astigmatism / Ganesh S., Gupta R. // J Refract Surg. – 2014. – Vol.30, No. – P.590-596.

259. Gatinel, D. A review of mathematical descriptors of corneal asphericity / D.Gatinel, M.Haouat, T.Hoang-Xuan // J Fr Ophtalmol. – 2002. – Vol.25, №1. – P.81-90.

260. Gatinel, D. Analysis of customized corneal ablations: theoretical limitations of increasing negative asphericity / D.Gatinel, J.Malet, T.Hoang-Xuan, D.T.Azar // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2002. – Vol.43, №4. – P.941-948.

261. Gatinel, D. Comparison of corneal and total ocular aberrations before and after myopic LASIK / D.Gatinel, P.A.Adam, S.Chaabouni, J.Munck, M.Thevenot,

T.Hoang-Xuan, S.Pieger, M.Fujieda, H.S.Bains // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №5. – P.333-340.

262. Gatinel, D. Effect of anterior corneal surface asphericity modification on fourth-order zernike spherical aberrations / D. Gatinel, D.T.Azar, L.Dumas, J.Malet // J Refract Surg. – 2014. - Vol.30, №10. - P.708–715.

263. George, M.R. Transitioning to optimized correction with the WaveLight ALLEGRETTO WAVE: case distribution, visual outcomes, and wavefront aberrations / M.R.George, R.A.Shah, C.Hood, R.R.Krueger // J Refract Surg. – 2010. –Vol.26, №10. – P.806-813.

264. Gertnere, J. Refractive lenticule extraction (ReLEx flex) and wavefrontoptimized Femto-LASIK: comparison of contrast sensitivity and high-order aberrations at 1 year / J.Gertnere, I.Solomatin, W.Sekundo // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2013. – Vol.251, №5. – P.1437-1442.

265. Ghosh, A. Measurement of ocular aberrations in downward gaze using a modified clinical aberrometer / A.Ghosh, M.J.Collins, S.A.Read, B.A.Davis, D.R.Iskander // Biomed Opt Express. – 2011. – Vol.2, №3. – P.452-63.

266. Gifford, P. Repeatability of internal aberrometry with a new simultaneous capture aberrometer/corneal topographer / P.Gifford, H.A.Swarbrick // Optom Vis Sci. - 2012. – Vol.89, №6. –P.929-938.

267. Ginis, H.S. Variability of wavefront aberration measurements in small pupil sizes using a clinical Shack-Hartmann aberrometer / H.S.Ginis, S.Plainis, A.Pallikaris // BMC Ophthalmol. – 2004. – Vol.11 №4. – P. 1471-2415

268. Gobbe, M. Measurement repeatability of corneal aberrations / Gobbe M, Guillon M, Maissa C. // J Refract Surg. – 2002. – Vol.18, №5. – P.567-571.

269. Gobbe, M. LASIK-induced aberrations: comparing corneal and whole-eye measurements / M.Gobbe, D.Z.Reinstein, T.J. Archer // Optom Vis Sci. – 2015. - Vol.92, №4. – P.447-455.

270. Goebels, S.C. Localization and age relations of ocular aberrations / S.C.Goebels, G.U.Auffarth, M.P.Holzer // Ophthalmologe. – 2008. – Vol.105, №9. – P.825-831.

271. Goes, F.J. LASIK for myopia with the Zeiss meditec MEL 80 / F.J. Goes // J Refract Surg. -2005. - Vol.21, No6. - P.691-697.

272. Golzer, M.P. Femtosecond laser-assisted corneal flap cuts: morphology, accuracy, and histopathology / M.P.Golzer // Invest Ophthalmol Vis Sci. - 2006. - Vol. 47, P.2828–2831.

273. González, L. Multizone model for postsurgical corneas: analysis of standard and custom LASIK outcomes / L.González, J.L.Hernández-Matamoros, R.Navarro // J Biomed Opt. – 2008. – Vol.13, №4. –P.044-035.

274. Goyal, J.L. Comparative evaluation of higher-order aberrations and corneal asphericity between wavefront-guided and aspheric LASIK for myopia / J.L.Goyal, A.Garg, R.Arora, P.Jain, Y.Goel // J Refract Surg. – 2014. – Vol.30, №11. – P.777-784.

275. Guirao, A. Corneal wave aberration from videokeratography: accuracy and limitations of the procedure / A.Guirao, P.Artal // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2000. – Vol.17, №6. – P.955-965.

276. Guirao, A. Optical aberrations of the human cornea as a function of age / A.Guirao, M.Redondo, P.Artal // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2000. – Vol.17, №10. – P.1697-1702.

277. Gyldenkerne, A. Comparison of corneal shape changes and aberrations induced by FS-LASIK and SMILE for myopia / A.Gyldenkerne, A.Ivarsen, J.Ø. Hjortdal // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №4. – P.223-229.

278. Hamam, H. A quick method for analyzing Hartmann-Shack patterns: application to refractive surgery / H.Hamam // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. – P.636-642.

279. Hammer, R.M. Spherical aberration of aspheric contact lenses on eye / R.M.Hammer, B.A.Holden // Optom Vis Sci. – 1994. – Vol.71, №8. – P.522-528.

280. Hartwig, A. Peripheral aberration measurements: elliptical pupil transformation and variations in horizontal coma across the visual field / A.Hartwig, I.J.Murray, H.Radhakrishnan // Clin Exp Optom. – 2011. – Vol.94, №5. – P.443-451.

281. Hartwig, A. Analysis of higher order aberrations in a large clinical population / A.Hartwig, D.A.Atchison // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2012. – Vol. 53, №12. – P.7862-7870.

282. Hartwig, A. Higher-order aberrations and anisometropia / A.Hartwig, D.A.Atchison, H.Radhakrishnan // Curr Eye Res. – 2013. – Vol.38, №1. – P.215-219.

283. Hashemi, H. Photorefractive keratectomy results in myopic patients with thin cornea eyes / H.Hashemi, M.Miraftab, S.Asgari // Oman J Ophthalmol. – 2015. – Vol.8, №1. – P.24-27.

284. Hashemi, H. Higher order aberrations in a normal adult population / H.Hashemi, M.Khabazkhoob, E.Jafarzadehpur, A.Yekta, M.H.Emamian, M.Shariati, A.Fotouhi. // J Curr Ophthalmol. – 2016. – Vol.27, №3-4. – P. 115-124.

285. Hashemian, S.J. Ocular higher-order aberrations and mesopic pupil size in individuals screened for refractive surgery / S.J.Hashemian, M.Soleimani, A.Foroutan, M.Joshaghani, M.J.Ghaempanah, M.E.Jafari, M.Yaseri // Int J Ophthalmol. – 2012. – Vol.5, №2. – P.222-225.

286. Hassel, J. M. Aspheric Laser Ablation for LASIK in Comparison to Standard Ablation with Zyoptix TS Tissue-Saving Algorithm / J. M.Hassel, T. F.Neuhann, M. C.Knorz, M.Bauer, B.Lege // ASCRS Final Program.- San Francisco, 2006.- P.101.

287. He, J.C. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye / He J.C., Burns S.A., Marcos S. // Vision Res. – 2000. – Vol.40, №1. – P.41-48.

288. He, J.C. Wave-front aberrations in the anterior corneal surface and the whole eye / J.C.He, J.Gwiazda, F.Thorn, R.Held // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2003. – Vol.20, №7. – P.1155-1163.

289. He, J.C. Theoretical model of the contributions of corneal asphericity and anterior chamber depth to peripheral wavefront aberrations / J.C.He // Ophthalmic Physiol Opt. – 2014. - Vol.34, №3, P.321–330.

290. He, L. Predicting crystalline lens fall caused by accommodation from changes in wavefront error / L.He, R.A.Applegate // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №7. – P.1313-1322.

291. He, L. Wavefront-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis for patients with myopia: a prospective randomized contralateral eye study / L.He, A.Liu, E.E.Manche // Am J Ophthalmol. – 2014. – Vol.157, №6. – P.1170-1178.

292. He, L. Contralateral eye-to-eye comparison of wavefront-guided and wavefront-optimized photorefractive keratectomy: a randomized clinical trial / L.He, E.E.Manche // JAMA Ophthalmol. – 2015. – Vol.133, №1. – P.51-59.

293. Hersh, P.S. Spherical aberration after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. Clinical results and theoretical models of etiology / P.S.Hersh, K.Fry, J.W.Blaker // J Cataract Refract Surg. – 2003. – Vol.29, №11. – P.2096-2104.

294. Hiatt, J.A. Establishing analysis parameters for spherical aberration after wavefront LASIK / J.A.Hiatt, C.N.Grant, B.S. Boxer Wachler // Ophthalmology. – 2005. – Vol.112, №6. – P.998-1002.

295. Himebaugh, N.L. Scale and spatial distribution of aberrations associated with tear breakup / N.L.Himebaugh, J.Nam, A.Bradley, H.Liu, L.N.Thibos, C.G. Begley // Optom Vis Sci. – 2012. – Vol.89, №11. –P.1590-1600.

296. Hiraoka, T. Influences of cycloplegia with topical atropine on ocular higherorder aberrations / T.Hiraoka, K.Miyata, Y.Nakamura, T.Miyai, M.Ogata, F.Okamoto, T.Oshika // Ophthalmology. – 2013. – Vol.120, №1. – P.8-13.

297. Hiraoka,T. Influence of cycloplegia with topical cyclopentolate on higherorder aberrations in myopic children / T.Hiraoka, K.Miyata, Y.Nakamura, M.Ogata, F.Okamoto, T.Oshika // Eye. – 2014. – Vol.28, №5. – P.581-586

298. Hjortdal, J.Ø. Corneal power, thickness, and stiffness: results of a prospective randomized controlled trial of PRK and LASIK for myopia / J.Ø.Hjortdal, T.Møller-Pedersen, A.Ivarsen, N. J.Ehlers // Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, $N_{01.}$ – P.21-29.

299. Holladay, J. T. Optimized prolate ablations with the Nidek CXII excimer laser / J.T.Holladay, H.S.Baris // J Refract Surg. - 2005. - Vol.21, P.595-597.

300. Holzer, M.P. Reliability of corneal and total wavefront aberration measurements with the SCHWIND Corneal and Ocular Wavefront Analyzers / M.P.Holzer, M.Sassenroth, G.U.Auffarth // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №9. – P.917-920.

301. Hong, X. Longitudinal evaluation of optical aberrations following laser in situ keratomileusis surgery / X.Hong, L.N.Thibos // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. –P.647-650.

302. Hood, C.T. The association between femtosecond laser flap parameters and ocular aberrations after uncomplicated custom myopic LASIK / C.T.Hood, R.R.Krueger, S.E.Wilson // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2013. – Vol.251, №9. – P.2155-2162.

303. Hosny, M. Awadalla M.A. Comparison of higher-order aberrations after LASIK using disposable microkeratome 130 and 90 micron heads / M.Hosny, M.A.Awadalla // Eur J Ophthalmol. – 2008. – Vol.18, №3. – P.332-337.

304. Hou J., Wang Y., Li J., Yang X.Y. et al. Changes of asphericity of posterior corneal surface after corneal refractive surgery // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2011. - Vol.47, №3. - P.223–227.

305. Hu, J.R. Higher-order aberrations in myopic and astigmatism eyes / J.R.Hu, Z.H.Yan, C.F.Liu, L.N. Huang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2004. – Vol.40, №1. – P.13-16.

306. Hu, L. The influence of intraocular pressure on wavefront aberrations in patients undergoing laser-assisted in situ keratomileusis / L.Hu, Q.Wang, P.Yu, Y.Yu, D.Zhang, J.C.He, F.Lu // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2013. – Vol.54, №8. –P.5527-5534.

307. Huang, D. Spot size and quality of scanning laser correction of higher order wavefront aberrations / D.Huang, M.Arif // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №5. – P.588-591.

308. Huang, D. Mathematical model of corneal surface smoothing after laser refractive surgery / D.Huang, M.Tang, R.Shekhar // Am J Ophthalmol. – 2003. – Vol.135, №3. – P.267-278.

309. Huang, H. Retrospective analysis of changes in the anterior corneal surface after Q value guided LASIK and LASEK in high myopic astigmatism for 3 years / H.Huang, J.Yang, H.Bao, S.Chen, B.Xia, J.Zou // BMC Ophthalmol. – 2012. – Vol.18, №12. - P.1-6.

310. Huang, J. Vision correction for computer users based on image precompensation with changing pupil size / J.Huang, A.Barreto, M. Jr.Alonso, M.Adjouadi // Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. – 2011. – Vol.11, №1. - P.4868-4871.

311. Iseli, H.P. Dependence of wave front refraction on pupil size due to the presence of higher order aberrations / H.P.Iseli, M.Bueeler, F.Hafezi, T.Seiler, M.Mrochen // Eur J Ophthalmol. – 2005. – Vol.15, №6. – P.680-687.

312. Ishii, Y. Mesopic contrast sensitivity and ocular higher-order aberrations in eyes with conventional spherical intraocular lenses / Y.Ishii, C.Okamoto, T.Hiraoka, F.Okamoto, T.Oshika // Am J Ophthalmol. – 2009. – Vol.148, №2. –P.298-302.

313. Ivarsen, A. Seven-year changes in corneal power and aberrations after PRK or LASIK / A.Ivarsen, J.Hjortdal // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2012. – Vol.53, №10. - P6011-6016.

314. Jabbur, N.S. Wavefront-guided laser in situ keratomileusis using the WaveScan system for correction of low to moderate myopia with astigmatism: 6-month results in 277 eyes / Jabbur N.S., Kraff C. // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, N_{28} . – P.1493-1501.

315. Jahadi Hosseini, S.H. Comparison of Higher Order Aberrations after Wavefront-guided LASIK and PRK: One Year Follow-Up Results / S.H.Jahadi Hosseini, S.M.Abtahi, M.R.Khalili // J Ophthalmic Vis Res. – 2016. – Vol.4, №11. – P.350-357.

316. Jahnke, M. Influence of age on optical aberrations of the human eye / M.Jahnke, C.Wirbelauer, D.T.Pham // Ophthalmologe. – 2006. – Vol.103, №7. – P.596-604.

317. Jankov, M.R. The effect of phenylephrine and cyclopentolate on objective wavefront measurements / M.R.Jankov, H.P.Iseli, M.Bueeler, P.Schor, T.Seiler, M.Mrochen // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №5. – P.472-481.

318. Jansonius, N.M. Spherical aberration and other higher-order aberrations in the human eye: from summary wave-front analysis data to optical variables relevant to visual perception / N.M.Jansonius // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2010. - Vol.27, N_{25} . – P.941-950.

319. Jayakumar, V. Are the fluctuations in dynamic anterior surface aberrations of the human eye chaotic? / V.Jayakumar, D.Thapa, N.Hutchings, V.Lakshminarayanan // Opt Lett. - 2013 Vol.38, №24. –P.5208-5211.

320. Jiménez, J.R. Interocular differences in higher-order aberrations on binocular visual performance / J.R.Jiménez, J.J.Castro, R.Jiménez, E.Hita // Optom Vis Sci. -2008. – Vol.85, №3. – P.174-179.

321. Jin, H.Y. Influence of corneal refractive surgery on wavefront aberrations of human eye / H.Y.Jin, Q.M.Wang, D.M.Wang, J.T.Meng // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2003. – Vol.39, №6. –P.328-334.

322. Joslin, C.E. Higher-order wavefront aberrations in corneal refractive therapy / C.E.Joslin, S.M.Wu, T.T.McMahon, M.Shahidi // Optom Vis Sci. – 2003. - Vol.80, №12. – P.805-811.

323. Joslin, C.E. Is "whole eye" wavefront analysis helpful to corneal refractive therapy? / C.E.Joslin, S.M.Wu, T.T.McMahon, M.Shahidi // Eye Contact Lens. – 2004.
– Vol.30, №4. – P.186-188.

324. Juhasz, E. Wavefront properties of the anterior and posterior corneal surface after photorefractive keratectomy / E. Juhasz, K. Kranitz, G.L.Sandor, A. Gyenes, G. Toth, Z.Z.Nagy // Cornea. – 2014.- Vol.33, №2. – P.172-176.

325. Jun, I. Comparison of clinical outcomes between vector planning and manifest refraction planning in SMILE for myopic astigmatism / I.Jun, D.S.Y.Kang, S.Arba-Mosquera, D.Z.Reinstein, T.J.Archer, S.K.Jean, E.K.Kim, K.Y. Seo, H.K. Lee, T.I.Kim // J Cataract Refract Surg. – 2020. – Vol.46, №8. – P.1149-1158.

326. Jung, H.H. Higher order aberrations of the corneal surface after laser subepithelial keratomileusis / H.H.Jung, Y.S.Ji, H.J.Oh, K.C. Yoon // Korean J Ophthalmol. – 2014. – Vol.28, №4. – P.285-291.

327. Jung, J.W. Comparison of Measurements and Clinical Outcomes After Wavefront-Guided LASEK Between iDesign and WaveScan / J.W.Jung, B.H.Chung, S.H.Han, E.K.Kim, K.Y.Seo, T.I.Kim // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №6. – P.398-405.

328. Kaido, M. Corneal fluorescein staining correlates with visual function in dry eye patients / M.Kaido, Y.Matsumoto, Y.Shigeno, R.Ishida, M.Dogru, K.Tsubota // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2011. – Vol.52, №13. – P.9516-9522.

329. Kaiserman, I. Incidence, possible risk factors, and potential effects of an opaque bubble layer created by a femtosecond laser / I.Kaiserman, H.S.Maresky, I.Bahar, D.S.Rootman // J Cataract Refract Surg. – 2008. – Vol.34, №3. – P.417-423.

330. Kalikivayi, V. Clinical Study to Validate the Pupil Rescaling Technique by using COAS Shack Hartmann Aberrometer / V.Kalikivayi, K.Kannan, A.R.Ganesan // Biomed Sci Instrum. – 2015. – Vol.51, №1. – P.266-272.

331. Kamiya, K. Factors influencing the changes in coma-like aberrations after myopic laser in situ keratomileusis / K.Kamiya, K.Umeda, A.Igarashi, W.Ando, K.Shimizu // Curr Eye Res. – 2011. – Vol.36, №10. – P.905-909.

332. Kamiya, K. Comparison of visual acuity, higher-order aberrations and corneal asphericity after refractive lenticule extraction and wavefront-guided laser-assisted in situ keratomileusis for myopia / Kamiya K., Shimizu K., Igarashi A., Kobashi H., Komatsu M. // Br J Ophthalmol. – 2013. – Vol.97, №8. – P.968-975.

333. Kanda, H. Serial measurements of accommodation by open-field Hartmann-Shack wavefront aberrometer in eyes with accommodative spasm / H.Kanda, M.Kobayashi, T.Mihashi, T.Morimoto, K.Nishida, T.Fujikado // Jpn J Ophthalmol. – 2012. – Vol.56, №6- P.617-623.

334. Kang, J. Effects of higher-order aberration correction on stereopsis at different viewing durations / J.Kang, F.Xiao, J.Zhao, H.Zhao, Y. Hu, G.Tang, Y.Dai, Y.Zhang // J Biomed Opt. – 2015. – Vol.20, №7. –P.750-755.

335. Kanjani, N. Wavefront- and topography-guided ablation in myopic eyes using Zyoptix / N.Kanjani, S.Jacob, A.Agarwal, A.Agarwal, S.Agarwal, T.Agarwal, A.Doshi, S.Doshi // J. Cataract Refract Surg.- 2008.- Vol.34, №2.- P. 398-402. 336. Kanellopoulos, A.J. Topography-Guided LASIK versus Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) for myopia and myopic astigmatism: a randomized, prospective, contralateral eye study/ A.J.Kanellopoulos // J Refract Surg. – 2017. – Vol.33, №5, P.306-312.

337. Karimian, F. Conventional versus custom ablation in photorefractive keratectomy: randomized clinical trial / F.Karimian, S.Feizi, M.R.Jafarinasab // J Cataract Refract Surg. – 2010. – Vol.36, №4, P.637-643.

338. Kawamorita, T. Changes of corneal aberrations in sitting and supine positions / T.Kawamorita, T.Handa, H.Uozato // Am J Ophthalmol. – 2006. – Vol.141, №2. – P.412-414.

339. Kelly, J.E. Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma, and spherical aberration by internal optics of the eye / J.E.Kelly, T.Mihashi, H.C.Howland // J Vis. – 2004. – Vol.4, №4. – P.262-271.

340. Kezirian, G.M. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis / G.M.Kezirian, K.G.Stonecipher // J Cataract Refract Surg. - 2004. - Vol.30, №4. - P.804–811.

341. Khalifa, M. A. Selective treatment of higher-order aberrations with low to moderate myopia by ORK-CAM Technology / Khalifa M. A., Tarek A. W. // Congress of the ASCRS, Final Program.- San Diego. – 2007.- P.102.

342. Khalifa, M. Iris registration in wavefront-guided LASIK to correct mixed astigmatism / M.Khalifa, M.El-Kateb, M.S.Shaheen // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №3. – P.433-437.

343. Khalifa, M.A. Comparison of visual outcomes after variable spot scanning ablation versus wavefront-optimized myopic LASIK / M.A.Khalifa, E.F.Mossallam, T.H.Massoud, M.S.Shaheen // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №1. – P.22-28.

344. Kim, D.S. Comparison of the VISX wavescan and NIDEK OPD-scan aberrometers / D.S.Kim, J.Narváez, J.Krassin, K.Bahjri // J Refract Surg. – 2009. – Vol.25, №5. – P.429-434.

281

345. Kim, J.H. Changes of higher- order aberrations with the use of various mydriatics / J.H.Kim, T.Lim, M.J.Kim, H.Tchah // Ophthalmic Physiol Opt. – 2009. – Vol. 29, №6. – P.602-605.

346. Kim, J.Y. A femtosecond laser flap creates a stronger than a mechanical microkeratome / J.Y.Kim, M.J.Kim, T.I.Kim // Invest Ophthalmol Vis Sci. - 2002. - Vol.47, P. - 599–604.

347. Kim, M. Comparison of higher-order aberrations between eyes with natural supervision and highly myopic eyes in Koreans / M.Kim, Y.G.Lee, K.R.Seo, E.K.Kim, H.K.Lee // Korean J Ophthalmol.- 2007. – Vol.21, №2. - P.79-84.

348. Kim, T.I. Bilateral comparison of wavefront-guided versus conventional laser in situ keratomileusis with Bausch and Lomb Zyoptix / T.I.Kim, S.J.Yang, H.Tchah // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №5. – P.432-438.

349. Kingston, A.C. Population spherical aberration: associations with ametropia, age, corneal curvature, and image quality / A.C.Kingston, I.G. Cox // Clin Ophthalmol. – 2013. – Vol.7, №7. – P.933-938.

350. Kirschen, D.G. Optical aberrations in professional baseball players / D.G. Kirschen, D.M. Laby, M.P. Kirschen, R. Applegate, L.N.Thibos. // J Cataract Refract Surg. – 2010. - Vol.36, №3. - P.396-401.

351. Klein, S.A. Optimal corneal ablation for eyes with arbitrary Hartmann-Shack aberrations / S.A. Klein // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1998. – Vol.15, №9. – P.2580-2588.

352. Klyce, S.D. Advantages and disadvantages of the Zernike expansion for representing wave aberration of the normal and aberrated eye / S.D.Klyce, M.D.Karon, M.K.Smolek // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №5. -P537-541.

353. Knorz, M.C. Topographically-guided laser in situ keratomileusis to treat corneal irregularities. / M.C.Knorz, B.Jendritza // Ophthalmology.- 2000.- Vol.107, №6. - P.1138-43.

354. Koh, S. Serial measurements of higher-order aberrations after blinking in normal subjects / S.Koh, N.Maeda, Y.Hirohara, T. Mihashi, S.Ninomiya, K.Bessho, H.

Watanabe, T.Fujikado, Y.Tano // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2006. – Vol.47, №8. – P.3318-3324.

355. Kohnen, T. Wavefront-guided LASIK with the Zyoptix 3.1 system for the correction of myopia and compound myopic astigmatism with 1-year follow-up: clinical outcome and change in higher order aberrations / T.Kohnen, J.Bühren, C.Kühne, A.Mirshahi // Ophthalmology. – 2004. – Vol.111, №12. – P.2175-2185.

356. Kohnen, T. Comparison of corneal higher-order aberrations induced by myopic and hyperopic LASIK / T.Kohnen, K.Mahmoud, J.Bühren // Ophthalmology. – 2005. – Vol.112, №10. – P.1692.

357. Kremer, I. Clinical outcome of wavefront-guided laser in situ keratomileusis in eyes with moderate to high myopia with thin corneas / I.Kremer, I.Bahar, A.Hirsh, S.Levinger // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, №7. – P.1366-1371.

358. Kröger, R.H. Use of paper selectively absorbing long wavelengths to reduce the impact of educational near work on human refractive development / R.H.Kröger, S.Binder // Br J Ophthalmol. – 2000. – Vol.84, №8. –P.890-893.

359. Krueger, R.R. Understanding refraction and accommodation through "retinal imaging" aberrometry: a case report / R.R.Krueger, M.Mrochen, M.Kaemmerer, T.Seiler // Ophthalmology. – 2001. – Vol.108, №4. – P.674-678.

360. Krueger, R.R. Wavefront customized visual correction: the quest for supervision II / R.R.Krueger, R.A.Applegate, S.M.MacRae // SLACK Incorporated. - 2004.- P. 279-284.

361. Krueger, R.R. Biomechanical effects of femtosecond and microkeratomebased flap creation: prospective contralateral examination of two patients / R.R.Krueger, W.J. Jr.Dupps // J Refract Surg. – 2007. – Vol.23, №8. – P.800-807.

362. Kuroda, T. Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations / T.Kuroda, T.Fujikado, S.Ninomiya, N.Maeda, Y. Hirohara, T.Mihashi // J Refract Surg. – 2002. – Vol.18, №5. – P.598-602.

363. Kwan, W.C. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia / W.C.Kwan, S.P.Yip, M.K.Yap // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.304-312.

364. Kwon, Y. Impact of ablation efficiency reduction on post-surgery corneal asphericity: simulation of the laser refractive surgery with a flying spot laser beam / Y.Kwon, M.Choi, S.Bott // Opt Express. – 2008. – Vol.16, №16. – P.11808-11821.

365. Kwon, Y. Postsurgery corneal asphericity and spherical aberration due to ablation efficiency reduction and corneal remodelling in refractive surgeries / Y.Kwon, S.Bott // Eye. – 2009. – Vol.23, №9. –P.1845-1850.

366. Lazaridis, A. Topographic analysis of the centration of the treatment zone after SMILE for myopia and comparison to FS-LASIK: subjective versus objective alignment / Lazaridis A., Droutsas K., Sekundo W. // J Refract Surg. – 2014. – Vol.30, $N_{0}10. - P.680-686.$

367. Leahy, C. A non-stationary model for simulating the dynamics of ocular aberrations / C.Leahy, C.Dainty // Opt Express. – 2010. – Vol.18, №20. – P.21386-21396.

368. Leccisotti, A. Femtosecond laser-assisted hyperopic laser in situ keratomileusis with tissue-saving ablation: analysis of 800 eyes / A.Leccisotti // J Cataract Refract Surg. – 2014. – Vol.40, №7. – P.1122-1130.

369. Lee, J.M. Comparison between anterior corneal aberration and ocular aberration in laser refractive surgery / J.M.Lee, D.J.Lee, W.J.Jung, W.C.Park // Korean J Ophthalmol. – 2008. – Vol.22, №3. – P.164-168.

370. Lee, H. Photorefractive keratectomy combined with corneal wavefrontguided and hyperaspheric ablation profiles to correct myopia / H.Lee, S.Y.Park, Yong D.S.Kang, B.J.Ha, J.Y.Choi, E.K.Kim, K.Y.Seo, T.I.Kim // J Cataract Refract Surg. – 2016. – Vol.42, №6. – P.890-898.

371. Lee, K. Comparison of optical quality parameters and ocular aberrations after wavefront-guided laser in-situ keratomileusis versus wavefront-guided laser epithelial keratomileusis for myopia / K.Lee, J.M.Ahn, E.K.Kim, T.I.Kim // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2013. - Vol.251, №9. – P.2163-2169.

372. Lee, M.J. The changes of posterior corneal surface and high-order aberrations after refractive surgery in moderate myopia / M.J.Lee, S.M.Lee, H.J.Lee,

W.R.Wee, J.H.Lee, M.K.Kim / Korean J Ophthalmol. – 2007. – Vol.21, №3. – P.131-136.

373. Lee, S.B. Effects of decentration of photorefractive keratectomy on the induction of higher order wavefront aberrations / S.B.Lee, B.S.Hwang, J.Lee // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №10. – P.731-743.

374. Legras, R. Assessment of just-noticeable differences for refractive errors and spherical aberration using visual simulation / R.Legras, N.Chateau, W.N.Charman // Optom Vis Sci. – 2004. – Vol.81, №9. –P.718-728.

375. Legras, R. Effect of coma and spherical aberration on depth-of-focus measured using adaptive optics and computationally blurred images / R.Legras, Y.Benard, N.Lopez-Gil // J Cataract Refract Surg. – 2012. – Vol.38, №3. – P.458-469.

376. Lekhanont, K. Effects of sodium hyaluronate on wavefront aberrations in
dry eye patients / K.Lekhanont, V.Chuckpaiwong, A.Vongthongsri,
T.Sangiampornpanit // Optom Vis Sci. – 2014. – Vol.91, №1. – P.39-46.

377. Leung, T.W. Ocular Aberrations and Corneal Shape in Adults with and without Astigmatism / T.W.Leung, A.K.Lam, C.S.Kee // Optom Vis Sci. – 2015. – Vol.92, №5. –P.604-614.

378. Levy, Y. Ocular higher-order aberrations in eyes with supernormal vision / Y.Levy, O.Segal, I.Avni, D.Zadok // Am J Ophthalmol. - 2005. - Vol.139, №2. - P.225-228.

379. Lewis, C.D. Reproducibility of wavefront measurements using the LADARWave aberrometer / C.D. Lewis, R.R. Krueger // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №9. –P.973-979.

380. Li, H. Safety and effectiveness of thin-flap LASIK using a femtosecond laser and microkeratome in the correction of high myopia in Chinese patients / H.Li, T.Sun, M.Wang, J.Zhao // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №2. – P.99-106.

381. Li, J. Effects of spherical aberration on visual acuity at different contrasts / J.Li, Y.Xiong, N.Wang, S.Li, Y.Dai, L.Xue, H.Zhao, W.Jiang, Y.Zhang // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №8. – P.1389-1395.

382. Li, L. Influence of Refractive Status on the Higher-Order Aberration Pattern After Small Incision Lenticule Extraction Surgery / L.Li, G.P.M.Cheng, A.L.K.Ng, T.C.Y.Chan, V.Jhanji, Y.Wang // Cornea. – 2017. - Vol.36, №8. – P.967-972.

383. Li, M. Mild decentration measured by a Scheimpflug camera and its impact on visual quality following SMILE in the early learning curve / M.Li, J.Zhao, H.Miao, Y.Shen, L.Sun, M.Tian, E.Wadium, X.Zhou // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2014. -Vol.55, №6. – P.3886-3892.

384. Li, S.M. N.L. Effects of single mode's high-order aberrations on visual acuity corrected using adaptive optics technique / S.M.Li, Y. Xiong, J.Li, Y.H.Zhou, Y. Dai, Y.D.Zhang, W.H.Jiang, N.L.Wang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2011. – Vol.47, №10. – P.934-937.

385. Li, X. Aberration compensation between anterior and posterior corneal surfaces after Small incision lenticule extraction and Femtosecond laser-assisted laser in-situ keratomileusis / X.Li, Y.Wang, R.Dou // Ophthalmic Physiol Opt. – 2015. – Vol.35, №5. – P.540-51.

386. Li, Y.J. Changes in ocular wavefront aberrations and retinal image quality with objective accommodation / Y.J.Li, J.A.Choi, H.Kim, S.Y.Yu, C.K.Joo // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №5. – P.835-841.

387. Liang, J. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye / J.Liang, D.R. Williams // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. -1997. – Vol.14, №11. – P.2873-2883.

388. Lihua, F. Theoretical analysis of wavefront aberration from treatment decentration with oblique incidence after conventional laser refractive surgery / F.Lihua, H.Xingdao, C.Fengying // Opt Express. – 2010. – Vol.18, №21. – P.:22418-22431.

389. Lim, D.H. For The Korean Healthy Twin Study. The Heritability of Corneal and Ocular Higher-Order Aberrations in Koreans: The Healthy Twin Study / D.H.Lim, W.Kim, G.Han, G.H.Bae, M.H.Kim, M.J.Kim, Y.M.Song, E.S.Chung, T.Y.Chung, J.Sung // Invest Ophthalmol Vis Sci. - 2015. - Vol.56, №6. - P.3919-3928.

390. Lim, K.L. Ethnic differences in higher-order aberrations: Spherical aberration in the South East Asian Chinese eye / K.L.Lim, H.B.Fam // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №12. – P.2144-2148.

391. Lim, T. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical microkeratome for laser in situ keratomileusis / T.Lim, S.Yang, M.Kim, H.Tchah // Am J Ophthalmol. – 2006. – Vol.141, №5. – P.833-839.

392. Lin, F. Comparison of the visual results after SMILE and femtosecond laserassisted LASIK for myopia / F.Lin, Y.Xu, Y.Yang // J Refract Surg. – 2014. – Vol.30, №4. – P.248-254.

393. Liou, H.L. The prediction of spherical aberration with schematic eyes / H.L.Liou, N.A.Brennan // Ophthalmic Physiol Opt. – 1996. – Vol.16, №4. – P.348-354.

394. Little, J.A. Higher order ocular aberrations and their relation to refractive error and ocular biometry in children / J.A.Little, S.J.McCullough, K.M.Breslin, K.J.Saunders // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2014. – Vol.55, №8. – P. 4791-4800.

395. Liu, M. Decentration of optical zone center and its impact on visual outcomes following SMILE / M.Liu, Y.Sun, D.Wang, T.Zhang, Y.Zhou, H.Zheng, Q.Liu // Cornea. – 2015. – Vol.34, №4. – P.392-397.

396. Liu T.X., Chen Y.T., Dan T.T., Shi R., Linghu S.R., Li H.X. Four-year follow-up of corneal aberrations and visual functions of myopic patients after laser in situ keratomileusis. Pak J Med Sci. 2015 Nov-Dec;31(6):1453-6.

Liu, S. Comparison of the Distribution of Lenticule Decentration Following SMILE by Pupil Center or Tear Film Mark Centration / S.Liu, X.Zhang, Z.You, X.Zhou // J Refract Surg. – 2020. – Vol.36, №4. – P. 239-246.

397. Llorente, L. Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations / L.Llorente, S.Barbero, D.Cano, C.Dorronsoro, S.Marcos // J Vis. – 2004. – Vol.22, №4. - P.288-298.

398. Llorente, L. Total and corneal optical aberrations induced by laser in situ keratomileusis for hyperopia / L.Llorente, S.Barbero, J.Merayo, S.Marcos // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №3. – P.203-216.

399. Lombardo, M. Relative contribution of central and peripheral aberrations to overall high order corneal wavefront aberration / M.Lombardo, G.Lombardo, M.Manzulli, M.Palombi, S.Serrao // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №7. – P.656-664.

400. Lombardo, M. Long-term optical quality of the photoablated cornea / M.Lombardo, G.Lombardo, S.Serrao // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2007. - Vol.24, №3. – P.588-596.

401. Lombardo, M. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance / M.Lombardo, G.Lombardo // J Cataract Refract Surg. – 2010. Vol.36, №2. – P.313-331.

402. López-Gil, N. Generation of third-order spherical and coma aberrations by use of radically symmetrical fourth-order lenses / N.López-Gil, H.C.Howland, B.Howland, N.Charman, R.Applegate // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1998. – Vol.15, №9. – P.2563-2571

403. López-Gil, N. Accommodation-related changes in monochromatic aberrations of the human eye as a function of age / N.López-Gil, V.Fernández-Sánchez, R.Legras, R.Montés-Micó, F.Lara, J.L.Nguyen-Khoa // Invest Ophthalmol Vis Sci. -2008. – Vol. 49, №4. – P.1736-1743.

404. López-Gil, N. Limitations of the ocular wavefront correction with contact lenses / López-Gil N., Castejón-Mochón J.F., Fernández-Sánchez V. //Vision Res. – 2009. – Vol.49, №14. – P.1729-1737.

405. López-Gil, N. The change of spherical aberration during accommodation and its effect on the accommodation response / N.López-Gil, V.Fernández-Sánchez // J Vis. - 2010. – Vol.10, №13. – P.1-13.

406. López-Miguel, A. Precision of a commercial hartmann-shack aberrometer: limits of total wavefront laser vision correction / A.López-Miguel, M.J.Maldonado, A.Belzunce, J.Barrio-Barrio, M.B.Coco-Martín, J.C.Nieto // Am J Ophthalmol. – 2012. – Vol.154, №5. –P.799-807.

407. López-Miguel, A. Precision of higher-order aberration measurements with a new Placido-disk topographer and Hartmann-Shack wavefront sensor / A.López-
Miguel, L.Martínez-Almeida, M.J.González-García, M.B.Coco-Martín, P.Sobrado-Calvo, M.J.Maldonado // J Cataract Refract Surg. – 2013. – Vol.39, №2. – P.242-249.

408. Lorente-Velázquez, A. Recovery evaluation of induced changes in higher order aberrations from the anterior surface of the cornea for different pupil sizes after cessation of corneal refractive therapy / A.Lorente-Velázquez, D.Madrid-Costa, A.Nieto-Bona, A.González-Mesa, J.Carballo // Cornea. – 2013. – Vol.32, №4. – P.16-20.

409. Lou, Q. Investigation of aberration characteristics of eyes at a peripheral visual field by individual eye model / Q.Lou, Y.Wang, Z.Wang, Y.Liu, L.Zhang, Y.Zhai, H.Fang //Appl Opt. – 2015. – Vol.54, №19. – P.5917-5923.

410. Lu N., Lin F., Huang Z., He Q., Han W. Changes of Corneal Wavefront Aberrations in Dry Eye Patients after Treatment with Artificial Lubricant Drops. J Ophthalmol. 2016;2016:1342056.

411. Lubatschowski, H. Update on fs laser technology in ophthalmology / H.Lubatschowski // Klin Monbl Augenheilkd. – 2013. – Vol.230, №12. – P.1207-1212.

412. Lyall, D.A. Changes in ocular monochromatic higher-order aberrations in the aging eye / D.A.Lyall, S.Srinivasan, L.S.Gray // Optom Vis Sci. – 2013. – Vol.90, №9. –P.996-1003.

413. MacRae, S. Customized and low spherical aberration corneal ablation design / S.MacRae, J.Schwiegerling, R.W.Snyder // J Refract Surg. – 1999. – Vol.15, №2. – P.246-248.

414. Maeda, N. Wavefront technology in ophthalmology / Maeda N. // Curr Opin Ophthalmol. – 2001. – Vol.12, №4. –P.294-299.

415. Manns, F. Ablation profiles for wavefront-guided correction of myopia and primary spherical aberration / F.Manns, A.Ho, J.M.Parel, W.Culbertson // J Cataract Refract Surg. – 2002. – Vol.28, №5. – P.766-774.

416. Marchese, L.E. Wavefront-guided correction of ocular aberrations: are phase plate and refractive surgery solutions equal? / L.E.Marchese, R.Munger, D.Priest //J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2005. – Vol.22, №8. – P.1471-1481.

417. Marcos, S. On the symmetry between eyes of wavefront aberration and cone directionality / S.Marcos, S.A.Burns // Vision Res. – 2000. – Vol.40, №18. – P.2437-2447.

418. Marcos, S. Aberrations and visual performance following standard laser vision correction / S.Marcos // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №5. – P.596-601.

419. Marcos, S. Optical response to LASIK surgery for myopia from total and corneal aberration measurements / S.Marcos, S.Barbero, L.Llorente, J.Merayo-Lloves // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2001. – Vol.42, №13. – P.3349-3356.

420. Marcos, S. Are changes in ocular aberrations with age a significant problem for refractive surgery? / S.Marcos // J Refract Surg. 2002 Vol.18, №5. – P.572-578.

421. Marcos, S. Aberrometry: basic science and clinical applications / S.Marcos // Bull Soc Belge Ophtalmol. – 2006. – Vol.302, №1. – P.197-213.

422. Marsack, J.D. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance / J.D.Marsack, L.N.Thibos, R.A Applegate.// J Vis. – 2004. Vol.4, №4. – P.322-328.

423. Martínez, C.E., Applegate R.A., Klyce S.D., McDonald M.B., Medina J.P., Howland H.C. Effect of pupillary dilation on corneal optical aberrations after photorefractive keratectomy / C.E.Martínez, R.A.Applegate, S.D.Klyce, M.B.McDonald, J.P.Medina, H.C.Howland // Arch Ophthalmol. – 1998. – Vol.116, №8. – P.1053-1062.

424. Mastropasqua, L. Photorefractive keratectomy with aspheric profile of ablation versus conventional photorefractive keratectomy for myopia correction: sixmonth controlled clinical trial / L.Mastropasqua, L.Toto, E.Zuppardi, M.Nubile, P.Carpineto, M.Di Nicola, E.Ballone // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №1. – P.109-116.

425. Mastropasqua, L. Zyoptix wavefront-guided versus standard photorefractive keratectomy (PRK) in low and moderate myopia: randomized controlled 6-month study / L.Mastropasqua, L.Toto, E.Zuppardi, M.Nubile, P.Carpineto, M.Di Nicola, E.Ballone // Eur J Ophthalmol. – 2006. – Vol.16, №2. – P.219-228.

426. Mastropasqua, L. Photorefractive keratectomy (PRK) with aberrometric shotfile ablation profile for correction of presbyopia in myopic patients: 6-month clinical study / L.Mastropasqua, L.Toto, E.Zuppardi, O.Costantino // Congress of the ESCRS, 25-th: Abstracts.- Stockholm. - 2007.- P.90.

427. Mathur, A. Effect of age on components of peripheral ocular aberrations / A.Mathur, D.A.Atchison, J.Tabernero // Optom Vis Sci. – 2012. – Vol.89, №7. - P.967-976.

428. McAlinden, C. Higher order aberrations using the NIDEK OPD-Scan and AMO WaveScan / C.McAlinden, J.E.Moore // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №8. – P.605-608.

429. McAlinden, C., The change in internal aberrations following myopic corneal laser refractive surgery / C.McAlinden, J.E.Moore // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. - 2011. – Vol.249, №5. – P.775-781.

430. McAlinden, C. Corneal aberrations measured with a high-resolution Scheimpflug tomographer: repeatability and reproducibility / C.McAlinden, J.Schwiegerling, J.Khadka, K.Pesudovs // J Cataract Refract Surg. – 2020. – Vol.46, $N_{2}4. - P.581-590.$

431. McCormick, G.J. Higher-order aberrations in eyes with irregular corneas after laser refractive surgery / G.J.McCormick, J.Porter, I.G.Cox, S.MacRae // Ophthalmology. – 2005. – Vol.112, №10. – P.1699-1709.

432. McDonald, M. Excimer laser ablation in a human eye / M.McDonald, H.E.Kaufman, J.M.Frantz // Arch Ophthalmol. - 1989. - Vol.107, P.641–642.

433. McGinnigle, S. A preliminary investigation into the effects of ocular lubricants on higher order aberrations in normal and dry eyesubjects / S.McGinnigle, F.Eperjesi, S.A. Naroo // Cont Lens Anterior Eye. – 2014. – Vol.37, №2. – P.106-110.

434. McLellan, J.S. Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye / J.S.McLellan, S.Marcos, S.A. Burns // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2001. – Vol.42, №6. – P.1390-1395.

435. McLellan, J.S. Effects of interactions among wave aberrations on optical image quality / J.S.McLellan, P.M.Prieto, S.Marcos, S.A.Burns // Vision Res. – 2006. – Vol.46, №18. – P.3009-3016.

436. Medeiros, F.W. Wavefront analysis comparison of LASIK outcomes with the femtosecond laser and mechanical microkeratomes / F.W.Medeiros, W.M.Stapleton, J.Hammel, R.R.Krueger, M.V.Netto, S.E.Wilson // J Refract Surg. – 2007. – Vol.23, $N_{2}9. - P.880-887.$

437. Mello, G.R. Applications of wavefront technology / G.R.Mello, K.M.Rocha, M.R.Santhiago, D.Smadja, R.R.Krueger // J Cataract Refract Surg. – 2012. – Vol.38, №9. – P.1671-1683.

438. Miao, H. Visual Outcomes and Optical Quality After Femtosecond Laser Small Incision Lenticule Extraction: An 18-Month Prospective Study / H.Miao, M.Tian, Y.Xu, Y.Chen, X.Zhou // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №11. – P.726-731.

439. Mierdel, P. Measuring device for determining monochromatic aberration of the human eye / P.Mierdel, H.E.Krinke, W.Wiegand, M.Kaemmerer, T.Seiler // Ophthalmologe. – 1997. – Vol.94, №6. – P.441-445.

440. Mierdel, P. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order / P.Mierdel, M.Kaemmerer, H.E.Krinke, T.Seiler // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 1999. – Vol.237, №9. – P.725-729.

441. Mierdel, P. Diurnal fluctuation of higher order ocular aberrations: correlation with intraocular pressure and corneal thickness / P.Mierdel, H.E.Krinke, K.Pollack, E.Spoerl // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №3. – P.236-242.

442. Mifflin, M.D. Custom vs conventional PRK: a prospective, randomized, contralateral eye comparison of postoperative visual function / M.D.Mifflin, B.B.Hatch, S.Sikder, J.Bell, C.J.Kurz, M.Moshirfar // J Refract Surg. – 2012. – Vol.28, №2. – P.127-132.

443. Mihashi, T. Higher-order wavefront aberrations induced by small ablation area and sub-clinical decentration in simulated corneal refractive surgery using a perturbed schematic eye model / T. Mihashi // Semin Ophthalmol. – 2003. – Vol.18, $N_{\rm O}1. - P.41-47$.

444. Miller, J.M. Higher order aberrations in normal, dilated, intraocular lens, and laser in situ keratomileusis corneas / J.M.Miller, R.Anwaruddin, J.Straub, J.Schwiegerling // J Refract Surg. – 2002. – Vol.18, №5. – P.579-583.

445. Mira-Agudelo, A. Temporal dynamics of ocular aberrations: monocular vs binocular vision / A.Mira-Agudelo, L.Lundström, P.Artal // Ophthalmic Physiol Opt. -2009. – Vol.29, №3. – P.256-263

446. Miraftab, M. Wavefront-guided vs wavefront-optimized LASIK: a randomized clinical trial comparing contralateral eyes / M.Miraftab, M.A.Seyedian, H.Hashemi // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27, №4. – P.245-250.

447. Miranda, D. Highlights of the 1st International Congress of Wavefront Sensing and Aberration-free Refractive Correction / D.Miranda, R.R.Krueger // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №5. – P.566-572.

448. Miranda, M.A. Repeatability of corneal and ocular aberration measurements and changes in aberrations over one week / M.A.Miranda, C.O'Donnell, H.Radhakrishnan // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.253-266.

449. Moćko, L. Contemporary applications of wavefront aberrometry in ophthalmology practice / L.Moćko, M.Zajac, A.M.Roszkowska, B.Weglarz, M.Milka, D.Dobrowolski, E.Wylegała // Klin Oczna. – 2012. – Vol.114, №1. – P.75-78.

450. Mohamed, E.M. Corneal thickness association with ocular and corneal highorder aberrations / E.M.Mohamed, J.C.Wojtowicz, W.Bowman, H.D.Cavanagh, V.Mootha, S.Verity, JP.McCulley // Eye Contact Lens. – 2009. – Vol.35, №6. – P.297-301.

451. Molebny, V.V. Principles of ray tracing aberrometry / V.V.Molebny, S.I.Panagopoulou, S.V.Molebny, Y.S.Wakil, I.G.Pallikaris // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. –P.572-575.

452. Montés-Micó, R. The tear film and the optical quality of the eye / R.Montés-Micó, A.Cerviño, T.Ferrer-Blasco, S.García-Lázaro, D.Madrid-Costa // Ocul Surf. – 2010. – Vol.8, №4. – P.185-192.

453. Morales, E.L. Comparison of optical aberrations and contrast sensitivity between aspheric and spherical intraocular lenses / E.L.Morales, K.M.Rocha,

M.R.Chalita, W.Nosé, M.P. Avila // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27, №10. – P.723-728.

454. Moreno-Barriuso, E. Laser Ray Tracing versus Hartmann-Shack sensor for measuring optical aberrations in the human eye / E.Moreno-Barriuso, R.Navarro // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2000. – Vol.17, №6. – P.974-985.

455. Moreno-Barriuso, E. Comparing laser ray tracing, the spatially resolved refractometer, and the Hartmann-Shack sensor to measure the ocular wave aberration / E.Moreno-Barriuso, S.Marcos, R.Navarro, S.A.Burns // Optom Vis Sci. – 2001. – Vol.78, №3. – P.152-156.

456. Moreno-Barriuso, E. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing / E.Moreno-Barriuso, J.M.Lloves, S.Marcos, R.Navarro, L.Llorente, S.Barbero // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2001. – Vol.42, N_{26} . – P.1396-1403.

457. Moshirfar, M. Visual outcomes after wavefront-guided photorefractive keratectomy and wavefront-guided laser in situ keratomileusis: Prospective comparison / M.Moshirfar, J.A.Schliesser, J.C.Chang, T.J.Oberg, M.D.Mifflin, R.Townley, M.K.Livingston, C.J.Kurz // J Cataract Refract Surg. – 2010. – Vol.36, №8. – P.1336-1343.

458. Moshirfar, M. A prospective, randomized, fellow eye comparison of WaveLight® Allegretto Wave ® Eye-Q versus VISX CustomVueTM STAR S4 IRTM in laser in situ keratomileusis (LASIK): analysis of visual outcomes and higher order aberrations / M.Moshirfar, B.S.Betts, D.S.Churgin, M.Hsu, M.Neuffer, S.Sikder, D.Church, M.D.Mifflin // Clin Ophthalmol. – 2011. – Vol.5, №5. – P.1339-1347.

459. Mrochen, M. Principles of Tscherning Aberrometry / M.Mrochen, M.Kaemmerer, P.Mierdel, H.E.Krinke, T.Seiler // J Refract Surg. - 2000. - Vol.16, – №5. - P. 570–571.

460. Mrochen, M. Wavefront-guided laser in situ keratomileusis: early results in three eyes / M.Mrochen, M.Kaemmerer, T.Seiler // J Refract Surg.- 2000.- Vol.16, №2.- P. 116-121.

461. Mrochen, M. Clinical results of wavefront-guided laser in situ keratomileusis 3 months after surgery / M.Mrochen, M.Kaemmerer, T.Seiler // J Cataract Refract Surg.- 2001. – Vol.27, №2. – P.201-207.

462. Mrochen, M. Influence of corneal curvature on calculation of ablation patterns used in photorefractive laser surgery / M.Mrochen, T.Seiler // J Refract Surg. - 2001. - Vol.17, №5. - P.584-587.

463. Mrochen, M. Fundamentals of wavefront-guided refractive corneal surgery / M.Mrochen, T.Seiler // Ophthalmologe. – 2001. – Vol.98, №8. – P.703-714.

464. Mrochen, M. Wavefront-optimized ablation profiles: theoretical background / M.Mrochen, C.Donitzky, C.Wüllner, J.Löffler // J Cataract Refract Surg. – 2004. – Vol.30, №4. – P.775-785.

465. Mrochen, M. Aspheric optics: physical fundamentals / Mrochen M., Büeler M. // Ophthalmologe. – 2008. – Vol.105, №3. – P.224-233.

466. Munnerlin, C.R. Photorefractive keratectomy: a technique for laser refractive surgery / C.R.Munnerlin, S.J.Koons, J.Marshall // J Cataract Refract Surg. - 1988. - Vol.14. - P.46–52.

467. Muñoz, G. Long-term comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis: mechanical microkeratome versus femtosecond laser flap creation / G.Muñoz, C.Albarrán-Diego, T.Ferrer-Blasco, S.García-Lázaro, A.Cerviño-Expósito // J Cataract Refract Surg. – 2010. – Vol.36, №11. – P.1934-1944.

468. Muñoz, G. Single versus double femtosecond laser pass for incomplete laser in situ keratomileusis flap in contralateral eyes: visual and optical outcomes / G.Muñoz, C.Albarrán-Diego, T.Ferrer-Blasco, J.Javaloy, S.García-Lázaro // J Cataract Refract Surg. – 2012. – Vol.38, №1. – P.8-15.

469. Myrowitz, E.H. A comparison of wavefront-optimized and wavefront-guided ablations / E.H.Myrowitz, R.S.Chuck // Curr Opin Ophthalmol. – 2009. – Vol.20, №4. – P.247-250.

470. Nam, J. Wavelength adjustment using an eye model from aberrometry data / J.Nam, J.Rubinstein, L. Thibos // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2010. – Vol.27, №7. – P.1561-1574.

471. Nassiri, N. Refractive Outcomes, Contrast Sensitivity, HOAs, and Patient Satisfaction in Moderate Myopia: Wavefront-Optimized Versus Tissue-Saving PRK / N.Nassiri, K.Sheibani, A.Azimi, F.M.Khosravi, J.Heravian, A.Yekta, H.O.Moghaddam, S.Nassiri, M.Yasseri, N.Nassiri // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №10. – P.683-690.

472. Navarro, R. Phase plates for wave-aberration compensation in the human eye / R.Navarro, E.Moreno-Barriuso, S.Bará, T.Mancebo // Opt Lett. – 2000. – Vol.25, №4. – P.236-238.

473. Navarro, R. On the prediction of optical aberrations by personalized eye models / R.Navarro, L.González, J.L.Hernández-Matamoros // Optom Vis Sci. – 2006. – Vol.83, №6. – P.371-381.

474. Navarro, R. Objective refraction from aberrometry: theory / R.Navarro // J Biomed Opt. – 2009. – Vol.14, №2. – P.121-124.

475. Navarro, R. Optical changes of the human cornea as a function of age / R.Navarro, J.J.Rozema, M.J. Tassignon // Optom Vis Sci. – 2013. – Vol.90, №6. – P.587-598.

476. Navarro, R. Refractive status in eyes with inhomogeneous or irregular pupils
/ R.Navarro, V.Fernández-Sánchez, N.López-Gil // Optom Vis Sci. – 2014. – Vol.91,
№2. – P.221-230.

477. Nemeth, G. Analysis of age-dependence of the anterior and posterior cornea with scheimpflug imaging / G.Nemeth, Z.Hassan, E.Szalai, A.Berta, L.Jr. Modis // J Refract Surg. – 2013. – Vol. 29, №5. – P.326-331.

478. Netto, M.V. Wavefront analysis in normal refractive surgery candidates / M.V.Netto, R.Jr.Ambrósio, T.T.Shen, S.E. Wilson // J Refract Surg. – 2005. – Vol.21, №4. – P.332-338.

479. Neuhann, T. Aspheric profiles for refractive laser ablation of the cornea / T.Neuhann, I.M.Neuhann, J.M.Hassel // Ophthalmologe. – 2008. – Vol.105, №3. – P.241-247.

480. Ninomiya, S. Changes of ocular aberration with accommodation / S.Ninomiya, T.Fujikado, T.Kuroda, N.Maeda, Y.Tano, T.Oshika, Y.Hirohara, T.Mihashi // Am J Ophthalmol. – 2002. – Vol.134, №6. – P.924-926.

481. O'Brart, D.P. Excimer laser surface ablation: a review of recent literature / O'Brart D.P. // Clin Exp Optom. – 2014. – Vol.97, №1. – P.12-17.

482. Okamoto, S. Comparison of wavefront-guided aspheric laser in situ keratomileusis for myopia: coaxially sighted corneal-light-reflex versus line-of-sight centration / S.Okamoto, K. Kimura, M.Funakura, N.Ikeda, H.Hiramatsu, H.S.Bains // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №11. – P.1951-1960.

483. Oliver, K.M. Corneal optical aberrations induced by photorefractive keratectomy / K.M.Oliver, R.P.Hemenger, M.C.Corbett, D.P. O'Brart, S.Verma, J.Marshall, A.Tomlinson // J Refract Surg. – 1997. – Vol.13, №3. – P.246-254.

484. Oliver, K.M. Anterior corneal optical aberrations induced by photorefractive keratectomy for hyperopia / K.M.Oliver, D.P.O'Brart, C.G.Stephenson, R.P.Hemenger, R.A.Applegate, A.Tomlinson, J.Marshall // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №4. – P.406-413.

485. Oliveira, C.M. Wavefront analysis and Zernike polynomial decomposition for evaluation of corneal optical quality / C.M.Oliveira, A.Ferreira, S.Franco // J Cataract Refract Surg. – 2012. – Vol.38, №2. – P.343-356.

486. Oshika, T. Comparison of corneal wavefront aberrations after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis / T.Oshika, S.D.Klyce, R.A.Applegate, H.C.Howland, M.A.El Danasoury // Am J Ophthalmol. – 1999. – Vol.127, N_{21} . – P.1-7.

487. Oshika, T. Influence of pupil diameter on the relation between ocular higherorder aberration and contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis / T.Oshika, T.Tokunaga, T.Samejima, K.Miyata, K.Kawana, Y.Kaji // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2006. – Vol.47, №4. – P.1334-1338.

488. Oshika, T. Contrast sensitivity function and ocular higher-order wavefront aberrations in normal human eyes / T.Oshika, C.Okamoto, T.Samejima, T.Tokunaga, K.Miyata // Ophthalmology. – 2006. – Vol.113, №10. – P.1807-1812.

489. Otero, C. Repeatability of aberrometric measurements with a new instrument for vision analysis based on adaptive optics / C.Otero, M.Vilaseca, M.Arjona, J.A.Martínez-Roda, J.Pujol // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №3. –P.188-194.

490. Ou, J.I. Zernike versus Fourier treatment tables for myopic patients having CustomVue wavefront laser in situ keratomileusis with the S4 excimer laser / J.I.Ou, E.E.Manche // J Cataract Refract Surg. – 2007. – Vol.33, №4, P.654-657.

491. Padmanabhan, P. Wavefront-guided versus wavefront-optimized laser in situ keratomileusis: contralateral comparative study / P.Padmanabhan, M.Mrochen, S.Basuthkar, D.Viswanathan, R.Joseph // J Cataract Refract Surg. – 2008. – Vol.34 №3. – P.389-397.

492. Padmanabhan, P. Wavefront aberrations in eyes with decentered ablations / P.Padmanabhan, M.Mrochen, D.Viswanathan, S.Basuthkar // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №4. – P.695-702.

493. Padmanabhan, P. Ocular aberrations after wavefront optimized LASIK for myopia / P.Padmanabhan, S.S.Basuthkar, R.Joseph // Indian J Ophthalmol. – 2010. – Vol.58, №4. – P.307-312.

494. Pailos, E. Centroid displacement statistics of the eye aberration / E.Pailos, A.Ommani, L.Diaz-Santana, S.Bará // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2010. – Vol.27, №8. – P.1818-1827.

495. Pailos, E. Wavefront aberration statistics in normal eye populations: are they well described by the Kolmogorov model? / E.Pailos, S.Bará // Opt Lett. – 2014. – Vol.39, №11. – P.3197-3200.

496. Pallikaris, I. Laser in situ keratomileusis / I.Pallikaris, M.Papatzanaki, E.Z.Stathi., O.Frenschock // J Laser Surg. - 1990. - Vol.10, P.463-468.

497. Pallikaris, I.G. Induced optical aberrations following formation of a laser in situ keratomileusis flap / I.G.Pallikaris, G.D.Kymionis, S.I.Panagopoulou, C.S.Siganos, M.A.Theodorakis, A.I.Pallikaris // J Cataract Refract Surg. – 2002. – Vol.28, №10. – P.1737-1741.

498. Pallikaris, I.G. Epi-LASIK: Comparative histological evaluation of mechanical and alcohol-assisted epithelial separation / I.G.Pallikaris, I.I.Naoumidi, M.I.Kalyvianaki // J Cataract Refract Surg. - 2003. - Vol.29, P.1496–1501.

499. Pallikaris, I.G. Advances in subepithelial excimer refractive surgery techniques: Epi-LASIK / I.G.Pallikaris, I.I.Naoumidi, M.I.Kalyvianaki, V.J.Katsanevaki // Curr Opin Ophthalmol.- 2003.- Vol. 14, № 4.- P. 207-212.

500. Pallikaris, I.G. Epi-LASIK: Preliminary clinical results of an alternative surface ablation procedure / I.G.Pallikaris, M.I.Kalyvianaki, H.S.Ginis // J Cataract Refract Surg. - 2005. - Vol.31, P.879–885.

501. Panagopoulou, S.I. Wavefront customized ablations with the WASCA Asclepion workstation / S.I.Panagopoulou, I.G.Pallikaris // J Refract Surg. – 2001. – Vol.17, №5. – P.608-612.

502. Papamastorakis, G. Ocular higher-order aberrations in a school children population / G.Papamastorakis, S.Panagopoulou, M.K.Tsilimbaris, I.G.Pallikaris, S.Plainis // J Optom. – 2014. – Vol. 8, №2. – P.93-100

503. Paquin, M.P. Objective measurement of optical aberrations in myopic eyes / M.P.Paquin, H.Hamam, P.Simonet // Optom Vis Sci. - 2002. – Vol.79, №5. – P.285-291.

504. Parker, K.E. Controlled induction of spherical aberration with custom soft contact lenses / K.E.Parker, J.D.Marsack, J.D.Elswick, T.J.Brunstetter, R.A.Applegate // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. - P.283-288.

505. Patel, S. Corneal asphericity and its implications for photorefractive keratectomy: a mathematical model / S.Patel, J.Marshall // J Refract Surg. - 1996. - Vol.12, P.347-351.

506. Pedersen, I.B. Three-Year Results of Small Incision Lenticule Extraction for High Myopia: Refractive Outcomes and Aberrations / I.B.Pedersen, A.Ivarsen, J.Hjortdal // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №11. – P.719-724.

507. Pérez. G.M. Impact of scattering and spherical aberration in contrast sensitivity / G.M.Pérez, S.Manzanera, P.Artal // J Vis. – 2009. – Vol.9, №19. – P.1-10.

508. Perez-Straziota, C.E. Visual acuity and higher-order aberrations with wavefront-guided and wavefront-optimized laser in situ keratomileusis / C.E.Perez-Straziota, J.B.Randleman, R.D.Stulting // J Cataract Refract Surg. – 2010. – Vol.36, $N_{23.}$ – P.437-441.

509. Philip, K. Total ocular, anterior corneal and lenticular higher order aberrations in hyperopic, myopic and emmetropic eyes / K.Philip, A.Martinez, A.Ho, F.Conrad, J.Ale, P.Mitchell, P.Sankaridurg // Vision Res. – 2012. – Vol.52, №1. – P.31-37.

510. Philip, K. Influence of higher order aberrations and retinal image quality in myopisation of emmetropic eyes / K.Philip, P.Sankaridurg, B.Holden, A.Ho, P.Mitchell // Vision Res. – 2014. – Vol.105 №12. – P.233-243.

511. Piers P.A., Manzanera S., Prieto P.M., Gorceix N., Artal P. Use of adaptive optics to determine the optimal ocular spherical aberration / P.A.Piers, S.Manzanera, P.M.Prieto, N.Gorceix, P.Artal // J Cataract Refract Surg. – 2007. - Vol.33, №10. – P.1721-1726.

512. Piñero, D.P. Intrasubject repeatability of internal aberrometry obtained with a new integrated aberrometer / D.P.Piñero, J.T.Juan, J.L.Alió // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27, №7. –P.509-517.

513. Plech, A.R. Corneal higher-order aberrations in amblyopia / A.R.Plech, D.P.Pinero, C.Laria, A.Aleson, J.L.Alio // Eur J Ophthalmol. – 2010. – Vol.20, №1. – P.12-20.

514. Popiolek-Masajada, A. A new schematic eye model incorporating accommodation / A.Popiolek-Masajada, H.T.Kasprzak // Optom Vis Sci. – 1999. – Vol.76, №10. – P.720-727.

515. Porter, J. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population / J.Porter, A.Guirao, I.G.Cox, D.R. Williams // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2001. – Vol.18, №8. – P.1793-1803.

516. Porter, J. Separate effects of the microkeratome incision and laser ablation on the eye's wave aberration / J.Porter, S.MacRae, G.Yoon, C.Roberts, I.G.Cox, D.R. Williams // Am J Ophthalmol. – 2003. – Vol.136, №2. – P.327-337. 517. Porter, J. Aberrations induced in wavefront-guided laser refractive surgery due to shifts between natural and dilated pupil center locations / J.Porter, G.Yoon, D.Lozano, J.Wolfing, R.Tumbar, S.Macrae, I.G.Cox, D.R.Williams // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №1. – P.21-32.

518. Potgieter, F.J. Prediction of flap response / F.J.Potgieter, C.Roberts, I.G.Cox, A.M.Mahmoud, E.E.Herderick, M.Roetz, W.Steenkamp // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, №1. – P.106-114.

519. Prado, P. Changes of ocular aberrations with gaze / P.Prado, J.Arines, S.Bará, S.Manzanera, A.Mira-Agudelo, P.Artal // Ophthalmic Physiol Opt. – 2009. - Vol.29, №3. – P.264-271

520. Prakash, G. A proposed regression analysis-based method for assessment of higher order aberration interrelationships in ocular wavefront sets from apparently similar origins / G.Prakash, N.Sharma, R.Saxena, V.Chaudhary, J.S.Titiyal // Eye Contact Lens. – 2011. – Vol.37, №1. – P.11-15.

521. Qiao, L. Comparison of ocular modulation transfer function measurements by ray tracing wavefront technology and double-pass system / L.Qiao, X.Cai, X.Wan, Z.Guan, Y.Xiong, Z.Lin, Y.Zhang, J.Tan, N.Wang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2015. – Vol.51, №1. – P.20-25.

522. Queirós, A. Effect of pupil size on corneal aberrations before and after standard laser in situ keratomileusis, custom laser in situ keratomileusis, and corneal refractive therapy / A.Queirós, C.Villa-Collar, J.M.González-Méijome, J.Jorge, A.R.Gutiérrez // Am J Ophthalmol. – 2010. – Vol.150, №1. – P.97-109.

523. Radhakrishnan, H. Effect of positive and negative defocus on contrast sensitivity in myopes and non-myopes / H.Radhakrishnan, S.Pardhan, R.I.Calver, D.J.O'Leary // Vision Res. – 2004. – Vol.44, №16. – P.1869-1878.

524. Ravikumar, S. Phase changes induced by optical aberrations degrade letter and face acuity / S.Ravikumar, A.Bradley, L.Thibos //J Vis. – 2010. – Vol.10, №14. – P.1-12. 525. Reilly, C.D. Gender and wavefront higher order aberrations: do the genders see the world differently? / C.D.Reilly, M.A.Blair // Nepal J Ophthalmol. 2009. – Vol.1, №2. – P.85-89.

526. Reinstein, D.Z. Accuracy and reproducibility of artemis central flap thickness and visual outcomes of LASIK with the Carl Zeiss Meditec VisuMax femtosecond laser and MEL 80 excimer laser platforms / D.Z.Reinstein, T.J.Archer, M.Gobbe, N.Johnson // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, №2. - P107-119.

527. Roberts, C. The cornea is not a piece of plastic / C.Roberts // J Refrac Surg. -2000. - Vol.16, №4. - P.407-413.

528. Roberts, C. Future challenges to aberration-free ablative procedures / C.Roberts // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. – P.623-629.

529. Rocha, K.M. Expanding depth of focus by modifying higher-order aberrations induced by an adaptive optics visual simulator / K.M.Rocha, L.Vabre, N.Chateau, R.R.Krueger // J Cataract Refract Surg. – 2009. – Vol.35, №11. – P.1885-1892.

530. Rocha, K.M. Enhanced visual acuity and image perception following correction of highly aberrated eyes using an adaptive optics visual simulator / K.M Rocha, L.Vabre, N.Chateau, R.R.Krueger // J Refract Surg. – 2010. – Vol.26, N^{01.} – P.52-56.

531. Rodríguez, P. Accuracy and reproducibility of Zywave, Tracey, and experimental aberrometers / P.Rodríguez, R.Navarro, L.González, J.L.Hernández // J Refract Surg. -2004. – Vol.20, №6. – P.810-817.

532. Roy, A.S. Patient-specific modeling of corneal refractive surgery outcomes and inverse estimation of elastic property changes / A.S.Roy, W.J. Jr.Dupps // J Biomech Eng. – 2011. – Vol.133, №1. – P.11-20.

533. Rozema, J.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 2: statistical comparison in a test group / Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №1. – P.33-44.

534. Ruiz, J. In situ keratomileusis / J.Ruiz, J.Rowsey // Invest Ophthalmol Vis Sci. - 1988. - Vol.29, P.592.

535. Sáles, C.S. One-year outcomes from a prospective, randomized, eye-toeye comparison of wavefront-guided and wavefront-optimized LASIK in myopes / C.S.Sáles, E.E.Manche // Ophthalmology. – 2013. – Vol.120, №12. – P.2396-2402.

536. Sáles, C.S. Comparison of ocular aberrations measured by a Fourier-based Hartmann-Shack and Zernike-based Tscherning aberrometer before and after laser in situ keratomileusis / C.S.Sáles, E.E.Manche // J Cataract Refract Surg. – 2015. – Vol.41, №9. –P.1820-1825.

537. Salmon, T.O. Comparison of the eye's wave-front aberration measured psychophysically and with the Shack-Hartmann wave-front sensor / T.O.Salmon, L.N.Thibos, A.Bradley //J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1998. – Vol.15, №9. – P.2457-2465.

538. Salmon, T.O. Corneal Contribution to the Wavefront Aberration of the Eye / T.O.Salmon // Indiana. – 1999. - 198 p.

539. Sanchez, M.J. Wavefront analysis in ophthalmologic diagnostics / M.J.Sanchez, A.Mannsfeld, A.F. Borkenstein, A.Ehmer, I.J.Limberger, M.P.Holzer, G.U. Auffarth // Ophthalmologe. – 2008. - Vol.105, №9. – P.818-824.

540. Sandstedt, C.A. Light-adjustable lens: customizing correction for multifocality and higher-order aberrations / C.A.Sandstedt, S.H.Chang, R.H.Grubbs, D.M.Schwartz // Trans Am Ophthalmol Soc. – 2006. – Vol.104, №1. – P.29-39.

541. Sarkar, S. Image Quality Analysis of Eyes Undergoing LASER Refractive Surgery / S.Sarkar, P.K.Vaddavalli, S.R.Bharadwaj // PLoS One. 2016 Feb 9;11(2):e0148085.

542. Sarver, E.J. Image quality in myopic eyes corrected with laser in situ keratomileusis and phakic intraocular lens / E.J.Sarver, D.R.Sanders, J.A.Vukich // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №4. – P.397-404.

543. Schallhorn, S.C. Pupil size and quality of vision after LASIK / S.C.Schallhorn, S.E.Kaupp, D.J.Tanzer, J.Tidwell, J.Laurent, L.B.Bourque // Ophthalmology. – 2003. – Vol.110, №8. – P.1606-1614.

544. Schallhorn, S.C. Wavefront-guided LASIK for the correction of primary myopia and astigmatism a report by the American Academy of Ophthalmology /

S.C.Schallhorn, A.A.Farjo, D.Huang, B.S.Boxer Wachler, W.B.Trattler, D.J.Tanzer, P.A.Majmudar, A.Sugar // Ophthalmology. – 2008. – Vol.115, №7. – P.1249-1261.

545. Schwiegerling, J. Custom photorefractive keratectomy ablations for the correction of spherical and cylindrical refractive error and higher-order aberration / J.Schwiegerling, R.W. Snyder // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1998. – Vol.15, $N_{2}9. - P.2572-2579.$

546. Schwiegerling, J. Corneal ablation patterns to correct for spherical aberration in photorefractive keratectomy / J.Schwiegerling, R.W.Snyder // J Cataract Refract Surg. - 2000. – Vol.26, №2. – P.214-221.

547. Schwiegerling, J. Theoretical limits to visual performance / J.Schwiegerling // Surv Ophthalmol. – 2000. – Vol.45, №2. – P.139-146.

548. Schwiegerling, J. Statistical generation of normal and post-refractive surgery wavefronts / J.Schwiegerling // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.223-226.

549. Seiler, T. Aspheric photorefractive keratectomy with excimer laser / T.Seiler, U.Genth, A.Holschbach, M.Derse // Refract Corneal Surg. – 1993. – Vol.9, №3. – P.166-172.

550. Seiler, T. Effective spherical aberration of the cornea as a quantitative descriptor in corneal topography / T. Seiler, W.Reckmann, R.K.Maloney // J Cataract Refract Surg. – 1993. – Vol.19, №1. – P.55-65.

551. Seiler, Th. Wavefront-guided surgery is not for everybody! / Th.Seiler // Abstractband des Internationalen Kongresses der Deutschen Ophthalmochirurgen.-2009. - P. 31.

552. Seitz, B. Changes of posterior corneal astigmatism and tilt after myopic laser in situ keratomileusis / B.Seitz, A.Langenbucher, F.Torres, A.Behrens, E.Suárez // Cornea. – 2002. – Vol.21, №5. – P.441-446.

553. Sekundo, W. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results / W.Sekundo, K.Kunert, C.Russmann, A.Gille, W.Bissmann, G.Stobrawa, M.Sticker, M.Bischoff, M.Blum // J Cataract Refract Surg. - 2008. - Vol.34, №9, P.1513-1520.

554. Sekundo, W. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study / W.Sekundo, K.Kunert, M.Blum // Br J Ophthalmol. - 2011. - Vol.95, №3. - P.335-339.

555. Sekundo, W. One-year refractive results, contrast sensitivity, high-order aberrations and complications after myopic small-incision lenticule extraction (ReLEx SMILE) / W.Sekundo, J.Gertnere, T.Bertelmann, I.Solomatin // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2014. – Vol.252, №5. – P.837-843.

556. Serrao, S. Optical performance of the cornea six years following photorefractive keratectomy for myopia / S.Serrao, G.Lombardo, P.Ducoli, M.Lombardo // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2011.- Vol.52, №2.- P.846-857.

557. Serrao, S. Long-term corneal wavefront aberration variations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism / S.Serrao, G.Lombardo, P.Ducoli, M.Lombardo // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №9. – P.1655-1666.

558. Shah, R. Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery / R.Shah, S.Shah, S.Sengupta // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №1. – P.127-137.

559. Shen, J. Measuring ocular aberrations and image quality in peripheral vision with a clinical wavefront aberrometer / J.Shen, L.N.Thibos // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.212-222.

560. Sia, R.K. Wavefront-guided versus wavefront-optimized photorefractive keratectomy: Clinical outcomes and patient satisfaction / R.K.Sia, D.S.Ryan, R.D.Stutzman, J.F.Pasternak, J.B.Eaddy, L.A.Logan, M.F.Torres, K.S.Bower // J Cataract Refract Surg. – 2015. – Vol.41, №10. – P.2152-2164.

561. Siedlecki, D. Schematic eye with a gradient-index lens and aspheric surfaces / D.Siedlecki, H.Kasprzak, B.K.Pierscionek // Opt Lett. – 2004. – Vol.29, №11. – P.1197-1199.

562. Slade, S. Contralateral comparison of Alcon CustomCornea and VISX CustomVue wavefront-guided laser in situ keratomileusis: one-month results / S.Slade // J Refract Surg. – 2004. – Vol.20, №5. – P.601-605.

563. Slade, S.G. A prospective, contralateral eye study comparing thin-flap LASIK (sub-Bowman keratomileusis) with photorefractive keratectomy / S.G.Slade, D.S.Durrie, P.S.Binder // Ophthalmology. – 2009. – Vol.116, №6. – P.1075-1082.

564. Smadja, D. Corneal higher order aberrations after myopic wavefrontoptimized ablation / D.Smadja, M.R.Santhiago, G.R.Mello, D.Touboul, M.Mrochen, R.R.Krueger

// J Refract Surg. – 2013. – Vol.29, №1. – P.42-48.

565. Smadja, D. Wavefront analysis after wavefront-guided myopic LASIK using a new generation aberrometer / D.Smadja, T.De Castro, L.Tellouck, J.Tellouck, F.Lecomte, D.Touboul, C.Paya, M.R.Santhiago // J Refract Surg. – 2014. – Vol.30, №9. – P.610-615.

566. Smith, G. Exploring ocular aberrations with a schematic human eye model / G.Smith, P.Bedggood, R.Ashman, M.Daaboul, A.Metha // Optom Vis Sci. – 2008. – Vol.85, №5. – P.330-340.

567. Soler, V. A randomized comparison of pupil-centered versus vertexcentered ablation in LASIK correction of hyperopia / V. Soler, A.Benito, P. Soler, C.Triozon, J.L.Arné, V.Madariaga, P.Artal, F.Malecaze // Am J Ophthalmol. – 2011. – Vol.152, №4. – P.591-599.

568. Spadea, L. Enhancement outcomes after photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis using topographically guided excimer laser photoablation / L.Spaeda, A. Di Gregorio // J Cataract Refract Surg. - 2005. - Vol. 31, №12. - P.2306-2312.

569. Srivannaboon, S. Spherical aberration from myopic excimer laser ablation for aspheric and non-aspheric profiles / S.Srivannaboon, D.Z.Reinstein, T.J.Archer, E.Chansue // Optom Vis Sci. – 2012. – Vol.89, №8. – P.1211-1218. 570. Stern, D. Corneal ablation by nanosecond, picosecond and femtosecond lasers at 523 and 625 nm / D.Stern, R.W.Schoenlein, C.A.Puliafito // Arch Ophthalmol. - 2004. - Vol.122, P.1094–1095.

571. Sun, M. OCT 3-D surface topography of isolated human crystalline lenses / M.Sun, J.Birkenfeld, A.de Castro, S.Ortiz, S.Marcos // Biomed Opt Express. – 2014. – Vol.5, №10. – P.3547-3561.

572. Tahir, H.J. The importance of grating orientation in contrast sensitivity following refractive surgery / H.J.Tahir, N.R.Parry, A. Brahma, K. Ikram, I.J.Murray // Ophthalmic Physiol Opt. – 2009. – Vol.29, №5. – P.518-525.

573. Takhchidi, K.P. Optimal balance of wavefront aberrations in photorefractive keratectomy / K.P.Takhchidi, A.V.Doga, G.F.Kachalina // J Refract Surg. – 2007. - Vol.23, №9. – P.1037-1040.

574. Tan, G. Reverse geometry rigid gas permeable contact lens wear reduces high-order aberrations and the associated symptoms in post-LASIK patients / G.Tan, X.Chen, R.Z.Xie, H.He, Q.Liu, Y.Guo, A.Liao, X.Zhong // Curr Eye Res. – 2010. – Vol.35, №1. – P.9-16.

575. Tan, D.K. Postoperative ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity: femtosecond lenticule extraction versus pseudo small-incision lenticule extraction / D.K.Tan, W.T.Tay, C.Chan, D.T.Tan, J.S.Mehta // J Cataract Refract Surg. -2015. - Vol.41, No. -P.623-634.

576. Tanabe, T. Influence of wavefront aberration and corneal subepithelial haze on low-contrast visual acuity after photorefractive keratectomy / T.Tanabe, K.Miyata, T.Samejima, Y.Hirohara, T.Mihashi, T.Oshika // Am J Ophthalmol. – 2004. – Vol.138, №4. – P.620-624.

577. Taneri, S. Influence of mydriatic eye drops on wavefront sensing with the Zywave aberrometer / S.Taneri, S.Oehler, D.T.Azar // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27, №9. – P.678-685

578. Taneri, S. Aspheric wavefront-guided versus wavefront-guided LASIK for myopic astigmatism with the Technolas 217z100 excimer laser / S.Taneri, S.Oehler,

S.M. MacRae // Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2013. – Vol.251, №2. – P.609-616.

579. Teel, D.F. Differences between Wavefront and Subjective Refraction for Infrared Light / D.F.Teel, R.J.Jacobs, J.Copland, D.R.Neal, L.N.Thibos // Optom Vis Sci. – 2014. – Vol.91, №10. – P.1158-66.

580. Thibos, L.N. Spherical aberration of the reduced schematic eye with elliptical refracting surface / L.N.Thibos, M.Ye, X.Zhang, A.Bradley // Optom Vis Sci. – 1997. – Vol.74, №7. – P.548-556.

581. Thibos, L.N. A statistical model of the aberration structure of normal, wellcorrected eyes / L.N.Thibos, A.Bradley, X.Hong // Ophthalmic Physiol Opt. – 2002. – Vol.22, №5. – P.427-433.

582. Thibos, L.N. Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes / L.N.Thibos, X.Hong, A.Bradley, X.Cheng // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2002. – Vol.19, №12. – P.2329-2348.

583. Thibos, L.N. Spherical aberration and the sign of defocus / L.N.Thibos, A.Bradley, T.Liu, N.López-Gil // Optom Vis Sci. – 2013. – Vol.90, №11. – P.1284-1291.

584. Tomita, M. Long-term observation and evaluation of femtosecond laserassisted thin-flap laser in situ keratomileusis in eyes with thin corneas but normal topography / M.Tomita, M.Watabe, M.Mita, G.O. Waring // J Cataract Refract Surg. – 2014. – Vol.40, №2. – P.239-250.

585. Tomita, M. Safety, efficacy, and predictability of laser in situ keratomileusis to correct myopia or myopic astigmatism with a 750 Hz scanning-spot laser system / M.Tomita, M.Watabe, S.Yukawa, N.Nakamura, T.Nakamura, T.Magnago // J Cataract Refract Surg. – 2014. – Vol.40, №2. – P.251-258.

586. Tran, D.B. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis / D.B.Tran, M.A.Sarayba, Z.Bor, C.Garufis, Y.J.Duh, C.R.Soltes, T.Juhasz, R.M.Kurtz // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, №1. – P.97-105.

587. Trockel, S. Excimer laser surgery of cornea / S.Trockel, R.Shrinivasan, B.Braren // Am J Ophthalmol. - 1983. - Vol.96, P.710–715.

588. Tuan, K.A. Changes in wavefront aberration with pharmaceutical dilating agents / K.A.Tuan, S.Somani, D.A. Chernyak // J Refract Surg. – 2005. – Vol.21, №5. – P.530-534.

589. Twa, M.D. A prospective randomized clinical trial of laser in situ keratomileusis with two different lasers / M.D.Twa, R.G.Lembach, M.A.Bullimore, C.Roberts // Am J Ophthalmol. – 2005. – Vol.140, №2. – P.173-183.

590. Vega-Estrada, A. Corneal higher order aberrations after LASIK for high myopia with a fast repetition rate excimer laser, optimized ablation profile, and femtosecond laser-assisted flap / A.Vega-Estrada, J.L.Alió, S.Arba-Mosquera, L.J.Moreno // J Refract Surg. – 2012. – Vol.28, №10. – P.689-696.

591. Ventura B.V., Wang L., Ali S.F., Koch D.D., Weikert M.P. Comparison of corneal power, astigmatism, and wavefront aberration measurements obtained by a point-source color light-emitting diode-based topographer, a Placido-disk topographer, and a combined Placido and dual Scheimpflug device. J Cataract Refract Surg. 2015 Aug;41(8):1658-71.

592. Vestergaard A.H. Past and present of corneal refractive surgery: a retrospective study of long-term results after photorefractive keratectomy and a prospective study of refractive lenticule extraction. Acta Ophthalmol. 2014 Mar;92 Thesis 2:1-21.

593. Vestergaard, A.H. Efficacy, safety, predictability, contrast sensitivity, and aberrations after femtosecond laser lenticule extraction / A.H.Vestergaard, J.Grauslund, A.R.Ivarsen, J.Ø.Hjortdal // J Cataract Refract Surg. – 2014. – Vol.40, №3. – P.403-411.

594. Vieira de Carvalho, L.A. Computational simulation of customized photorefractive surgery and precision of correction related to different order aberrations / L.A.Vieira de Carvalho // Arq Bras Oftalmol. – 2007. – Vol.70, №6. –P.917-923.

595. Villa, C. Night vision disturbances after successful LASIK surgery / C.Villa, R.Gutiérrez, J.R.Jiménez, J.M. González-Méijome // Br J Ophthalmol. – 2007. – Vol.91, №8. – P.1031-1037.

596. Villegas, E.A. Optical quality of the eye in subjects with normal and excellent visual acuity / E.A.Villegas, E. Alcón, P. Artal // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2008. – Vol.49, №10. – P.4688-4696.

597. Villegas, E.A. Impact of positive coupling of the eye's trefoil and coma in retinal image quality and visual acuity / E.A.Villegas, E.Alcón, P.Artal // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2012. – Vol.29, №8. – P.1667-1672.

598. Vinciguerra, P. Statistical analysis of physiological aberrations of the cornea / P.Vinciguerra, F.I.Camesasca, A.Calossi // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №2. – P.265-269.

599. Visser, N. Evaluation of the comparability and repeatability of four wavefront aberrometers / N.Visser, T.T.Berendschot, F.Verbakel, A.N.Tan, J.de Brabander, R.M.Nuijts // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2011. – Vol.52, №3. – P.1302-1311.

600. Von Mohrenfels, C.W. Wavefront-guided and wavefront-optimised LASEK - comparison of clinical results / C.W. von Mohrenfels, R.Khoramnia, J.Salgado, M.M.Maier, C.Lohmann // Klin Monbl Augenheilkd. – 2009. – Vol.226, №10. – P.839-843.

601. Waheed, S. Update on customized excimer ablations: recent developments reported in 2002 / S.Waheed, R.R.Krueger // Curr Opin Ophthalmol. – 2003. – Vol.14, №4. – P.198-202.

602. Wallau, A.D. One-year outcomes of a bilateral randomised prospective clinical trial comparing PRK with mitomycin C and LASIK / A.D.Wallau, M.Campos // Br J Ophthalmol. – 2009. – Vol.93, №12. – P.1634-1638.

603. Walsh, G. Measurement of the axial wavefront aberration of the human eye / G.Walsh, W.N. Charman // Ophthalmic Physiol Opt. – 1985. – Vol.5, №1. – P.23-31.

604. Wang, J.M. Statistical virtual eye model based on wavefront aberration / J.M.Wang, C.L.Liu, Y.N.Luo, Y.G.Liu, B.J. Hu // Int J Ophthalmol. – 2012. – Vol.5, №5. – P.620-624.

605. Wang, L. Optical aberrations of the human anterior cornea / L.Wang, E.Dai, D.D.Koch, A.Nathoo // J Cataract Refract Surg. – 2003. – Vol.29, №8. – P.1514-1521.

606. Wang, L. Anterior corneal optical aberrations induced by laser in situ keratomileusis for hyperopia / L.Wang, D.D.Koch // J Cataract Refract Surg. – 2003. - Vol.29, №9. – P.1702-1708.

607. Wang, L. Ocular higher-order aberrations in individuals screened for refractive surgery / L.Wang, D.D.Koch // J Cataract Refract Surg. – 2003. – Vol.29, №10. – P.1896-1903.

608. Wang, L. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye / L.Wang, R.M.Santaella, M.Booth, D.D.Koch // J Cataract Refract Surg. – 2005. – Vol.31, №8. – P.1512-1519.

609. Wang, Q.M. Clinical investigation of off-flap epi-LASIK for moderate to high myopia / Q.M.Wang, A.C.Fu, Y.Yu, C.C.Xu, X.X.Wang, S.H.Chen, A.Y.Yu // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2008. - Vol.49, №6. – P.2390-2394.

610. Wang, Y. Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye / Y.Wang, K.Zhao, Y.Jin, Y.Niu, T.Zuo // J Refract Surg. – 2003. – Vol.19, №2. – P.270-274.

611. Wang, Y. Optical quality analysis after surface excimer laser ablation: the relationship between wavefront aberration and subepithelial haze / Y.Wang, J.He, Z.Kanxing, Y.Jin, T.Zuo, W. Wang // J Refract Surg. – 2006. – Vol.22, №9. – P.1031-1036.

612. Wang, Y. Ocular higher-order aberrations features analysis after corneal refractive surgery / Y.Wang, K.X.Zhao, J.C.He, Y.Jin, T.Zuo // Chin Med J (Engl). - 2007. – Vol.120, №4. – P.269-273.

613. Wang, Y. Visual quality evaluation on changes of MTF and wavefront aberration after laser in situ keratomileusis / Y.Wang, K.X.Zhao, F.Rao, X.Y.Yang, J.Hou, Z.Q.Wang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2009. – Vol.45, №7. – P.580-586.

614. Wang, Y. Dynamic wavefront aberrations and visual acuity in normal and dry eyes / Y.Wang, J.Xu, X.Sun, R.Chu, H.Zhuang, J.C.He // Clin Exp Optom. – 2009. - Vol.92, №3. – P.267-273.

615. Wang, Z. The influence of pupil center shift on wavefront-guided laser in situ keratomileusis / Z.Wang, B.Yang, X.H.Huang, G.F.Huang, P.Qiu, J.Q.Chen // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2005. – Vol.41, №1. – P.24-26.

616. Watanabe, K. The effect of tinted soft contact lens wear on functional visual acuity and higher-order aberrations / K.Watanabe, M.Kaido, R.Ishida, M.Dogru, K.Negishi, K.Tsubota //Cont Lens Anterior Eye. – 2014. – Vol.37, №3. – P.203-208.

617. Wei, R.H. Higher order ocular aberrations in eyes with myopia in a Chinese population / R.H.Wei, L.Lim, W.K.Chan, D.T.Tan // J Refract Surg. – 2006. –Vol.22, №7. – P.695-702.

618. Wei, S. Correlation of anterior corneal higher-order aberrations with age: a comprehensive investigation / S.Wei, H.Song, X.Tang // Cornea. – 2014. – Vol.33, №5. – P.490-496.

619. Wei, X. Modeling the eye's optical system by ocular wavefront tomography / X.Wei, L.Thibos // Opt Express. – 2008. – Vol.16, №25. – P.20490-20502.

620. Wesemann, W. Optical and physiological limits of wavefront-controlled keratectomy / W.Wesemann // Ophthalmologe. – 2004. – Vol.101, №5. – P.521-536

621. Wigledowska-Promienska, D. Changes in higher order aberrations after wavefront-guided PRK for correction of low to moderate myopia and myopic astigmatism: two-year follow-up / D.Wigledowska-Promienska, I.Zawojska // Eur J Ophthalmol. – 2007. – Vol.17, №4. – P.507-514.

622. Williams, D. Visual benefit of correcting higher order aberrations of the eye / D.Williams, G.Y.Yoon, J.Porter, A.Guirao, H.Hofer, I.Cox // J Refract Surg. – 2000. – Vol.16, №5. – P.554-559.

623. Won, J.B. Comparison of internal and total optical aberrations for 2 aberrometers: iTrace and OPD scan / J.B.Won, S.W.Kim, E.K Kim., B.J.Ha, T.I.Kim // Korean J Ophthalmol. – 2008. – Vol.22, №4. – P.210-213.

624. Wu, F. Contralateral comparison of wavefront-guided LASIK surgery with iris recognition versus without iris recognition using the MEL80 Excimer laser system / F.Wu, Y.Yang, P.J. Dougherty // Clin Exp Optom. – 2009. – Vol.92, №3. – P.320-327.

625. Wu, W. Corneal Higher-Order Aberrations of the Anterior Surface, Posterior Surface, and Total Cornea After SMILE, FS-LASIK, and FLEx Surgeries / W.Wu, Y.Wang // Eye Contact Lens. – 2016. – Vol.42, №6. – P.358-365.

626. Wu, W.J. Changes in monochromatic higher-order aberrations in different pupil sizes with accommodation in young emmetropes / W.J.Wu, Z.P.Zhang, Y.Y.Qian, X.M., Q.R.Li Yu, L.Bai, X.Yang // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2008. – Vol.44, №7. – P.603-608.

627. Wu, Y. The effects of spherical aberration on static accommodative responses in emmetropes and myopes / Y.Wu, B.C.Jiang // Ophthalmic Physiol Opt. – 2011. – Vol.31, №6. – P.595-602.

628. Wygledowska-Promieńska, D. The use of WASCA analyzer in refractive surgery / D.Wygledowska-Promieńska, I.Zawojska // Klin Oczna. – 2004. – Vol.106, №1-2. – P.121-125.

629. Wygledowska-Promieńska, D. Evaluation of eye total aberration in patients after PRK and LASIK procedures / D.Wygledowska-Promieńska, I.Zawojska, S.Gierek-Ciaciura // Klin Oczna. – 2004. – Vol.106, №4-5. – P.637-642.

630. Xie, P. Application of 3-dimensional printing technology to construct an eye model for fundus viewing study / P.Xie, Z.Hu, X.Zhang, X.Li, Z.Gao, D.Yuan, Q.Liu // PLoS One. – 2014. – Vol.9, №11. – P.1-9

631. Xu, J. Dynamic changes in ocular Zernike aberrations and tear menisci measured with a wavefront sensor and an anterior segment OCT / J.Xu, J.Bao, J.Deng, F.Lu, J.C.He //Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2011. – Vol.52, №8. – P.6050-6056.

632. Xu, Y. Small-Incision Lenticule Extraction for Myopia: Results of a 12-Month Prospective Study / Y.Xu, Y.Yang // Optom Vis Sci. – 2015. – Vol.92, №1. – P.123-131.

633. Yamaguchi, T. Correlation between contrast sensitivity and higher-order aberration based on pupil diameter after cataract surgery / T.Yamaguchi, K.Negishi, K.Ohnuma, K.Tsubota // Clin Ophthalmol. – 2011. – Vol.5, №12. – P.1701-1707.

634. Yang, Y. Technical note: Comparison of the wavefront aberrations between natural and pharmacological pupil dilations / Y.Yang, F.Wu // Ophthalmic Physiol Opt. – 2007. – Vol.27, №2. – P.220-223.

635. Yao, P. Microdistortions in Bowman's layer following femtosecond laser small incision lenticule extraction observed by Fourier-Domain OCT / P.Yao, J. Zhao, M. Li, Y. Shen, Z. Dong, X.Zhou // J Refract Surg. – 2013. – Vol.29, №10. – P.668-674.

636. Yazar, S. Comparison of monochromatic aberrations in young adults with different visual acuity and refractive errors / S.Yazar, A.W.Hewitt, H.Forward, C.M.McKnight, A.Tan, J.A.Mountain, D.A. Mackey // J Cataract Refract Surg. – 2014. – Vol.40, №3. – P.441-449.

637. Yeh, L.K. The genetic effect on refractive error and anterior corneal aberration: twin eye / L.K.Yeh, C.J.Chiu, C.F.Fong, I.J Wang, W.L.Chen, C.K.Hsiao, S.C.Huang, Y.F.Shih, F.R.Hu, L.L. Lin // Int J Ophthalmol. – 2011. – Vol.4, №3. – P.286-292.

638. Yeu, E. The effect of corneal wavefront aberrations on corneal pseudoaccommodation / E.Yeu, L.Wang, D.D.Koch // Am J Ophthalmol. – 2012. – Vol.153, №5. – P.972-981.

639. Yi, F. Computer simulation of visual outcomes of wavefront-only corneal ablation / F.Yi, D.R.Iskander, R.Franklin, M.J.Collins // J Cataract Refract Surg. – 2006. – Vol.32, №3. – P.487-494.

640. Yoon, G. Causes of spherical aberration induced by laser refractive surgery / G.Yoon, S.Macrae, D.R.Williams, I.G.Cox // J Cataract Refract Surg. – 2005. - Vol.31, №1. – P.127-135.

641. Young, L.K. Not all aberrations are equal: reading impairment depends on aberration type and magnitude / L.K.Young, S.P.Liversedge, G.D.Love, R.M.Myers, H.E.Smithson // J Vis. – 2011. – Vol.11, №20. – P.1-19.

642. Yu, C.Q. Comparison of 2 wavefront-guided excimer lasers for myopic laser in situ keratomileusis: one-year results / C.Q.Yu, E.E.Manche // J Cataract Refract Surg. - 2014. - Vol.40, №3. - P.412-422. 643. Yu, C.Q. Comparison of 2 femtosecond lasers for flap creation in myopic laser in situ keratomileusis: one-year results / C.Q.Yu, E.E.Manche // J Cataract Refract Surg. – 2015. – Vol.41, №4. – P.740-748.

644. Yu, J. Effects of three madriatics on the human ocular aberrations / J.Yu, H.Chen, J.Y.Hu, P.C.Xun // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2005. -Vol.41, №9. - P.826–831.

645. Yu, M. Comparison of Visual Quality After SMILE and LASEK for Mild to Moderate Myopia / M.Yu, M.Chen, B.Wang, L.Zou, X.Zhu, J.Dai // J Refract Surg. -2015. – Vol.31, №12. – P.795-800.

646. Yuan, Y. Ocular anterior segment biometry and high-order wavefront aberrations during accommodation / Y.Yuan, Y.Shao, A.Tao, M.Shen, J.Wang, G.Shi, Q.Chen, D.Zhu, Y.Lian, J.Qu, Y.Zhang, F.Lu // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2013. – Vol.54, №10. – P.7028-7037.

647. Yuksel, N. Long term results of Epi-LASIK and LASEK for myopia / N.Yuksel, K.Bilgihan, A.M.Hondur, B.Yildiz, E.Yuksel // Cont Lens Anterior Eye. – 2014. - Vol.37, №3. – P.132-135.

648. Yvon, C. Comparison of higher-order aberration induction between manual microkeratome and femtosecond laser flap creation / Yvon C., Archer T.J., Gobbe M., Reinstein D.Z. // J Refract Surg. – 2015. – Vol.31, №2. – P.130-135.

649. Zarei-Ghanavati, S. Aspheric versus wavefront-guided photorefractive keratectomy: contralateral eye study / S.Zarei-Ghanavati, H.Gharaee, D.R.Hamilton, P.J.Sanchez, M.Abrishami // J Cataract Refract Surg. – 2015. – Vol.41, №7. – P.1441-1447.

650. Zelichowska, B. Higher order aberrations in physiological optical systemown experience / B.Zelichowska, M.Rekas, K.Krix-Jachym, M.Rubajczyk // Klin Oczna. - 2007. – Vol.109, №4-6. – P.121-126.

651. Zhai, Y. Construction of special eye models for investigation of chromatic and higher-order aberrations of eyes / Y.Zhai, Y.Wang, Z.Wang, Y.Liu, L.Zhang, Y.He, S.Chang // Biomed Mater Eng. – 2014. – Vol.24, №6. – P.3073-3081.

652. Zhang, F.J. Comparison of age-related changes between corneal and ocular aberration in young and mid-age myopic patients / F.J.Zhang, Z.Zhou, F.L.Yu, Z.L.Lu, T.Li, M.M.Wang // J Refract Surg. – 2007. – Vol.23, №3. – P.257-265.

653. Zhang, J. Comparison of visual performance between conventional LASIK and wavefront-guided LASIK with iris-registration / J.Zhang, Y.H.Zhou, N.L.Wang, R.Li // Chin Med J. – 2008. - Jan Vol.121, №2. – P.137-142.

654. Zhang, L. Ocular higher-order aberration features 10 years after photorefractive keratectomy / L.Zhang, Y.Wang, W.Geng, T.Zuo, Y.Jin, X.Yang, L.Wang // Int Ophthalmol. – 2013. – Vol.33, №6. – P.651-657.

655. Zhang, Y.L. Comparative study of visual acuity and aberrations after intralase femtosecond LASIK: small corneal flap versus big corneal flap / Y.L.Zhang, L.Liu, C.X.Cui, M.Hu, Z.N.Li, L.J.Cao, X.H.Jing, G.Y.Mu // Int J Ophthalmol. – 2013. - Vol.6, №5. – P.641-645.

656. Zhang, X. Apodization by the Stiles-Crawford effect moderates the visual impact of retinal image defocus / X.Zhang, M.Ye, A.Bradley, L.Thibos // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 1999. – Vol.16, №4. – P.812-820.

657. Zhang, Z.H. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome laser in situ keratomileusis for myopia: Metaanalysis of randomized controlled trials / Z.H.Zhang, H.Y.Jin, Y.Suo, S.V.Patel, R.Montés-Micó, E.E.Manche, X.Xu // J Cataract Refract Surg. – 2011. – Vol.37, №12. – P.2151-2159.

658. Zhao, H. Spherical aberrations of human astigmatic corneas / H.Zhao, G.M.Dai, L.Chen, H.A.Weeber, P.A. Piers // J Refract Surg. – 2011. – Vol.27, №11. – P.846-848.

659. Zhao, P.F. Study of the wavefront aberrations in children with amblyopia. / P.F.Zhao, Y.H.Zhou, N.L.Wang, J.Zhang //Chin Med J. – 2010. – Vol.123, №11. – P.1431-1435.

660. Zheng, G.Y. Contrast sensitivity and higher-order aberrations in patients with astigmatism / G.Y.Zheng, J.Du, J.S.Zhang, S.B.Liu, X.L.Nie, X.H.Zhu, X.X.Tang, B.L.Xin, Z.B.Mai, W.X. Zhang // Chin Med J. – 2007. – Vol.120, №10. – P.882-885.

661. Zhou, C. Corneal higher-order aberrations after customized aspheric ablation and conventional ablation for myopic correction / C.Zhou, X.Chai, L.Yuan, Y.He, M.Jin, Q.Ren // Curr Eye Res. – 2007. – Vol.32, №5, - P.431-438.

662. Zhou, F. Validation of a combined corneal topographer and aberrometer based on Shack-Hartmann wave-front sensing / F.Zhou, X.Hong, D.T.Miller, L.N.Thibos, A.Bradley // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. – 2004. – Vol.21, №5. – P.683-696.

663. Zhou, X.T. The clinical study of femtosecond lenticule extraction for myopia / X.T.Zhou, Z.X.Dong, P.J.Yao, J.Huang, Y.Xu, H.P.Xu // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. -2011. – Vol.47, №7. – P.584-588.

664. Zhou, X.Y. Wavefront aberration changes caused by a gradient of increasing accommodation stimuli / X.Y Zhou., L.Wang, X.T.Zhou, Z.Q.Yu // Eye. – 2014. – Vol.29, №10. – P.115-121.